

MURILO REZENDE ZAPAROLI

**PRODUTIVIDADE DE MILHO PARA SILAGEM EM RESPOSTA AO MANEJO
DA FERTILIZAÇÃO FOSFATADA COMBINADA COM FERTILIZANTE
ORGÂNICO CAMA DE AVIÁRIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

FLORESTAL
MINAS GERAIS - BRASIL
2019

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Florestal

T

633.15
2019 Zaparoli, Murilo Rezende. 1985-
Produtividade de milho para silagem em resposta ao manejo da
fertilização fosfatada combinada com fertilizante orgânico cama de
aviário. / Murilo Rezende Zaparoli. - Florestal, MG, 2019.
vi, 66 p. : il. : 29 cm.

Orientador: Maribus Altoé Baldotto.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Organomineral. 2. Fonte de fósforo. 3. Cama de aviário.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de solos. Mestrado
em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários.

II. Título.

Z35p

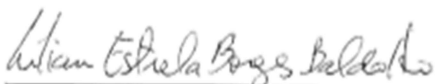
MURILO REZENDE ZAPAROLI


PRODUTIVIDADE DE MILHO PARA SILAGEM EM RESPOSTA AO
MANEJO DA FERTILIZAÇÃO FOSFATADA COMBINADA COM
FERTILIZANTE ORGÂNICO CAMA DE AVIÁRIO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 14 de fevereiro de 2019.


Clarindo Inácio de Aparecida Queiroz


Lílian Estrela Borges Baldotto
(Coorientadora)


Marihus Altoé Baldotto.
(Orientador)

RESUMO

ZAPAROLI, Murilo Rezende, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Produtividade de milho para silagem em resposta ao manejo da fertilização fosfatada combinada com fertilizante orgânico cama de aviário.** Orientador: Maribus Altoé Baldotto. Coorientadora: Lílian Estrela Borges Baldotto.

Sabe-se que no Brasil a produção agrícola de alta tecnologia, onde são observadas as maiores produtividades, demanda elevado uso de insumos devido as características naturais dos solos de Cerrado, com requerimento principalmente de grandes quantidades de fosfatos na correção da fertilidade desses solos. A ausência de reservas abundantes de rochas fosfatadas de boa qualidade no País, associados ao elevado custo dos fertilizantes agravado pelas expectativas de esgotamento de suas fontes a nível mundial mostram a necessidade de encontrar alternativas para fertilização e aumento da disponibilidade de fósforo nos solos. Os resíduos de atividades agroindustriais necessitam de adequado tratamento e apresentam-se como opção de fonte de nutrientes, podendo constituir compostos orgânicos que apresentam características de condicionamento do solo e favorecem a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Porém, para melhores resultados como fonte de nutrientes estes necessitam elevar os baixos teores de nutrientes, principalmente fósforo, entrando em cena os fertilizantes organominerais. Desta forma, objetivou-se estudar efeitos de fertilização fosfatada utilizando-se diferentes fontes de fósforo, sendo duas consideradas de baixa solubilidade (farinha de ossos-FO, fosfato natural-FN) e duas de alta solubilidade (superfosfato simples-SS e fertilizante formulado NPK 8-28-16), em associação com adubo orgânico cama de aviário. Foi montado experimento no município de Mateus Leme, MG, em área que apresenta solo classificado como Latossolo distrófico, em delineamento de blocos casualizados com dez tratamentos (incluindo controle sem adubação) e três repetições, para avaliar resposta do milho para produção de silagem utilizando-se o milho híbrido AG 1051. Aos 105 dias após o plantio foi realizada coleta das plantas e avaliadas as variáveis. Os dados demonstraram diferenças significativas para variáveis de crescimento de planta e de espigas, destacando-se melhores resultados para os tratamentos onde utilizou-se adubação orgânica em associação com as diferentes fontes de fósforo e para tratamentos com fontes de fósforo solúveis (SS e NPK). Apesar de não serem constatadas diferenças significativas

para as variáveis de produção de biomassa, houve tendência numérica no aumento de produção de milho para silagem em resposta à adubação orgânica e fosfatada. Tratamentos com fontes de P de alta solubilidade (SS e NPK) aplicadas isoladamente também apresentaram maior tendência numérica na produção de biomassa (PMV), enquanto fontes de P de baixa solubilidade (FN e FO) aplicadas isoladamente apresentaram redução numérica na produção de biomassa em relação ao CONTROLE. Verificou-se não ocorrer efeito significativo para as variáveis de produção de biomassa (PMV/planta e PMV/ha) de milho silagem em resposta às fontes de P aplicadas isoladamente ou em associação com adubação orgânica. Foram observadas ainda diferenças significativas quanto ao teor e conteúdo foliar dos nutrientes P e K.

ABSTRACT

ZAPAROLI, Murilo Rezende, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **Corn productivity for silage in response to management of phosphate fertilization combined with organic fertilizer poultry litter.** Adviser: Marihus Altoé Baldotto. Co-adviser: Lílian Estrela Borges Baldotto.

It is known that in Brazil high-tech agricultural production, where the highest productivity is observed, demands high fertilizers use due to the natural characteristics of the Cerrado soils, requiring mainly large amounts of phosphates to correct the fertility of these soils. The absence of abundant reserves of good quality phosphate rocks in the country, associated to the high cost of fertilizers aggravated by the expectation of exhaustion of their sources worldwide, show the need to find alternatives for fertilization and increase the availability of phosphorus in the soil. Waste from agro-industrial activities requires adequate treatment and is presented as a source of nutrients. The use of organic compounds resulting from composting has characteristics of soil conditioning that favor the availability of nutrients for the plants, but they need to raise the low nutrient contents, mainly phosphorus, entering the organomineral fertilizers. The objective of this work was to study the effects of phosphate fertilization using different phosphorus sources, two of which were considered to be low solubility (FO-bone flour, natural phosphate-FN) and two of high solubility (SS-simple superphosphate and NPK granule formulation 8-28-16), whether or not with organic fertilizers (poultry litter). An experiment was installed in Mateus Leme, MG, in an area with soil classified as dystrophic Latosol, in a randomized block design with ten treatments (including control without fertilization) and three replications, to evaluate corn responses using the hybrid corn AG 1051. At 105 days after planting, the plants were collected and the variables evaluated. The data showed significant differences for plant and ear growth variables, with better results for treatments where organic fertilization was used in association with the different sources of phosphorus and for treatments with soluble phosphorus sources (SS and NPK). Treatments with phosphorus sources of high solubility (SS and NPK) applied without organic fertilization association also showed an increase in green biomass production (PMV), while sources of phosphorus of low solubility (FN and FO) applied in treatments without organic fertilization association presented reduction in biomass production in relation to CONTROL. There was no significant

effect on production variables (PMV / plant and PMV / ha) of maize silage in response to P sources applied alone or in association with organic fertilization. However, significant differences were observed for the other plant growth variables and spikes growth. Significant differences were also observed in leaf content and content of nutrients P and K.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
Hipóteses.....	2
Objetivo geral	2
Objetivos específicos.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Aspectos gerais sobre fertilizantes no aumento da produtividade	3
2.2. Gestão de resíduos e compostagem	5
2.3. Fertilizantes orgânicos e organominerais.....	10
2.4. Adubação orgânica	11
2.5. Disponibilidade de P	14
2.6. Fontes de fosfatos.....	16
2.7. Efeitos dos ácidos orgânicos sobre o fósforo no solo	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Área experimental	25
3.2. Análise de solo.....	25
3.3. Preparação da área e tratamentos.....	25
3.4. Avaliação do experimento	30
3.5. Avaliação agronômica e econômica.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1. Variáveis de crescimento de plantas.....	36
4.2. Variáveis de produção de biomassa	38
4.3. Variáveis de crescimento de espigas.....	43
4.4. Variáveis de concentração de nutrientes	47
5. CONCLUSÕES	60
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1. INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento da população mundial, que segundo a Divisão Populacional das Nações Unidas aumentou mais de três vezes no período de 1950 até 2017, quando atingiu 7,6 bilhões de habitantes, há maior demanda por alimentos, sendo necessário aumentar sua produção, preferencialmente sem necessidade de realizar abertura de novas áreas e ampliação da fronteira agrícola. Desta forma, faz-se necessário aumentar a produtividade agrícola e pecuária, com uso de tecnologias sustentáveis, que respeitem a vida no planeta e não contribua para degradação dos recursos naturais necessários para as futuras gerações (ONU BRASIL, 2017).

A agricultura de alta tecnologia onde são observadas as maiores produções principalmente de grãos demanda elevado uso de insumos, sendo estes insumos em sua grande maioria oriundos de extração mineral e da produção da indústria química, atividades que causam significativos impactos sociais e ambientais principalmente nas regiões onde estão instaladas.

Além dos impactos causados pelas atividades de extração mineral, deve-se lembrar que grande parte dos fertilizantes utilizados pela agricultura brasileira é importada. Segundo dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), no ano de 2017, o consumo de fertilizantes oriundo de importação foi de aproximadamente 75% do total consumido no país. Desta forma, a agricultura brasileira torna-se cada vez mais dependente do mercado externo de fertilizantes, além de estar refém da variação de preços do mercado internacional (ANDA, 2017).

Logo, faz-se necessário a busca por alternativas de fertilização dos solos brasileiros para produção agrícola, atentando para a necessidade de utilização de insumos que, além de menos agressivos ao meio ambiente e a saúde dos consumidores, contribuam para sustentabilidade da produção agrícola nacional.

Resende et al (2006) afirma que o requerimento de grandes quantidades de fosfatos na correção da fertilidade dos solos de Cerrado e a ausência de reservas abundantes de rochas fosfatadas de boa qualidade no País, associados ao elevado custo dos fertilizantes, justificam estudos para otimizar a eficiência no uso de adubos fosfatados.

Neste sentido, a pesquisa agropecuária deve contribuir no desenvolvimento e avaliação de viabilidades para utilização de fertilizantes alternativos sustentáveis,

como fertilizantes orgânicos e organominerais, preferencialmente com matéria prima oriunda da reciclagem, fornecendo aos solos voltados à produção agropecuária características físicas, químicas e biológicas que proporcionem qualidade na produção de alimentos, e com recuperação e conservação dos ecossistemas.

Este trabalho propõe estudar efeitos de fertilização fosfatada associada com cama de aviário, na forma de fertilizantes orgânicos e organominerais na produção de milho para silagem, utilizando-se na composição fertilizantes considerados resíduos ou coprodutos de atividades agroindustriais.

Para composição dos fertilizantes orgânicos e organominerais foram utilizados como fontes de fósforo, além da cama de aviário, farinha de ossos, fosfato natural, superfosfato simples e fertilizante convencional formulado (NPK 8-28-16), devendo cada fonte avaliada isoladamente e em associação com cama de aviário.

Hipóteses

Fertilizantes orgânicos e organominerais utilizando diferentes fontes de fósforo podem substituir fertilizantes minerais na produção de milho para produção de silagem, atendendo ao condicionamento de solo e demanda nutricional para a cultura.

Uso de fontes de fósforo de baixa solubilidade, e maior efeito residual, isoladamente ou na formulação de fertilizantes orgânicos e organominerais pode reduzir custos com adubação fosfatada no ano de aplicação e ao longo dos anos de cultivo, por aumentar disponibilidade de fósforo disponível na solução do solo.

Objetivo geral

Avaliar efeitos de diferentes fontes de fósforo combinadas ou não com fertilizantes orgânicos sobre a produção de milho para produção de silagem.

Objetivos específicos

Avaliar efeitos de diferentes fontes de fertilizantes fosfatados e formulações de fertilizantes orgânicos e organominerais sobre a produção de milho para silagem.

Avaliar eficiência agrônômica da associação de diferentes fontes de fósforo (farinha de ossos, fosfato natural, superfosfato simples e fertilizante convencional formulado NPK 8-28-16) com fertilizante orgânico disponível e abundante na região de estudo (cama de aviário).

Avaliação dessas diferentes fontes de fósforo para formulação de fertilizantes orgânicos e organominerais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos gerais sobre fertilizantes no aumento da produtividade

Nas últimas décadas a agricultura brasileira e mundial apresentou elevado avanço em se tratando de produtividade. A EMBRAPA, em sua publicação “Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira” afirma que entre 1975 e 2017, a produção de grãos, que era de 38 milhões de toneladas, cresceu mais de seis vezes, atingindo 236 milhões de toneladas, enquanto a área plantada apenas dobrou de tamanho, destacando-se dentre os grandes responsáveis por este êxito o uso dos fertilizantes minerais. Esta mesma publicação afirma que de fato, o uso de fertilizantes se tornou um elemento-chave (estima-se que apenas os fertilizantes nitrogenados sejam responsáveis pelo incremento de cerca de 40% na oferta de alimentos no mundo). Porém o avanço no uso dos fertilizantes minerais criou também um problema para o país: a dependência de importações, pois o Brasil passou a consumir muito mais fertilizantes do que a quantidade produzida internamente (EMBRAPA, 2018).

Dados do International Plant Nutrition Institute (IPNI) mostram que em 2017 a importação de fertilizantes representou 75% sobre o consumo aparente, enquanto a produção nacional representou apenas 25% (INPI, 2018).

Além dos impactos gerados na produção de fertilizantes minerais, sua elevada utilização leva a crer em um cenário de racionamento e até mesmo de esgotamento

de algumas de suas fontes, tornando estes produtos cada dia mais caros. Existem algumas divergências de opiniões quanto ao tempo previsto para que ocorra a exaustão das reservas de fósforo, como sugerido por meio da utilização da curva de Hubbert, que aponta o esgotamento das reservas de fósforo nos próximos 50-100 anos, sendo que alguns pesquisadores discordam do cenário de um futuro próximo de escassez, e afirmam que esta estimativa não é suficiente para prever, principalmente, a dinâmica na exploração das rochas fosfáticas, a melhora na obtenção de dados geológicos, o avanço da tecnologia para metodologias de extração e produção e a demanda no mercado da mineração. Estima-se que em meados de 2050 a demanda mundial de fósforo duplique, sendo que alguns estudos apontam que poderá ocorrer um pico na produção de fertilizantes fosfatados nos próximos 30 anos (Pantano et al., 2016).

Outro ponto que deve ser considerado, e que tende a elevar o preço dos fertilizantes convencionais, é o custo com transporte das regiões produtoras e importadoras para regiões de produção agrícola, problema este agravado devido as dimensões do território brasileiro e predominância de transporte rodoviário, que predomina um custo mais elevado com relação a outros modais, como também é um meio de transporte conhecidamente poluente.

Importante salientar ainda que a sociedade mundial clama por uma produção mais limpa e sustentável, com menos degradação ambiental, menos desperdícios, menor geração de resíduos e com menor uso de insumos com potencial para degradação ambiental.

Assim como a produção agrícola, a avicultura brasileira tem mostrado constante crescimento por apresentar-se como uma alternativa importante no fornecimento de proteína para alimentação humana, devido possibilidade de produção em larga escala com baixo custo e em áreas relativamente pequenas. A Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA) em seu Relatório Anual 2018 apresenta que a produção brasileira de carne de frango foi de 13,05 milhões de toneladas no ano de 2017, apresentando-se como segundo maior produtor mundial, perdendo apenas para EUA, com produção de 18,6 milhões de toneladas no ano de 2017. Do total de carne de frango produzido no Brasil, 67% foi para consumo interno e 33% teve como destino a exportação. Ainda segundo ABPA, em 2017 o Brasil apresentou uma

produção de 39,9 bilhões de ovos de galinha, sendo que 99,74% teve como destino o mercado interno (ABPA, 2018).

Como uma das consequências do crescimento da produção de proteína animal de aves, observa-se elevada geração de resíduos tanto da atividade de criação das aves, com elevada geração de cama de aviário, denominação dada aos resíduos oriundos dos galpões de confinamento de aves, como da agroindústria, representada principalmente pelos abatedouros. A publicação da EMBRAPA “Manejo ambiental na avicultura” estima geração de cama de aviário de corte em 6,814 milhões de m³ por ano no Brasil. Segundo esta mesma publicação, as atividades agropecuárias e das agroindústrias produzem grandes quantidades de resíduos orgânicos, os quais precisam retornar à natureza sem impactar o ambiente (EMBRAPA, 2011). Somado a esta realidade existe o apelo da população em se utilizar fertilizantes orgânicos de forma correta para produção de alimentos mais saudáveis, bem como mitigar a utilização dos fertilizantes minerais, dos quais o Brasil é importador, sendo que em época de crise econômica ocorre aumento nos preços, tendo como principal reflexo o incremento nos custos ao produtor rural e, conseqüentemente, a elevação do preço destes produtos ao consumidor.

2.2. Gestão de resíduos e compostagem

Outro problema enfrentado a nível nacional e mundial refere-se à elevada geração de resíduos e sua conseqüente destinação, o que vem provocando diversos impactos significativos ao meio ambiente. Estes resíduos são oriundos de atividades industriais, agroindustriais, urbanas, dentre outras. O Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil para o ano de 2017 revelam números referentes à geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) num total anual de 78,4 milhões de toneladas no país, com 1% de crescimento em relação a 2016. Deste montante, 6,9 milhões de toneladas não foram coletados e tiveram destino impróprio. Do total dos resíduos coletados, 40,9%, foi despejado em locais inadequados por 3.352 municípios brasileiros, totalizando mais 29 milhões de toneladas de resíduos em lixões ou aterros controlados. Os recursos aplicados para limpeza urbana no Brasil pelos municípios em 2017 foram, em média, de R\$10,37 por habitante por mês, totalizando movimento de R\$ 28,5 bilhões do mercado de limpeza urbana no país (ABRELPE, 2018). Se faz importante avaliar que os custos com destinação de

resíduos tendem a ser maiores a partir do momento em que a sociedade passe a cobrar por uma adequada gestão dos resíduos sólidos (RS), eliminando as disposições irregulares e relativamente baratas a curto prazo, como lixões e aterros controlados, passando a destiná-los em locais licenciados e que demandam maiores investimentos, como aterros sanitários. Quando esta situação ocorrer, aumenta a importância da existência de alternativas para redução do volume de resíduos, considerando os aspectos ambiental, social e econômico. Neste momento, a compostagem com aproveitamento dos resíduos orgânicos pode se mostrar como uma alternativa sustentável.

Neste sentido, a utilização de fertilizantes alternativos, principalmente com utilização de resíduos ou coprodutos de produção agrícola e industrial, apresenta-se como possível opção a médio e longo prazo na redução dos custos de produção agrícola e pecuária, além de representar significativa redução no impacto causado pela produção dos fertilizantes convencionais e redução da poluição e degradação ambiental causada pela considerável quantidade de resíduos gerados nas atividades antrópicas.

Dentre as vantagens da reciclagem de resíduos para produção de fertilizantes orgânicos e organominerais pode-se observar benefícios ambientais, sociais e econômicos, como redução do volume de resíduos (sólidos e líquidos) destinados à aterros e lixões, evitando maior impacto ambiental, melhoria das condições de solo resultando em aumento de fertilidade e produtividade, redução de utilização de fertilizantes minerais e químicos, com menor extração de matéria prima virgem, redução de gastos de energia necessários na produção de fertilizantes, possibilidade de uso dos fertilizantes próximos ao local de sua geração/produção, podendo realizar logística reversa com resíduos de atividades agroindustriais, evitando custos de transporte e gastos energéticos, e geração de trabalho e renda e valorização de resíduos orgânicos e coprodutos, à medida que estes recebem destinação mais nobre e com maior valor econômico.

A reciclagem de resíduos orgânicos resultantes de atividades antrópicas para produção de fertilizantes alternativos favorece a condição de produzir insumos a menores distâncias das regiões produtoras reduzindo custos e impactos ambientais do transporte. Exemplos de possibilidade de produção de adubos próximos aos locais de produção agrícola estão na produção de compostos orgânicos utilizando

como matéria prima resíduos gerados da produção pecuária (granjas e abatedouros), assim como produção de compostos orgânicos com resíduos sólidos urbanos gerados em domicílios, comércios e atividades industriais.

Uma alternativa para destinação dos resíduos orgânicos está em sua transformação para fertilização do solo nas atividades agrícolas, apresentando vantagens como condicionador de solo, fonte de nutrientes e matéria orgânica. Os adubos orgânicos obtidos pelo processo de compostagem são dispostos no solo de forma mais estável, com efeitos benéficos à estrutura e fertilidade do solo e à resistência à erosão (KIEHL, 1998).

O uso de cama de aviário, resultante de material rico em carbono utilizado para forrar as instalações de confinamento enriquecido com esterco de aves, apresenta restrições quanto ao seu uso *in natura*, devido características como menor disponibilidade dos nutrientes quando não compostados, riscos de queima de plantas e contaminação de áreas agrícolas com micro-organismos patogênicos. Ainda, o elevado volume necessário para atendimento às necessidades de adubação do solo e das culturas pode dificultar a aplicação de compostos orgânicos em geral, incluindo cama de aviário, por estes apresentarem concentrações consideravelmente menores em comparação aos fertilizantes convencionais. Portanto, torna-se desejável que estes resíduos sejam previamente compostados, o que confere vantagens para eliminação de micro-organismos patogênicos e melhor disponibilidade de nutrientes, além da possibilidade de que seja enriquecido através da mistura de outros fertilizantes com maiores concentrações de nutrientes, reduzindo o volume necessário à aplicação nas culturas.

A compostagem é um processo que transforma problemas em soluções, com transformação de resíduos orgânicos em fertilizante, ou composto condicionador de solo, utilizando resíduos sem valor, tais como aparas de gramas, restos de culturas, folhas secas, capins, restos de alimentos e a fração orgânica dos RS urbanos para transformar em produto de grande valor agrícola, econômico e ambiental (MEERT et al., 2011).

Monteiro (2001) lembra que existem nos resíduos microrganismos patogênicos, como salmonelas e estreptococos, que podem ser eliminados pelo calor gerado no próprio processo biológico de compostagem, porque não sobrevivem a temperaturas acima de 55°C por mais de 24 horas. Portanto, se faz importante

adequado acompanhamento deste processo para garantir a eliminação de elementos indesejáveis para seu uso posterior, tais como os organismos patogênicos citados e propágulos de plantas daninhas, além de realizar a adequada decomposição e a maturação do composto.

Importante observar que durante o processo de compostagem de resíduos orgânicos ocorre redução do volume e peso iniciais, com perda principalmente de água presente nos materiais orgânicos antes do processamento, sendo esta redução variável em relação às características da matéria prima utilizada. Gorgati (2001), observou ao analisar peso e umidade inicial e final para as leiras descobertas dos resíduos orgânicos e do composto, que o peso médio reduziu 57,5% desde o início do processo, quando os resíduos orgânicos foram enleirados, até o momento de obtenção do composto maturado, resultando em produto final com 42,5% do peso bruto dos resíduos orgânicos que entram no processo.

Barros (2012) afirma que do ponto de vista comercial e industrial a compostagem como método de tratamento de resíduos orgânicos apresenta vantagens e desvantagens. Ainda, como é o mercado que determina a aceitação do produto, tal técnica deve ser considerada dentro de um contexto econômico ou de uma política mais abrangente de gestão dos resíduos sólidos. Dentre as vantagens apresentadas pelo autor estão que esta prática possibilita a recuperação e reutilização de matéria-prima, diminuindo a quantidade de resíduos a serem aterrados, propicia a recuperação e fertilização de solos exauridos, permite considerável economia de energia, quando comparado a outros tratamentos possíveis, não necessita de mão de obra muito especializada nem equipamentos de alto custo, representa oportunidade de geração de emprego e renda e diminui a necessidade de transporte de resíduos. Como desvantagens o autor apresenta que a compostagem como método de tratamento de resíduos orgânicos exige controle operacional eficaz, para que não surjam problemas na manutenção do composto, necessita de triagem eficiente de materiais indesejáveis, evitando contaminação, e pode haver flutuação sensível no mercado consumidor do composto.

A compostagem apresenta ainda algumas vantagens citadas por Matos (2005), como o aproveitamento agrícola de macro e micronutrientes presentes nos resíduos, eliminação de efeitos alelopáticos e de sementes vivas de plantas daninhas, eliminação de agentes patogênicos, elevação do pH de solos ácidos,

melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo e minimização de riscos de poluição de águas superficiais e subterrâneas.

A produção dos compostos orgânicos para utilização agrícola localmente (na região onde é produzido), apresenta, além das vantagens para o gerenciamento de resíduos e para a produção agrícola, a possibilidade de redução nos custos com transporte, primeiramente por evitar necessidade de transportar resíduos para disposição final e ainda por reduzir a importação de adubos minerais e transporte destes para regiões de produção agrícola.

Ainda em relação a análise financeira da utilização dos compostos na agricultura, cabe avaliar que o aterramento de resíduos tem se tornado uma atividade cada dia mais restrita em termos legais e onerosa financeiramente, devido a fatores como falta de áreas para alocação de aterros, e por ser altamente impactante ao meio ambiente e à saúde pública, o que gera outros custos indiretos, como problemas de saúde na população e necessidade de tratamento das áreas degradadas. A expressão conhecida internacionalmente como “NIMBY” (Not In My Back Yard), em português “Não No Meu Jardim”, demonstra a rejeição da população para implantação de unidades de tratamento de RS próximos às suas residências e propriedades. Lee (1994) esclarece que esta rejeição da população se justifica por motivos como a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, a emissão de gases tóxicos, os problemas com vetores de doenças, depósitos ilegais de resíduos nas proximidades e a desvalorização das áreas próximas, fatores que dificultam a alocação de unidades para tratamento e disposição de RS principalmente nas proximidades das cidades, aumentando os custos com transporte.

A Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999), apresentou as vantagens do uso da adubação orgânica para o solo e plantas, diferenciadas em “efeitos condicionadores”, “efeitos sobre os nutrientes” e “efeitos sobre os microrganismos do solo”, conforme detalhados a seguir:

- Efeitos condicionadores: eleva a capacidade de troca de cátions, notadamente nos solos altamente intemperizados ou arenosos; contribui para a maior agregação das partículas do solo, reduzindo a susceptibilidade à erosão; reduz a plasticidade e a coesão do solo, favorecendo as operações de preparo; aumenta capacidade de retenção de água; concorre para maior estabilidade da temperatura do solo.

- Efeitos sobre os nutrientes: aumenta a disponibilidade de nutrientes por meio de processos de mineralização; contribui para a diminuição da fixação do fósforo no solo; os ácidos orgânicos, resultantes da decomposição da matéria orgânica, aceleram a solubilização de minerais do solo, aumentando a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

- Efeitos sobre os microrganismos do solo: apresenta-se como principal fonte de nutrientes e energia para os microrganismos do solo.

2.3. Fertilizantes orgânicos e organominerais

Os fertilizantes organominerais, resultantes da mistura ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos, tem por objetivo aumentar o teor de nutrientes dos materiais orgânicos e aumentar a eficiência dos fertilizantes minerais, com fertilizante orgânico, apresentando as vantagens de condicionamento de solo, e o fertilizante mineral, com incremento de maiores teores de nutrientes, sendo estes de alta ou baixa solubilidade. Apesar de restrições na produção, devido concentrações relativamente baixas de nutrientes, o uso dos fertilizantes organominerais apresenta aumento (Abreu Júnior et al., 2005).

Muitos são os tipos de resíduos com potencial para produção de fertilizantes orgânicos e organominerais e extenso uso na agricultura. Dentre eles estão os resíduos de origem animal como farinha de ossos, esterco bovino e de aves, e de origem vegetal como palha de arroz, capim picado, restos culturais e os resíduos de produção de carvão vegetal.

Quanto ao carvão vegetal, estima-se que apenas 85% do carvão produzido é utilizado para geração de calor nos fornos, sendo que o restante se quebra em pequenas partes ou se transforma em pó, ou fino de carvão (Medeiros, 2007).

Ocorre que muitos dos produtos utilizados como adubos orgânicos apresentam baixos teores de nutrientes, inclusive de fósforo. Por esta razão, e por necessitar viabilizar o uso na produção agrícola em larga escala, com aplicação de produto com maior teor de nutrientes, existe a possibilidade de uso de fertilizantes organominerais. Diversos trabalhos apresentam resultados positivos referentes a associação de fertilizantes orgânicos e minerais, demonstrando possível viabilidade do uso destes fertilizantes em associação, os fertilizantes organominerais. SILVA e

VIZOTTO (1990) em estudo de adubação orgânica (com uso de cama de frango) e adubação mineral (NPK) para o tomateiro, concluíram que maior produtividade foi encontrada na adubação com uso de ambos os tipos de adubos em associação, inclusive em relação ao adubo mineral aplicado isoladamente.

NASCIMENTO, E. C. (2016), em trabalho sobre adubação fosfatada para produção orgânica de tomate, onde utilizou fosfato na forma de fosfato natural reativo e termofosfato, na presença ou ausência de torta de mamona como fonte N, observou que produtividade, peso seco de frutos, folhas e caule de tomate foram superiores quando as fontes de P foram aplicadas associadas à torta de mamona. O autor afirma que esse resultado da associação das fontes de N e P associadas pode ser relacionado às características de solubilidade e à dinâmica de liberação de P das fontes de fósforo.

2.4. Adubação orgânica

Fertilizantes orgânicos promovem liberação mais lenta de nutrientes, o que leva a menor produção de resíduos contaminantes para o ambiente e seu efeito sobre a fertilidade do solo ocorre e se mantém por um longo prazo, enquanto fertilizantes químicos promovem liberação rápida de nutrientes e devem ser aplicados repetidamente para suprir as necessidades nutricionais das plantas, além deste contribuir para maior contaminação residual no ambiente, e para uma menor eficiência agrônômica e econômica (Medeiros, 2007).

Dentre as vantagens dos fertilizantes nitrogenados minerais estão a facilidade de aplicação mecanizada, serem facilmente encontrados no comércio e sua rápida solubilidade para as plantas. Porém estes apresentam também características negativas como perda por lixiviação, causada pela água da chuva ou irrigação, principalmente para fertilizantes que tem o N na forma nítrica, uma vez que esse íon não é adsorvido pela argila do solo. O maior parcelamento das doses de N reduz o problema da lixiviação, porém há aumento nos custos de mão de obra para a aplicação. Outra possibilidade é o uso de fertilizantes que tem o N nas formas amoniacal e amídica, que apesar de também serem rapidamente mineralizados no solo apresentam menores perdas por lixiviação, porém, causando acidificação dos solos, o que requer maiores gastos com a calagem para correção da acidez e reposição do cálcio e magnésio (MALAVOLTA et al., 1974; RAIJ, 1991; *apud* CAVALLARO JÚNIOR, 2006).

CAVALLARO JÚNIOR, (2006) afirma que os fertilizantes nitrogenados orgânicos têm a vantagem de disponibilizar gradualmente o nitrogênio às plantas, contendo a maior parte do N na forma de aminoácidos e proteínas, além de evitar a salinização e aumentar a condutividade elétrica. A maior parte deles também não aumenta a acidez do solo já que tem seu pH próximo a neutralidade ou até superior a 7,0. Os fertilizantes orgânicos em geral, bem decompostos ou humificados favorecem ainda o equilíbrio microbiológico no solo (KIEHL, 1985, *apud* CAVALLARO JÚNIOR, 2006).

MELLO e VITTI (2002), em trabalho de adubação orgânica para produção de tomate em ambiente protegido citou que a adubação orgânica é prática normalmente utilizada principalmente para fornecimento de nitrogênio para o tomateiro. FERREIRA et al. (2003) apresenta resultados que ressaltam a viabilidade técnica do fornecimento de nitrogênio pela matéria orgânica, mesmo que não seja para suprir a totalidade do N fornecido para a cultura.

Pavinato & Rosolem (2008) em revisão sobre decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais na disponibilidade de nutrientes no solo concluem que a disponibilidade de nutrientes no solo é influenciada pela decomposição do material orgânico, com liberação de compostos orgânicos tanto de baixa como de alta massa molecular. Essa influência está muito relacionada com a adsorção de íons competidores presentes nos compostos orgânicos, inibindo a ação dos grupos funcionais do solo e liberando nutrientes na solução. A mineralização dos nutrientes dos tecidos das plantas ainda contribui como fonte de nutrientes no solo, a partir da decomposição da matéria orgânica.

Pavinato & Rosolem (2008) citando resultados apresentados por Franchini et al. (2003) constata que, sob sistemas com alto aporte de resíduos orgânicos, os cátions polivalentes (Ca, Mg e Al) são preferencialmente lixiviados no perfil do solo, em relação aos monovalentes (K). A formação de complexos orgânicos entre os ânions orgânicos dos extratos de plantas e os cátions polivalentes poderia explicar esta preferência na lixiviação. Em sistemas com baixo aporte de resíduos orgânicos, a preferência de lixiviação é para o K, em relação ao Ca e Mg, por ficar o K mais livre em solução pela menor força de adsorção nos sítios de troca do solo (Duiker & Beegle, 2006; Franchini et al., 2003; *apud* Pavinato & Rosolem, 2008).

Quanto ao pH do solo, já foram observadas algumas elevações com a adição de resíduos vegetais (Franchini et al., 2001). Esse resultado seria decorrente da complexação dos H^+ e Al^{3+} livres com compostos orgânicos aniônicos dos resíduos e do aumento da saturação da CTC do solo pelos Ca, Mg e K adicionados via resíduo vegetal, o que reduziria a acidez potencial. As reações de troca de ligantes entre ânions orgânicos e os grupos OH^- terminais dos óxidos de Fe e Al têm sido propostas como causas da elevação do valor de pH do solo após a adição dos resíduos (Franchini et al., 1999). Deve ser considerado, no entanto, que para solos ácidos é normal o pH dos resíduos vegetais ser superior ao pH do solo, situando-se o pH do tecido de plantas cultivadas na faixa de 5,4 a 6,3 (Franchini et al., 2001; Pavinato, 2007). O acúmulo de ácidos orgânicos de alta massa molecular, de difícil dissolução ou decomposição, deve ser considerado na mudança no pH do solo, já que esses ácidos orgânicos são ávidos por formarem complexos com cátions polivalentes, no caso o Al^{3+} , reduzindo o seu efeito no pH do solo (*apud* Pavinato & Rosolem, 2008).

A oxidação biológica de compostos orgânicos que contêm Ca pode também resultar na formação de $CaCO_3$ (Pocknee & Sumner, 1997, *apud* Pavinato & Rosolem, 2008). Esse comportamento também poderia ser observado no solo, uma vez que as reações ocorrem assim que esse extrato é aplicado e os microrganismos começam a decomposição do mesmo. O ataque microbiano aos resíduos orgânicos pode também promover aumento no pH por descarboxilação de ânions orgânicos, que consomem prótons. A formação de $CaCO_3$, pela elevação do pH e a descarboxilação de ânions orgânicos podem ocorrer simultaneamente durante a decomposição de resíduos vegetais, concomitantemente com a redução nas solubilidades de Ca^{2+} e C orgânico na solução do solo (Franchini et al., 2001, *apud* Pavinato & Rosolem, 2008).

A mudança no pH do solo com a adição de ácidos orgânicos pode ser expressiva quando os ácidos são derivados de resíduos vegetais ou animais. Franchini et al. (1999) observaram que a aplicação de extratos de aveia e nabo forrageiro em uma coluna de solo promoveu a elevação do pH do solo, de 4,1 para 5,1 e 5,9, respectivamente, para a camada superficial de 0–5 cm, com efeitos gradativamente menores em maiores profundidades, mesmo resultado também observado por

Pavinato (2007) com extratos de aveia, nabo, sorgo, milheto, milho e soja (*apud* Pavinato & Rosolem, 2008).

A adição de resíduos orgânicos também pode proporcionar a complexação de metais com os ácidos orgânicos (AO) gerados da decomposição desses resíduos, que podem agir no sentido de diminuir a disponibilidade dos cátions em solução ou de aumentar sua disponibilidade pela ação nos sítios de adsorção desses metais (Pavinato & Rosolem, 2008).

Normalmente, o Ca e o Mg aumentam em solução, por ocasião da adição de resíduos vegetais em solos com pH menor que 6,0. Em solos com altos teores de Al pode haver complexação desse elemento com ânions orgânicos, tornando-o não tóxico para as plantas (Pohlman & McColl, 1986, *apud* Pavinato & Rosolem, 2008).

2.5. Disponibilidade de P

As principais características que influem na adsorção de fosfato nos solos intemperizados são o teor e o tipo de argila, o teor de colóides amorfos e de matéria orgânica, assim como o de ânions competidores, como sulfatos e silicatos, e o valor do pH do solo (Silva et al., 1997), podendo o solo adsorver mais de 4 mg.cm⁻³ de P, em condições de elevado intemperismo como em alguns Latossolos (Gonçalves et al., 1985, Juo & Fox, 1977, Netto, 1996, Ker, 1995, *apud* Andrade et al. 2003).

O fósforo é considerado muitas vezes o elemento que limita mais frequentemente a produção das culturas na região dos cerrados, principalmente por apresentar-se em formas pouco disponíveis aos vegetais e pela frequentemente elevada adsorção do P aos solos dessa região. Apesar do fósforo ser exigido em pequenas quantidades pela maioria das culturas, sua baixa disponibilidade para as plantas em solos de cerrado tem levado a aplicação de quantidades elevadas para suprir as necessidades dos cultivos (Carvalho et al. 1995, *apud* Santos, 2005).

A fixação do fósforo que ocorre nos solos argilosos e ricos em ferro e alumínio é alta, quando estes recebem adubações com fertilizantes contendo altas quantidades de fósforo solúvel (MALAVOLTA et al., 1974; RAIJ, 1991; *apud* CAVALLARO JÚNIOR, 2006).

A disponibilidade de fósforo no solo pode ser descrita pelo seu grau de labilidade, devido a forma e interação que o P está sofrendo pelos sítios de adsorção do solo. Quando está em solução ou fracamente adsorvido, então está na forma lábil, e se está adsorvido com maior força nas argilas e oxihidróxidos de Fe e Al, provavelmente estará na forma não-lábil, em que o grau de interação é que regulará a labilidade do P. Com o avanço do estágio de intemperismo do solo, as formas lábeis de P diminuem e as formas não-lábeis aumentam, especialmente aquelas inorgânicas. A participação do P orgânico aumenta, e os processos biológicos tendem a governar sua disponibilidade para as plantas e, ou, microrganismos do solo (Cross & Schlesinger, 1995, *apud* Pavinato & Rosolem, 2008).

A fácil dissolução dos fertilizantes solúveis deixa os nutrientes mais sujeitos a perdas, como as perdas por lixiviação e solubilização, sendo esta última mais importante para o fósforo no solo. Existe uma tendência de pesquisas para obtenção de fontes de P mais solúveis e com características que reduzam a reação com o solo, conseguida, em parte, aumentando tamanho dos grânulos das fontes solúveis (Alcarde, J.C. 2007).

Como a solução do solo agricultado tende a se diluir continuamente, se faz necessário avaliar o comportamento do fosfato adsorvido, quanto à sua possibilidade em restaurar a solução do solo. Porém não podemos esperar contribuição significativa do fosfato adsorvido para a restauração da concentração inicial do fosfato na solução, pois o fenômeno de dessorção pouco contribuirá em Latossolo sob cerrado (Leal, 1971).

Leal, (1971) em estudo de características de adsorção de fosfato, em nove Latossolos sob cerrado, observou grande diversidade nas características de adsorção de acordo com a variabilidade dos solos. Os solos que apresentaram maiores capacidades de adsorção de fosfato foram os solos com teores mais elevados de óxidos amorfos de alumínio e com gibsita como componente em destaque na fração argila. Supôs-se que ambos devem participar ativamente no processo de adsorção de fosfato. Ainda, mostrou que a adsorção máxima de fosfato dos solos apresentou correlação linear altamente significativa com os teores de óxidos amorfos de alumínio. Estes óxidos apresentaram também correlação negativa na dessorção do fosfato tanto para reversibilidade com relação ao pH como a reversibilidade com relação à concentração. O estudo mostrou ainda que o pH

influencia a adsorção e dessorção de fosfato dos Latossolos, diminuindo a adsorção e aumentando a dessorção do fosfato anteriormente adsorvido com a elevação do pH. Correlações lineares altamente significativas foram encontradas entre a adsorção máxima de fosfato e os teores de argila e da matéria orgânica, o que ressalta a importância da superfície específica do solo nas reações de adsorção em Latossolos.

2.6. Fontes de fosfatos

Segundo KORNDÖRFER et al. (1999, *apud* CAVALLARO JÚNIOR (2006)), as fontes de fósforo podem ser divididas em solúveis, pouco solúveis e insolúveis. As fontes solúveis aumentam rapidamente a concentração do fósforo na solução do solo, tendo sua eficiência diminuída ao longo do tempo devido ao processo de “adsorção” ou “fixação” do P.

Resende; Furtini Neto (2007) afirmam que ainda há muita divergência sobre o uso das fontes de adubação fosfatada, sendo importante avaliar a eficiência, levando em consideração aspectos como características de natureza química e granulometria, métodos de aplicação e dosagem recomendada, características do solo e clima, sistema de preparo do solo, interação com outros nutrientes e culturas a serem adubadas.

Em geral os fosfatos mais solúveis como superfosfato simples e superfosfato triplo apresentam melhores desempenhos no suprimento de P de culturas anuais. Logo após a aplicação o P tende a ser rapidamente adsorvido pelo solo e precipitado, formando compostos de menor solubilidade (LOPES; GUILHERME, 1992). Em solos pobres e em doses moderadas de P o uso de fontes solúveis em aplicações localizadas tende a aumentar a eficiência de adubação por reduzir o contato do P com o solo (Resende; Furtini Neto, 2007).

A aplicação localizada apresenta a vantagem de aumentar a quantidade de P aplicado por volume de solo e reduzir a adsorção do P às partículas de argila, porém reduz a proporção de raízes com potencial para absorver-lo. A aplicação a lanço tem como vantagem aumentar a proporção de raízes com potencial para absorção, porém aumenta o contato do P com o solo facilitando a fixação. Segundo LOPES (1983) e GOEDERT; SOUSA (1984) a maior exploração do solo pelas raízes tem a

vantagem de melhor suportar períodos de veranico, podendo resultar em maior produtividade na adubação a lanço. A forma de aplicação de fosfato foi avaliada por ANGHINONI (1992), em Argissolo Vermelho Franco Argiloso com uso de superfosfato triplo em diferentes dosagens, onde encontrou que para doses mais baixas houve maior eficiência com a adubação localizada, porém a forma de aplicação deixou de ter diferença com uso de doses mais elevadas de P. Isso pode ser explicado devido as baixas quantidades de P absorvido pelas plantas, não fazendo diferença o uso de grandes quantidades em pequena parcela de solo (*apud* Resende; Furtini Neto, 2007).

A farinha de ossos resultante do abate de animais se apresenta como um dos mais tradicionais fertilizantes fosfatados insolúveis em água, porém solúvel em ácidos fracos, com referências que citam vantagens de sua utilização há mais de um século. AMARAL (1910, *apud* CAVALLARO JÚNIOR, 2006) é uma das mais antigas referências sobre as características químicas da farinha de ossos e sua utilização agrônômica no Brasil, onde o autor já afirmava que a farinha de ossos é um adubo de ação lenta, mas duradoura e efeitos que são percebidos até depois de 4 ou 5 anos.

Outros autores também classificaram a farinha de ossos como sendo fosfatos cujo fósforo é insolúvel em água, porém quase totalmente solúvel em solução de ácido cítrico a 2%. Foram apresentados valores que variaram entre 24 e 35% de P₂O₅ total na farinha de ossos, dependentes do processamento (autoclavagem, desengorduração ou degelatinização) dos ossos bovinos. A velocidade de disponibilização do fósforo e a capacidade de extração de P pelas plantas dependem, além da característica do fertilizante, do tipo de solo no qual este é aplicado (KIEHL, 1985, CATANI et al., 1956b *apud* CAVALLARO JÚNIOR, 2006).

Diversos estudos apresentam vantagens do fertilizante farinha de ossos na produção agrícola, inclusive observando efeito seu residual e comparação com fertilizantes de liberação lenta e de liberação rápida. A utilização de farinha de ossos em milho foi avaliada durante quatro anos com aplicação somente no primeiro ano, onde observou-se que no primeiro ano a produção foi 76% superior com o uso desse material em relação a área não adubada, sendo que no segundo ano o aumento foi de 237% (CUBA, 1938). SINGH et al. (1993) estudando fontes e doses de fósforo de baixa solubilidade, verificaram que a farinha de ossos disponibilizou 35% a 50%

de P_2O_5 após 45 dias de sua aplicação, o que pode ser interessante quanto a sua utilização para hortaliças de ciclo mais rápido (*apud* CAVALLARO JÚNIOR, 2006).

Na agricultura brasileira, predomina o uso dos fertilizantes fosfatados totalmente acidulados, obtidos a partir do tratamento ácido de rochas fosfáticas, a exemplo do superfosfato triplo (SFT). Entretanto, o alto custo dessas fontes de P tem despertado o interesse pelos fosfatos naturais (FN), que custam bem menos por unidade de P do que os solúveis (Resende et al., 2006). Os FN resultam simplesmente da moagem da rocha fosfática, podendo ou não passar por processos físicos de concentração. A solubilidade desses fertilizantes é variável em função da origem e do grau de substituições iônicas isomórficas. Alguns fosfatos naturais importados de origem sedimentar são mais solúveis do que os fosfatos naturais brasileiros, por possuírem menor cristalinização e maior reatividade no solo, sendo, por isso, denominados fosfatos naturais reativos (FNR) (Kaminski e Peruzzo, 1997).

O desempenho de alguns fosfatos naturais pode equiparar-se ao das fontes mais solúveis ao considerar a produção acumulada de vários cultivos após a aplicação, uma vez que enquanto os fosfatos naturais vão sendo solubilizados no decorrer do tempo, o P prontamente liberado dos fertilizantes solúveis pode passar para formas menos disponíveis (Novais e Smyth, 1999). Porém, para culturas que necessitam maior quantidade de P em curto prazo, a utilização do P dos fertilizantes solúveis se faz mais eficiente com rápida absorção pelas plantas, sem longo tempo de contato com partículas do solo, reduzindo adsorção, enquanto o P liberado lentamente pelo FN, além de poder não atender a demanda da cultura por este nutriente, tem mais tempo de contato com o solo devido sua liberação gradual, aumentando adsorção do fósforo no solo.

Segundo Leal, (1971) nos solos tropicais mais intemperizados, os componentes do solo representam o dreno preferencial de P e a aplicação a lanço pode não ser adequada para atender à demanda da planta. Ainda, no caso de adubação a lanço em área total, a limitada velocidade de dissolução dos fosfatos reativos, associada à dependência do processo de difusão para que ocorra o contato com a raiz, faz com que essa interação com o solo seja mais crítica, principalmente no caso do adubo disposto na entrelinha do milho, longe das raízes.

Kaminski e Peruzzo (1997) avaliaram a eficiência agrônômica de fosfatos reativos e afirmam que sempre haverá riscos da ocorrência de resultados contraditórios, e

como a eficiência agronômica de curto prazo das fontes de P está proporcionalmente relacionada com a sua solubilidade, deve-se basear esta análise no custo da unidade de P_2O_5 solúvel. Porém, entende-se mais assertivo que a análise seja realizada considerando também o efeito residual dos fosfatos, uma vez que estudos revelam sua importância na produção em cultivo em anos seguintes.

Para o milho, em sistemas mais tecnificados, os gastos com correção do solo e adubação representam, em média, 40 a 45 % do custo de produção (Coelho & Alves, 2003). Os gastos com a adubação fosfatada representam parte considerável do custo das lavouras na região do Cerrado e variam, dependendo da fonte de P utilizada e do prazo considerado para o retorno do investimento (Sousa et al., 2002). LOBATO e SOUSA (2004), afirmam que em condições de sequeiro a adubação fosfatada corresponde a 19,5% do custo de conversão de Cerrado nativo em área de produção de grãos (*apud* Resende, 2006).

Quanto à avaliação agronômica e econômica do uso de fosfatos, ao considerar que o efeito residual passa a ser um componente muito importante quando se considera a produção no ano da aplicação ou a produção acumulada de vários cultivos, a relação benefício/custo pode diferir muito, pois uma fração relativamente pequena do P dos fosfatos é aproveitada no primeiro ano, enquanto o restante permanece no solo, em formas de maior ou menor disponibilidade às plantas. São necessários experimentos de campo de longa duração, sem os quais não é possível considerar satisfatoriamente o efeito residual (Resende, 2006)

Alguns fosfatos naturais como o de Arad (origem sedimentar), são denominados também fosfatos reativos, e caracterizam-se por capacidade de liberação gradual do P no solo e apresentarem solubilidade intermediária entre os fosfatos acidulados (solúveis) e os fosfatos naturais brasileiros de origem ígnea ou metamórfica, sendo estes pouco solúveis (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Outra fonte de P originária de fosfatos naturais é o termofosfato que possui maior solubilidade devido ao processo de fusão pelo qual passa. A maior extração de nutrientes na presença do termofosfato também pode estar relacionada com a presença de Mg e de Si e com o poder neutralizante da acidez, característicos dessa fonte (MALAVOLTA et. al, 2003).

2.7. Efeitos dos ácidos orgânicos sobre o fósforo no solo

Haynes (1984), afirma que a maioria dos solos tem potencial de adsorver ácidos orgânicos (AO) com grande energia, ocupando os sítios de adsorção de fosfato, aumentando, assim, a disponibilidade de P para as plantas. Sposito (1989), afirma que esses ácidos podem também formar complexos organometálicos estáveis com Fe e Al, em várias faixas de pH diminuindo a adsorção de P nesses oxihidróxidos de Fe e Al, fator de grande importância em solos argilosos, com alto teor desses óxidos. Segundo Stevenson (1967), dentre os fatores que determinam a eficiência de competição dos ácidos orgânicos nos sítios de adsorção no solo estão: pH do solo, composição dos ácidos, concentração, capacidade de sorção e persistência dos mesmos no solo (*apud* Andrade et al. 2003).

Sibanda e Young (1986), em estudo sobre a adsorção competitiva entre os ácidos húmicos ou fúlvicos e o fosfato, em amostras de dois solos tropicais, encontraram redução na adsorção de fosfato, quando a concentração de ácidos húmicos foi elevada de 4 a 30 g kg⁻¹ de carbono orgânico, equivalente a um aumento de 7,2 a 52 g kg⁻¹ de matéria orgânica no solo. Entretanto os autores afirmam que essa eficiência não se deve, exclusivamente, à adsorção dos grupos carboxílicos, devendo-se, também, considerar o grande poder de complexação dos ácidos húmicos sobre o Fe e o Al na solução do solo, podendo reduzir a adsorção/precipitação de fosfato (*apud* Andrade et al. 2003).

Como proposto por Guppy et al. (2005, *apud* Pavinato & Rosolem, 2008), a adsorção competitiva entre o P e os ácidos húmicos, fúlvicos e ácidos orgânicos pelos sítios de adsorção do solo resulta no aumento da concentração de P na solução. Embora a inibição competitiva tenha sido considerada como o principal mecanismo de ação da matéria orgânica na disponibilização de P, a complexação de metais e reações de dissolução (influenciando óxidos de Fe e Al) podem, potencialmente, reduzir o número de sítios de adsorção, liberando P para solução, reafirmando citação de Sibanda e Young (1986).

Outro efeito direto, mas negativo, da matéria orgânica na disponibilidade de P é o aumento da formação de pontes de ligações metálicas, incrementando a adsorção. Por outro lado, a sorção de compostos da matéria orgânica pode aumentar a carga negativa na superfície do solo, ou diminuir o ponto de carga zero (PCZ), tornando mais difícil a adsorção de P (Guppy et al., 2005, *apud* Pavinato & Rosolem, 2008).

Deve-se considerar também que o aumento na disponibilidade de P pode-se dar simplesmente pela quantidade de P adicionado via material orgânico, sem haver interferência do P originalmente presente no solo (Pavinato & Rosolem, 2008).

Apesar dessas formas de ação comentadas e da efetividade em restringir a adsorção de P no solo, a maioria dos ácidos orgânicos é rapidamente mineralizada, o que depende diretamente da estrutura molecular de cada composto. A aplicação constante de esterco animal, a exsudação radicular e o metabolismo dos microrganismos, como fontes naturais de reposição de ácidos orgânicos no solo, podem manter o processo de bloqueio dos sítios de adsorção de P de maneira mais contínua. Mas isso vai depender do tipo de ácido orgânico produzido, das características de cada solo, e da efetividade de complexação do ácido orgânico produzido. É importante lembrar que os ácidos orgânicos de alta massa molecular (ácidos húmicos e fúlvicos) persistem por mais tempo no solo, e são mais efetivos na complexação de elementos tóxicos, como o Al, portanto esses compostos podem ser mais importantes que os ácidos orgânicos de baixa massa molecular na inibição da adsorção de P no solo (Pavinato & Rosolem, 2008).

Lopez Hernandez et al. (1986, *apud* Andrade et al. 2003), trabalhando com amostras de solos tropicais, concluíram que malato e oxalato eram mais rapidamente adsorvidos pelo solo do que o fosfato e que esses ânions, quando presentes na rizosfera, podem aumentar a disponibilidade de P para as plantas. A forma como são adicionados fosfato e ânions orgânicos interferem na redução da adsorção, que segundo os autores, a máxima redução na adsorção ocorreu quando o fosfato e o ânion orgânico foram aplicados juntos, ou quando a adição do ânion orgânico precedeu à do fosfato.

Em trabalho semelhante, Andrade et al. (2003) avaliaram redução na adsorção de P em Latossolo Vermelho textura muito argilosa - (LV) e um Latossolo Vermelho-Amarelo textura franco-argilo-arenosa - (LVA), pela adição de ácidos orgânicos (ácido cítrico, oxálico, salicílico - e de ácidos húmicos), com aplicação de fosfato antes, junto e após a aplicação dos ácidos orgânicos ou ácidos húmicos. Neste observou que a aplicação dos ácidos orgânicos e húmicos acarretou diminuição da adsorção de P, mediante a competição pelos sítios de adsorção de P no solo ou pelo prévio bloqueio destes sítios. O solo de textura muito argilosa (LV) apresentou menores valores na concentração de fósforo total (Pt) na solução, em virtude da sua

maior “capacidade máxima de adsorção de fosfato” (CMAF). Para os dois solos observou-se valores superiores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) quando se utilizou ácido cítrico, superando oxálico, salicílico e ácidos húmicos. De modo geral, observou-se que houve redução na adsorção de P com o aumento das doses de ácidos orgânicos e húmicos, tanto para o LV como para o LVA. Maiores doses de ácidos orgânicos e ácidos húmicos favorecem respectivamente a competição pelos sítios de adsorção de fosfato e a formação de complexos ácido orgânico/ácidos húmicos-fosfato, reduzindo a adsorção de fosfato e aumentando concentração de fosfato na solução.

Andrade et al. (2003) concluiu que o aumento da relação molar ácido orgânico:P acarretou redução na adsorção de fosfato, pela competição entre ácidos orgânicos e P pelos sítios de adsorção de P ou pelo prévio bloqueio dos mesmos. Concluiu ainda que a aplicação concomitante dos ácidos orgânicos ou ácidos húmicos e do fosfato no Latossolo vermelho textura muito argilosa - (LV) e do fosfato depois dos ácidos orgânicos ou ácidos húmicos no Latossolo vermelho-amarelo textura franco-argilo-arenosa (LVA) ocasionou menor adsorção/precipitação de fosfato.

Além dos efeitos sobre a redução da adsorção do P nas partículas de solo, existe a possibilidade de a aplicação de resíduos orgânicos interferir na dessorção do P previamente adsorvido. Lemare et al. (1987, *apud* Pavinato & Rosolem, 2008), examinaram o efeito, em longo tempo, da aplicação de resíduos de plantas na adsorção e dessorção de P em Latossolos do Brasil. As isotermas de adsorção, usando solos incubados por oito anos, demonstraram não haver efeito dos resíduos vegetais nas propriedades de adsorção de P, não sendo o valor de P lábil alterado. O efeito significativo do resíduo vegetal foi relacionado com o aumento do P isotopicamente trocável, mostrando que o P estava adsorvido com menor energia quando se adicionou matéria orgânica. Isso pode refletir numa maior capacidade de o solo fornecer P para as plantas, uma vez que a forma lábil de P está em equilíbrio com formas menos lábeis no solo.

Outros autores citam que o fato de haver maior mineralização de P do material orgânico adicionado pode ser a causa do aumento na disponibilidade de P, e não da inibição competitiva entre o C orgânico solúvel e o P pelos sítios de adsorção. Desta forma, parte do P liberado da matéria orgânica poderia ficar retida nos sítios de adsorção, dando a impressão de que reduziu a adsorção de P, mas o que houve,

na verdade, foi o aumento da quantidade total de P no meio e maior P disponível na solução (Erich et al., 2002, *apud* Pavinato & Rosolem, 2008).

Nziguheba et al. (1998, *apud* Pavinato & Rosolem (2008) compararam a influência do material orgânico de um resíduo de alta concentração de nutrientes (tithonia: 0,27 % de P e 3,8 % de N) com um de baixa concentração de nutrientes (milho: 0,07 % de P e 0,64 % de N), tendo sido o milho adicionado quatro vezes para somar a mesma quantidade total de P. A adsorção de P foi reduzida pela adição de resíduo de tithonia ao solo, com efeitos até quatro meses após a aplicação. Por outro lado, a adição de milho não teve efeito na capacidade de adsorção de P do solo. Então, materiais orgânicos com teores mais elevados de nutrientes, o que favorece sua mineralização, podem atuar na diminuição da adsorção de P ou aumentar a quantidade total de P no meio.

Segundo Afif et al. (1995), o efeito da matéria orgânica no bloqueio dos sítios de adsorção do fosfato é transitório, porém, na prática, tal efeito pode ser vantajosamente explorado, considerando o tempo de aplicação do fertilizante fosfatado. Esse efeito transitório deve-se à rápida mineralização de alguns ácidos orgânicos, deixando livres os sítios de adsorção. Contudo, Andrade et al. (2003) citando dados recentes demonstram que a adsorção de citrato em oxihidróxidos de Fe diminui sua degradação (Geelhoed et al., 1999), indicando que a adsorção dificulta a mineralização desses ácidos e que o efeito no bloqueio dos sítios de adsorção pode perdurar por mais tempo (*apud* Andrade et al., 2003).

A matéria orgânica poderia também aumentar a adsorção do fosfato, pelo impedimento da cristalização dos óxidos, aumentando a relação Fe oxalato/Fe ditionito, acarretando maior superfície de adsorção, sendo este o segundo efeito negativo da matéria orgânica na disponibilidade de P (Schwertmann et al., 1986, *apud* Pavinato & Rosolem, 2008), além do aumento da formação de pontes de ligações metálicas citada por Guppy et al. (2005), incrementando a adsorção.

Muitos estudos têm sido realizados no sentido de demonstrar o efeito isolado de ácidos orgânicos na adsorção de P, no entanto, geralmente nesses estudos são empregadas doses elevadas desses ácidos e altíssimas doses de P, muitas vezes com condições de saturar o solo, situação pouco provável de ocorrer no campo. Portanto, deve-se ter cuidado na interpretação dos dados desses experimentos, já

que podem não condizer com a realidade de áreas cultivadas (Pavinato & Rosolem, 2008).

Neste sentido, o trabalho proposto tem potencial de auxiliar na análise da adsorção de P em solos com baixa disponibilidade de P, comum em solos de Cerrado, além de potencial avaliação do efeito de ácidos orgânicos na adsorção de P, com dose moderada de P na adubação.

O uso de fertilização orgânica na adubação de plantio proposto no presente trabalho possibilitou avaliar efeito em condições de plantio a campo, das ações de compostos e ácidos resultantes da adubação orgânica, com a possível liberação de ácidos orgânicos na redução da adsorção de P em solos de Cerrado. O experimento com diferentes fontes de fósforo orgânico e mineral possibilita avaliar o benefício dos ácidos orgânicos liberados pela matéria orgânica na competição de sítios e consequente menor adsorção ao solo, possibilitando melhor aproveitamento do P aplicado, sendo ele de baixa ou alta solubilidade.

Os sistemas de cultivo também influenciam o comportamento dos nutrientes no solo. No sistema de semeadura direta, normalmente, ocorre acúmulo de matéria orgânica nas camadas superficiais, ocasionando, conseqüentemente, aumento na disponibilidade de alguns nutrientes nessas camadas. A semeadura direta altera em muito a dinâmica do P no solo, pois este nutriente acumula-se nas camadas superficiais, podendo aumentar a fração orgânica, seja pela ausência de mobilização, seja pela produção de ácidos orgânicos que competem pelos sítios de retenção (Rheinheimer, 2000, *apud* Pavinato & Rosolem, 2008). Já no sistema convencional, a distribuição do material orgânico é mais uniforme no perfil e a decomposição é, geralmente, mais rápida, dependendo da maior superfície de contato, desfavorecendo a acumulação de nutrientes em frações orgânicas no solo (Pavinato & Rosolem, 2008).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área experimental

O experimento foi realizado na Fazenda do Brejo, município de Mateus Leme, MG, localizado a Rodovia LMG-821, Km 05, sentido Mateus Leme para Serra Azul, em região conhecida como Gonçalves. Situado a 20°01'52" de latitude sul e 44°26'05" de longitude oeste, a uma altitude média de 830 m acima do nível do mar. A área apresenta solo classificado como Latossolo distrófico, anteriormente cultivada com plantio de milho, no ano de 2015 e posteriormente permanecendo coberto por capim-braquiária (*Brachiaria brizantha*) e servindo ao pastejo bovino.

3.2. Análise de solo

Foi realizada a amostragem do solo conforme CANTARUTTI et. al (1999), 05 meses antes da implantação do experimento, onde foram retiradas 20 amostras simples nas profundidades de 0-20 cm, e 20-40 cm, sendo caminhamento em ziguezague, coletadas as diferentes camadas no mesmo ponto de amostragem, todas de mesmo volume gerando uma amostra composta para cada profundidade. As amostras compostas foram levadas ao laboratório de Solos da Universidade Federal de Viçosa - *Campus Florestal*, localizado na Rodovia LMG 818, Km 06, Florestal, MG. A tabela 1 apresenta resultados da análise de solo nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, onde foram analisados os atributos conforme Lopes & Alvarez V. (1999).

3.3. Preparação da área e tratamentos

Foi aplicado calcário do tipo dolomítico com PRNT igual a 86%, 4 meses antes do preparo do solo, em dose determinada pelo método da saturação por bases, conforme Alvarez V. & Ribeiro (1999).

O preparo do solo foi realizado com roçada da área total e retirada da vegetação roçada, com posterior aração e duas gradagens. Para preparação das parcelas foi realizada abertura dos sulcos com enxada, distribuição e incorporação dos fertilizantes em até 20 cm de profundidade 5 dias antes do plantio.

Foram selecionados para os tratamentos insumos com potencial uso para produção dos fertilizantes orgânicos e organominerais formulados priorizando materiais que valorizem resíduos e coprodutos disponíveis na região. Desta forma entende-se haver vantagens adicionais de minimizar custos e reduzir impactos oriundos de transporte.

Para escolha das fontes de fertilizantes fosfatados utilizadas foram considerados custo, eficiência agrônômica e possibilidade de uso de resíduos e/ou coprodutos de processos produtivos. Desta forma, descartou-se o termofosfato magnésiano devido elevado custo de mercado.

Tabela 1. Principais atributos químicos do solo da área experimental (0–20 cm e 20-40 cm de profundidade) antes da aplicação dos tratamentos

	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	M.O.	P-rem	
	H ₂ O	---mg/dm ³ ---		-----cmol _c /dm ³ -----								-----%----			mg/L
0 a 20 cm	5.23	2.77	36.6	1.6	0.04	0.28	4.83	1.73	2.01	6.56	26	14	3.19	28.07	
20 a 40 cm	4.92	1.04	16.5	0.56	0	0.37	4.68	0.6	0.97	5.28	11	38	2.4	17.55	

Atributos e métodos de extração Lopes & Alvarez V. (1999): pH em água (H₂O); Fósforo disponível (P) e Potássio disponível (K) – Método Mehlich-1 (P e K, em mg/dm³ = ppm (m/v)); Cálcio trocável (Ca²⁺), Magnésio trocável (Mg²⁺) e Acidez trocável (Al³⁺) – Método KCl 1 mol/L (Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, em cmol_c/dm³ = meq/100 cm³). Acidez potencial – Método Ca(OAc)₂ 0,5 mol/L, pH 7 (H + Al, em cmol_c/dm³ = meq/100 cm³). Soma de bases (SB = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺, em cmol_c/dm³ = meq/100 cm³). Capacidade efetiva de troca de cátions (CTC ef = t = SB + Al³⁺, em cmol_c/dm³ = meq/100cm³). Capacidade de troca de cátions a pH 7 (CTC pH 7 = T = SB + (H + Al), em cmol_c/dm³ = meq/100 cm³). Saturação por bases (V = 100 SB/T, em %). Saturação por alumínio (m = 100 Al³⁺/t, em %). Matéria orgânica – Método Walkley & Black (m.o., em dag/kg = % (m/m)); Fósforo remanescente – Método do P em solução de equilíbrio (P-rem, em mg/L)

O principal insumo utilizado para o experimento foi cama de aviário, obtido na região de estudo (Florestal-MG), região onde este resíduo, também considerado um coproduto, apresenta alta geração devido elevado número de granjas de criação de aves para corte. A cama de aviário foi originária da produção de aves de corte do *campus* da UFV e foi obtida no setor de olericultura, onde foi previamente compostada por período aproximado de 10 meses amontoado em pilha de compostagem sem reviramento constante. A cama foi formada com fonte de carbono composta por palha de arroz.

Foram utilizados ainda outras 4 fontes de fosfato, sendo duas fontes consideradas menos solúveis (farinha de ossos, fosfato natural), e duas fontes consideradas mais solúveis (superfosfato simples e fertilizante formulado 8-28-16), conforme distribuição nos tratamentos a seguir.

Por se tratar de experimento a ser realizado em um único plantio, sem aproveitamento do potencial efeito residual, considerou-se para cálculo de fornecimento de fosfato o P_2O_5 solúvel, disponível para atendimento à demanda nutricional das plantas (Tabela 3).

Tabela 2. Distribuição dos tratamentos.

Tratamento	Insumos
1	Controle
2	Fertilizante NPK 8-28-16
3	Cama de Aviário
4	Superfosfato simples
5	Fosfato natural
6	Farinha de ossos
7	Cama de Aviário + Superfosfato simples
8	Cama de Aviário + Fosfato natural
9	Cama de Aviário + Farinha de ossos
10	Cama de Aviário + Fertilizante NPK 8-28-16

Para cálculo da definição da quantidade de fosfato levou-se em consideração solo com baixa disponibilidade de P ($2,77 \text{ mg/dm}^3$) e produtividade esperada acima de 50 t ha^{-1} de silagem de milho, com recomendação de 120 kg por hectare de P_2O_5 (Alves et al., 1999).

Os valores das formulações (combinações das fontes de fosfato com fertilizante orgânico cama de aviário) foram calculados considerando 25% do fósforo fornecido pela cama de aviário, e 75% do fósforo pelas demais fontes, de acordo com cada tratamento. Esta quantidade foi escolhida em detrimento da opção com 50% do fósforo fornecido pela cama de aviário por questões operacionais, proporcionando redução do volume total de fertilizante a ser aplicado.

Para 50% do fósforo fornecido pela cama de aviário, considerando teor de P_2O_5 solúvel da cama de aviário 0,6%, a adubação de plantio ficaria acima de 10000 kg/hectare , aumentando a dificuldade de aplicação em campo, enquanto para 25% do fósforo fornecido pela cama de aviário a quantidade aproximada é de 5000 kg/ha de adubação total de plantio.

A tabela 3 apresenta o teor de fósforo total e solúvel (em ácido cítrico 20g/l ou Citrato Neutro de Amônio - CNA + H₂O) presente em cada fertilizante, e a tabela 4 a quantidade recomendada para cada tratamento (em kg/hectare).

Para definição do teor de P₂O₅ solúvel da cama de aviário foi realizada análise química no laboratório logo após obtenção do material da pilha de compostagem.

Tabela 3: teor de fósforo total e solúvel (em ácido cítrico 20g/l ou CNA + H₂O) presente em cada fertilizante (em %).

Insumos	Teor total de P ₂ O ₅ (%)	Teor solúvel de P ₂ O ₅ (%)
Fertilizante formulado 8-28-16	28	28**
Cama de Aviário	3	0,6
Superfosfato simples	18	18**
Fosfato natural	24	4*
Farinha de ossos	20	15*

* P₂O₅ Solúvel em ácido cítrico 20g/l

**P₂O₅ Solúvel em CNA + H₂O

Tabela 4: quantidade de cada fertilizante recomendada para cada tratamento (em kg/hectare)

Tratamento	NPK (8-28-16)	Cama de aviário (CA)	Superfosfato simples (SS)	Fosfato natural (FN)	Farinha de ossos (FO)	Peso total
(Kg/ha)						
1	0	0	0	0	0	0
2	429					429
3		20000				20000
4			667			667
5				3000		3000
6					800	800
7		5000	500			5500
8		5000		2250		7250
9		5000			600	5600
10	322	5000				5322

Portanto, o estudo propôs avaliação de resposta do milho para produção de silagem testando 9 tratamentos, sendo 5 tratamentos com associação de fertilizante orgânico (cama de aviário) e 4 tratamentos sem cama de aviário, além de um tratamento controle (sem adubação).

O experimento foi implantado em delineamento de blocos casualizados com 10 tratamentos (incluindo controle sem adubação) e 3 (três) repetições, utilizando-se o milho híbrido AG 1051, utilizado na região de estudo para produção de milho verde e milho silagem.

Foram plantadas em 16 de fevereiro de 2018, 18 sementes por metro linear e posteriormente realizado desbaste para manutenção do estande com 36 plantas por parcela. Estas foram distribuídas em 6 linhas de 1 metro de comprimento espaçadas a 0,8m entre si totalizando 4,8m² por parcela, com estande calculado de 75mil plantas/hectare. Considerou-se como plantas úteis para avaliação 4 plantas centrais de cada parcela, ficando duas plantas para cada lado e duas linhas laterais como bordadura (Tabela 5).

Tabela 5: distribuição das plantas em campo para cada parcela, onde as quatro células centrais em destaque apresentam plantas avaliadas (parcela útil) e demais células consideradas bordadura.

1	7	13	19	25	31
2	8	14	20	26	32
3	9	15	21	27	33
4	10	16	22	28	34
5	11	17	23	29	35
6	12	18	24	30	36

O controle de plantas invasoras foi realizado com enxada, e o controle pragas, com foco em lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), realizado com inseticida a base de óleo de nim.

O regime pluviométrico na área do experimento foi favorável até os 48 dias após plantio, quando iniciou por longo período de déficit hídrico entre 05/04 e 13/06/2018, momento de colheita do experimento.

3.4. Avaliação do experimento

As avaliações foram realizadas no mês de junho de 2018, 105 dias após o plantio, utilizando das 4 plantas centrais de cada parcela experimental. Para avaliação as plantas foram cortadas rente ao solo (aproximadamente 3 centímetros acima), com medição de AP, AIE e PMV ainda em campo e então levadas para demais medições de variáveis.

As variáveis avaliadas na colheita do milho para silagem foram: altura de planta inteira (AP), altura de inserção de espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), peso da matéria verde por planta (PMV/planta), peso da matéria verde por hectare (PMV/hectare), peso da espiga com palha (PECP), sem palha (PESP), teor de fósforo (P), teor de potássio (K), teor de nitrogênio (N), conteúdo foliar de fósforo (P), potássio (K) e nitrogênio (N).

Medição da altura de planta inteira (AP) foi realizada da base da planta até a ponta do pendão, e altura de inserção de espiga (AIE) da base da planta até ponto de inserção da espiga, sendo ambas realizadas em campo, com uso de trena métrica de 3 metros de comprimento.

A medição das variáveis diâmetro do colmo (DC), comprimento de espiga (CE) e diâmetro de espiga (DE) foram realizadas com uso de régua graduada em 30 centímetros e paquímetro analógico. O CE foi medido de ponta a ponta da espiga, não diferindo se havia grãos até a ponta da espiga, DE foi medido na parte mediana da espiga e DC foi medido a aproximadamente 5 cm da base.

Peso da matéria verde por planta (PMV/planta), peso da espiga com palha (PECP) e sem palha (PESP) foram aferidos com uso de balança de gancho digital, com precisão de 10g.

Para análise do teor de fósforo (P), teor de potássio (K) e teor de nitrogênio (N) foi realizada retirada da folha oposta à espiga de cada uma das 4 plantas de cada parcela. Posteriormente foram deixadas secar à sombra, levadas para o Laboratório do Setor de Floricultura da UFV Campus Florestal para secar em estufa, trituradas, e colocadas em potes de vidro tampados para manutenção da umidade. Logo após foi realizada análise laboratorial dos teores de P, K e N.

Os dados experimentais dos tratamentos foram submetidos a análises de variância e então aos testes de comparação de médias. Por meio do teste F ($P \leq 0,05$), obteve-se a significância do contraste, comparando a média dos tratamentos do fatorial entre si. As médias das variáveis dos tratamentos foram comparadas entre si pelo teste de DUNCAN ($P \leq 0,01$).

3.5. Avaliação agronômica e econômica

As fontes utilizadas isoladamente e as combinações de fontes de fosfato com adubação orgânica (cama de aviário) foram comparadas em relação à sua eficiência relativa, tomando-se como referencial (eficiência relativa = 100 %) a produção de massa verde em kg/hectare do tratamento que não recebeu adubação (CONTROLE). Foi determinado o índice de eficiência agronômica das fontes para a produção de biomassa verde (PMV).

Considerou-se, em cada modo de aplicação, o superfosfato simples como fertilizante de referência para aplicação da fórmula:

$$\text{Eficiência Agronômica (EA)} = \frac{(\text{Produção Fonte} - \text{Produção Testemunha})}{(\text{Produção Superfosfato Simples} - \text{Produção Testemunha})} * 100$$

Propôs-se avaliação econômica dos resultados mediante produtividade obtida nos diferentes tratamentos e do custo por unidade de P_2O_5 dos adubos fosfatados, tendo, como constantes, os gastos com os demais fatores de produção e desconsiderando eventuais diferenças de custo na aplicação dos fosfatos. Tal avaliação foi baseada nos preços dos fertilizantes utilizados de cama de aviário, farinha de ossos, fosfato natural, superfosfato simples e fertilizante convencional formulado (NPK 8-28-16). Os valores por peso de produto, unidade de P_2O_5 total e P_2O_5 solúvel são apresentados na tabela 06, sendo estes obtidos na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) atualizados em janeiro de 2019.

Tabela 06: valores por peso de adubo obtidos na RMBH atualizados em janeiro de 2019

Insumos	Preço por Kg	Preço por tonelada
NPK (8-28-16)	R\$ 2.02	R\$ 2.020.00
Cama de Aviário	R\$ 0.25	R\$ 250.00
Superfosfato simples	R\$ 1.02	R\$ 1.020.00
Fosfato natural	R\$ 0.50	R\$ 500.00
Farinha de ossos	R\$ 1.25	R\$ 1.250.00

Conforme realizado por Resende (2006), calculou-se a relação benefício/custo referente aos tratamentos com fornecimento de P, de acordo com os respectivos ganhos de produtividade proporcionados em relação ao tratamento controle. Foi usado o preço de referência de R\$ 130,00 a tonelada de silagem de milho na região de estudo, de acordo com levantamento de preços no mês de janeiro de 2019.

Para avaliar a relação benefício/custo referente aos tratamentos com fornecimento de P isoladamente ou em associação com adubação orgânica, calculou-se os respectivos ganhos de produtividade proporcionados em relação ao tratamento-testemunha. Então, dividiu-se o valor gasto com adubação em cada tratamento com o respectivo valor do ganho de produtividade calculado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados demonstraram que houve tendência numérica em relação a produção de milho para silagem em resposta à adubação orgânica e fosfatada, comparativamente ao tratamento controle, porém não diferiram significativamente para as variáveis de produção de biomassa verde avaliadas.

Para as variáveis de crescimento de plantas foram observadas maiores diferenças para tratamentos com uso de adubação orgânica (cama de aviário) e uso de fertilizantes solúveis SS e NPK, fato que evidencia o efeito positivo da adubação orgânica na produção agrícola, mostrando efeito similar à adubação mineral.

A tabela 5 apresenta as médias dos tratamentos para as 12 variáveis avaliadas, sendo elas: altura de planta inteira (AP), altura de inserção de espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), peso da matéria verde (PMV/planta), peso da matéria verde (PMV/hectare), peso da espiga com palha (PECP), sem palha (PESP), teor de fósforo (P), teor de potássio (K) e teor de nitrogênio (N), além da identificação de significância onde letras diferentes representam diferença significativa a 5% para o teste de médias DUNCAN.

O anexo 01 apresenta ANOVA onde podem ser observados coeficientes de variância entre os tratamentos, sendo estes considerados para escolha do método de comparação de médias utilizado.

Tabela 7: médias e análise estatística das variáveis de produtividade de milho para silagem em condições de campo em resposta ao manejo de fertilização com diferentes fontes de fósforo combinada com fertilizante orgânico cama de aviário

TRAT	AP -----cm-----	AIE	DC mm	CE cm	DE mm	PMV	PMV/HA	PECP ----g/planta----	PESP
CONTROLE	190.75 b	98.50 c	13.33 ab	18.25 bc	33.33 bc	212.67 a	15.95 a	75.83 bc	52.08 bc
NPK	211.83 ab	112.67 abc	13.83 ab	19.17 abc	41.50 ab	257.50 a	19.31 a	109.17 abc	88.33 a
CAMA	227.08 a	123.33 ab	14.29 a	19.29 abc	40.67 ab	274.58 a	20.59 a	106.67 abc	87.50 a
SS	199.58 ab	106.25 bc	14.29 a	20.96 a	42.13 a	244.17 a	18.31 a	110.83 ab	85.83 a
FN	188.17 b	102.67 c	12.42 b	16.83 c	31.67 c	196.67 a	14.75 a	72.50 c	48.33 c
FO	182.75 b	96.50 c	12.33 b	17.92 bc	34.50 abc	187.92 a	14.09 a	76.67 bc	54.17 bc
CAMA+SS	208.51 ab	109.95 abc	12.29 b	19.69 ab	40.32 ab	245.98 a	18.45 a	96.27 abc	74.33 abc
CAMA+FN	202.58 ab	113.67 abc	12.92 ab	17.96 bc	37.08 abc	213.75 a	16.03 a	81.67 abc	64.17 abc
CAMA+FO	231.42 a	129.00 a	14.21 a	19.45 abc	35.17 abc	258.75 a	19.41 a	117.50 a	90.83 a
CAMA+NPK	215.33 ab	112.08 abc	12.83 ab	18.83 abc	40.33 ab	230.00 a	17.25 a	97.50 abc	80.83 ab

(continua na próxima página)

Tabela 7(continuação): médias e análise estatística das variáveis de produtividade de milho para silagem em condições de campo em resposta ao manejo de fertilização com diferentes fontes de fósforo combinada com fertilizante orgânico cama de aviário

TRAT	Teor N	Teor P	Teor K	Cont N	Cont P	Cont K
	-----%-----			-----g/folha-----		
CONTROLE	8.57 ab	1.37 a	4.41 de	44.27 a	7.11 ab	22.90 d
NPK	8.28 ab	1.78 a	8.41 bcd	45.92 a	9.81 a	46.61 bcd
CAMA	7.67 ab	1.52 a	14.17 a	42.06 a	8.29 ab	78.89 a
SS	8.97 ab	1.70 a	3.92 e	47.07 a	8.92 ab	20.62 d
FN	8.18 ab	1.31 a	5.30 cde	40.44 a	6.46 b	26.55 cd
FO	9.29 a	1.60 a	8.88 bc	47.40 a	8.17 ab	45.64 bcd
CAMA+SS	7.32 b	1.59 a	7.06 bcde	37.06 a	8.02 ab	34.81 bcd
CAMA+FN	8.20 ab	1.56 a	9.89 b	43.16 a	8.16 ab	51.39 bc
CAMA+FO	7.84 ab	1.55 a	9.52 bc	44.06 a	8.76 ab	53.23 bc
CAMA+NPK	7.25 b	1.40 a	10.29 ab	38.82 a	7.52 ab	54.98 ab

*Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de DUNCAN a 5 %.

**Os diferentes tratamentos foram: NPK (Fertilizante formulado 8-28-16), CAMA (Cama de Aviário), SS(Superfosfato simples), FN(Fosfato natural), FO (Farinha de ossos), CAMA+SS(Cama de Aviário + Superfosfato simples), CAMA+FN(Cama de Aviário + Fosfato natural), CAMA+FO (Cama de Aviário + Farinha de ossos) e CAMA+NPK (Cama de Aviário + Fertilizante formulado 8-28-16), aplicados em dose única de plantio, além da testemunha (CONTROLE) sem fonte de P ou qualquer outra adubação orgânica ou mineral.

***Variáveis avaliadas: altura de planta inteira (AP), altura de inserção de espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), peso da matéria verde (PMV/planta), peso da matéria verde (PMV/hectare), peso da espiga com palha (PECP), sem palha (PESP), teor de fósforo (P), teor de potássio (K), teor de nitrogênio (N), conteúdo foliar de fósforo (P), conteúdo foliar de potássio (K) e conteúdo foliar de nitrogênio (N).

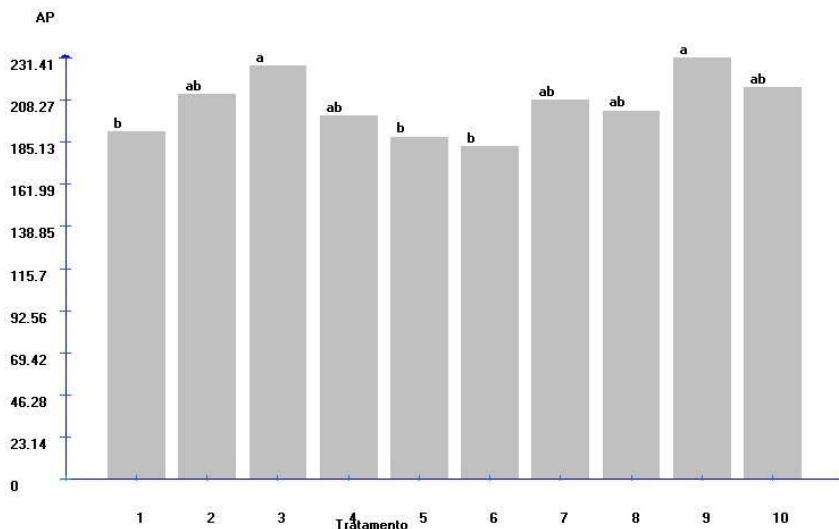
4.1. Variáveis de crescimento de plantas

Em relação ao crescimento das plantas observa-se que o tratamento com maior média de altura de planta (AP) e altura de inserção da espiga (AIE) foi o tratamento “CAMA+FO”, onde foi aplicado 5.000 kg.ha⁻¹ de cama de aviário (CAMA), e 600 kg.ha⁻¹ de Farinha de Ossos (FO), seguido pelo tratamento “CAMA”, onde foi aplicado 20.000 kg.ha⁻¹ de cama de aviário (CAMA).

Os gráficos 1 a 3 apresentam dados das variáveis de crescimento de plantas seguidos da indicação de análise de diferenças significativas, onde médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si pelo teste de DUNCAN a 5 %.

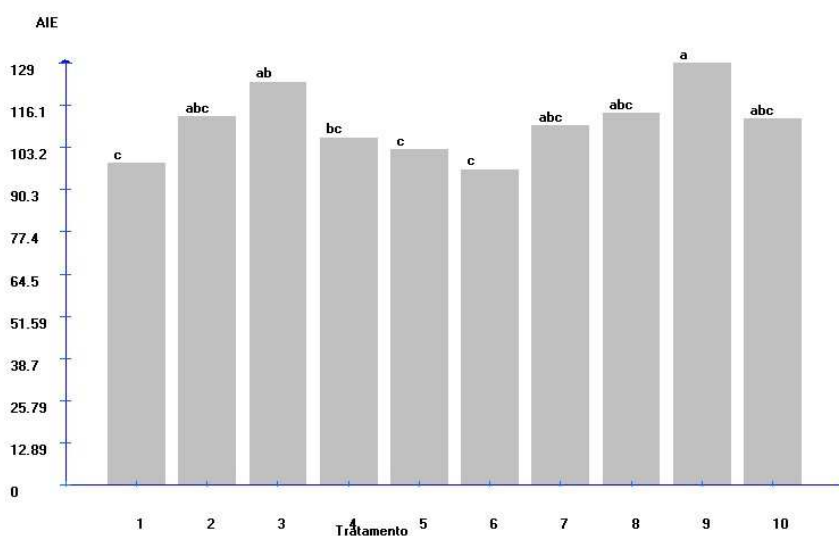
Numeração dos tratamentos apresentados nos gráficos: 1-CONTROLE; 2-NPK (Fertilizante formulado 8-28-16); 3-CAMA (Cama de Aviário); 4-SS (Superfosfato simples); 5-FN(Fosfato natural); 6-FO (Farinha de ossos); 7-CAMA+SS(Cama de Aviário + Superfosfato simples); 8-CAMA+FN(Cama de Aviário + Fosfato natural); 9-CAMA+FO (Cama de Aviário + Farinha de ossos); 10-CAMA+NPK

Gráfico 1: variável altura de planta (AP)



Para a variável AP, o teste de média apresentou diferença significativa do tratamento CAMA e CAMA+FO em relação aos tratamentos CONTROLE, FN e FO.

Gráfico 02: variável de altura de inserção de espiga (AIE)

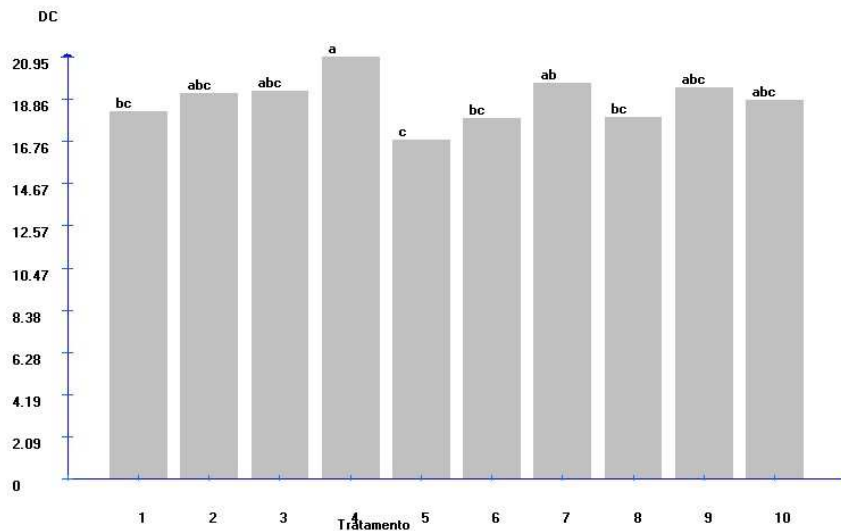


Para a **variável AIE** o teste de média apresentou diferença significativa do tratamento CAMA+FO em relação ao CONTROLE, SS, FN e FO e do tratamento CAMA para os tratamentos CONTROLE, FN e FO.

O melhor desempenho de “CAMA+FO” para variáveis de crescimento de plantas pode ter ocorrido devido maior fornecimento de nutrientes, pois além do fosfato solúvel para o qual foi recomendada a adubação fosfatada para cada tratamento, os fertilizantes CAMA e FO fornecem ao solo e plantas macro e micronutrientes.

Devido a diferença significativa entre os tratamentos “FO” (farinha de ossos) e “CAMA+FO” entende-se que houve influência positiva na associação entre a cama de aviário e a fonte de fosfato FO.

Gráfico 03: variável diâmetro do colmo (DC)



O tratamento que apresentou maior média para a variável diâmetro de colmo (DC) foi o tratamento “SS”, que apresentou diferença significativa para os tratamentos CONTROLE, FN, FO e CAMA+FN, seguido do tratamento “CAMA+SS” que apresentou diferença significativa para o tratamento FN. O tratamento que apresentou menor média para DC foi o “FN”. Nota-se que os tratamentos com maior média de diâmetro do colmo (DC) foram os que receberam Superfosfato simples (SS), associado ou não com adubação orgânica.

Interessante observar a não esperada diferença significativa entre SS e CAMA+FN, uma vez que o aporte de nutrientes neste último é notavelmente maior. Neste caso, a rápida liberação de P pelo SS, que coincidiu com período de melhor condição de disponibilidade de água para a cultura, pode ter favorecido o desenvolvimento dos tratamentos com SS. O fornecimento de enxofre pelo fertilizante SS pode também ter interferido no desenvolvimento das plantas deste tratamento.

4.2. Variáveis de produção de biomassa

Apesar de não serem constatadas diferenças significativas para as variáveis de produção de biomassa (PMV e PMV/ha), foi observada tendência numérica favorável aos tratamentos com adição de cama de aviário e de fertilizantes solúveis

na produção de matéria verde para sete dos tratamentos em relação ao CONTROLE (na ausência de adubação), com ganho de até 29% na produtividade.

Todos os tratamentos que receberam adubação orgânica com cama de aviário no plantio, em associação ou não com outras fontes de P, apresentaram aumento na produção de biomassa (PMV), com aumento de 8 a 29% superior ao CONTROLE.

Gráfico 04: variável produção de biomassa (PMV)

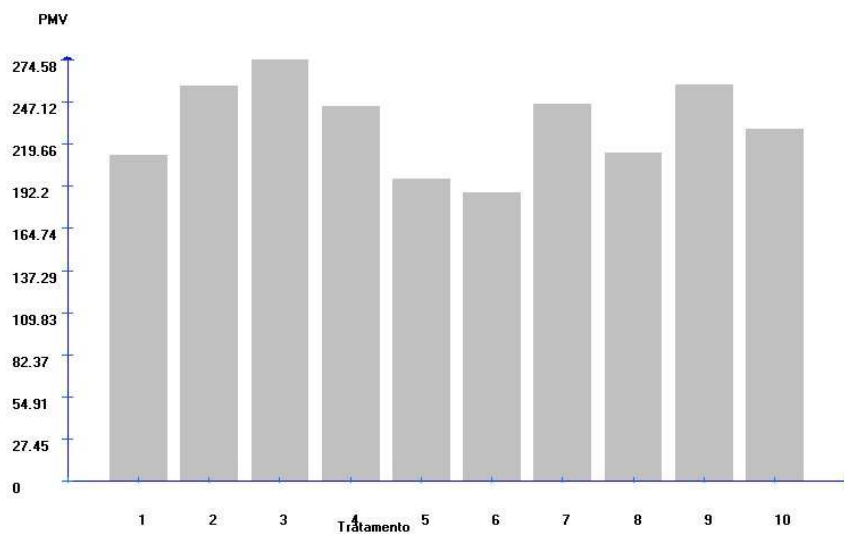
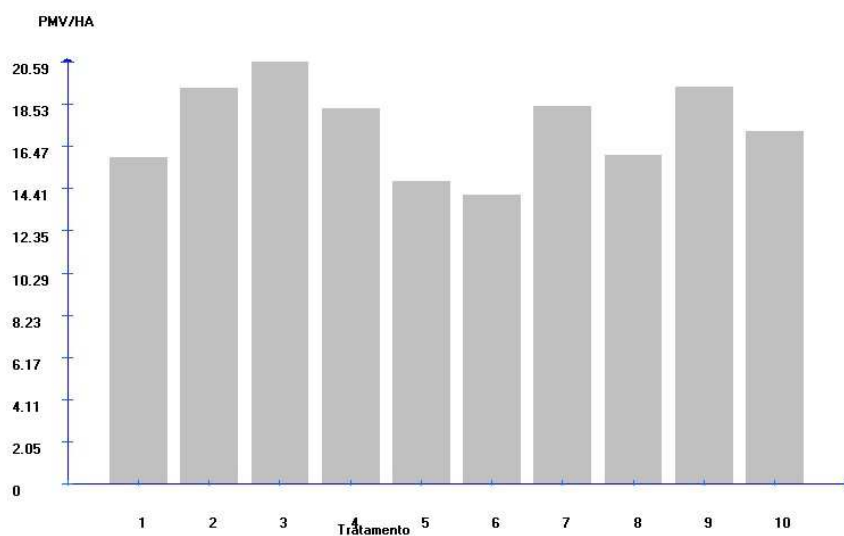


Gráfico 05: variável produção de biomassa (PMV/ha)



Apesar de não serem observadas diferenças significativas pelo teste Duncan a 5% de probabilidade, notou-se que o tratamento “CAMA”, seguido do tratamento “CAMA+FO” apresentaram os maiores valores médios para peso de matéria verde (PMV), representando respectivamente 20,59 toneladas e 19,41 toneladas por hectare, 29% e 22% superiores ao CONTROLE. O tratamento que apresentou menor produção de biomassa foi o “FO”, com média de 188 gramas por planta, equivalente à 14,1 toneladas de PMV por hectare, e 12% inferior ao CONTROLE, seguido do tratamento FN, 8% inferior ao CONTROLE.

Apesar de não encontrada diferença significativa entre os tratamentos, destacou-se maior diferença de valores entre os tratamentos que receberam a fonte de fósforo farinha de ossos (FO), com maior produtividade obtida no tratamento em associação de farinha de ossos (FO) com cama de aviário (CAMA). Esta diferença pode ser explicada primeiramente pelo fornecimento de nutrientes (P e outros) recebidos pela cama de aviário no tratamento em associação com FO, e devido a lenta disponibilização do fósforo da FO. A lenta liberação do P disponível na FO pode não ter fornecido quantidade suficiente do nutriente às plantas deste tratamento, enquanto o P disponível no adubo orgânico do tratamento CAMA+FO possa suprir a demanda em quantidade maior, mesmo que não tenha atendido toda a demanda nutricional da cultura, sendo possível ainda que tenha ocorrido influência positiva da associação entre o adubo orgânico e a farinha de ossos, acelerando a mineralização e disponibilidade do P presente na FO.

Melhores médias de produção de biomassa encontrados nos tratamentos que receberam adubação orgânica podem ser justificados pelos benefícios fornecidos pela matéria orgânica no solo apresentados na revisão bibliográfica, inclusive favorecendo maior disponibilidade de P, como adsorção competitiva entre o P e os ácidos húmicos, fúlvicos e ácidos orgânicos pelos sítios de adsorção de P, poder de complexação dos ácidos húmicos sobre o Fe e o Al na solução do solo, podendo reduzir a adsorção, além de fornecimento direto de P, resultando no aumento da concentração de P na solução e maior disponibilidade para as plantas (Pavinato e Rosolem, 2008; Andrade et al. 2003).

A produtividade de matéria verde também foi influenciada pelas fontes de P testadas isoladamente. Não foram observadas diferenças significativas para o CONTROLE, porém identificou-se que tratamentos com fontes de P de alta solubilidade (SS e

NPK) aplicadas isoladamente apresentaram tendência numérica para aumento na produção de biomassa (PMV), com 15 e 21% superior ao CONTROLE, enquanto fontes de P de baixa solubilidade (FN e FO) aplicadas em tratamentos isoladamente apresentaram tendência numérica que demonstram redução na produção de biomassa (PMV), com valores aproximados em respectivamente 8 e 12% inferior ao CONTROLE.

Embora não tenham sido observadas diferenças significativas para as variáveis de produção de biomassa houve contínua tendência numérica mostrando que os tratamentos que receberam adubação orgânica, assim como os que receberam fosfato de alta solubilidade apresentaram melhores resultados quando em comparação com o CONTROLE.

Para avaliar o efeito da associação entre o adubo orgânico utilizado e as demais fontes de P, apresenta-se a tabela 8, onde observa-se o comparativo dos tratamentos com fontes de P utilizadas com e sem mistura do adubo orgânico cama de aviário, com resultado da associação em diferença de produção de biomassa (PMV/ha) e percentual.

Tabela 8: produção de matéria verde (PMV/ha) com relação às diferentes fontes de P utilizadas, em associação ou não com adubo orgânico

Fonte de P	Produção (kg/hectare)		Diferença	
	Com Adubo orgânico	Sem Adubo orgânico	(kg/ha)	(%)
SS	18.45	18.31	0.14	1%
NPK	17.25	19.31	-2.06	-11%
FO	19.41	14.09	5.31	38%
FN	16.03	14.75	1.28	9%

Observa-se que para a fonte de fósforo “NPK” a associação com adubo orgânico apresentou resultado negativo, com redução da produtividade em 11%, apresentando resultado diferente do esperado.

Para as demais fontes de P, destacou-se o aumento de produção de 38% conferido para o tratamento CAMA+FO, em relação ao tratamento FO, enquanto para as fontes SS e FN o incremento de produção quando em associação com adubo orgânico foi baixo, respectivamente 1 e 9%.

Esperava-se maiores diferenças de produção entre os tratamentos em associação com adubação orgânica devido maior fornecimento de macro e micronutrientes presentes na cama de aviário, além das possíveis vantagens em relação ao condicionamento de solo, com melhoria de características químicas, físicas e biológicas.

A pequena diferença numérica para produção de matéria verde entre os tratamentos com e sem adubação orgânica não permite afirmar que houve efeito da associação, podendo as diferenças em produção serem resultantes de fornecimento direto de nutrientes pela matéria orgânica ou por influências externas aos tratamentos.

Para culturas que necessitam maior quantidade de P em curto prazo, a utilização do P dos fertilizantes solúveis se faz mais eficiente com rápida absorção pelas plantas, sem longo tempo de contato com partículas do solo, reduzindo adsorção. Esta afirmativa justifica as maiores médias de produtividade de SS e NPK em relação ao CONTROLE e aos tratamentos FN e FO.

Os tratamentos “FO”, “FN” e “CONTROLE” apresentaram menores médias para as variáveis de crescimento e acúmulo de biomassa (AP, AIE, PMV, PMV/ha, PECP e PESP). Pode-se inferir que estes resultados representam a maior deficiência nutricional destes três tratamentos, tendo recebido fontes de P de baixa solubilidade em água e em ácidos fracos, além de não receber adubação orgânica ou fontes solúveis de N e K.

Os resultados com menores médias relacionados ao FN estão de acordo com a afirmativa de Raij (1991) sobre o uso de fosfatos naturais de baixa reatividade, ao afirmar seu uso inadequado quando considerando somente obtenção de resultados no primeiro ano de cultivo, por não haver liberação de P na proporção que satisfaça às necessidades da planta, resultando em baixa eficiência. Desta forma, faz-se necessário alternativas de liberação rápida de fosfato para a demanda das culturas, ficando o efeito positivo do residual de P do FN para os cultivos posteriores.

Conforme afirmativa de Resende (2006), o desempenho de fosfatos naturais pode, ao considerar a produção acumulada de vários cultivos, equiparar-se ao das fontes mais solúveis, devido seu efeito residual. Porém se faz necessário aporte de grande quantidade deste fertilizante para atender às exigências de culturas de ciclo curto,

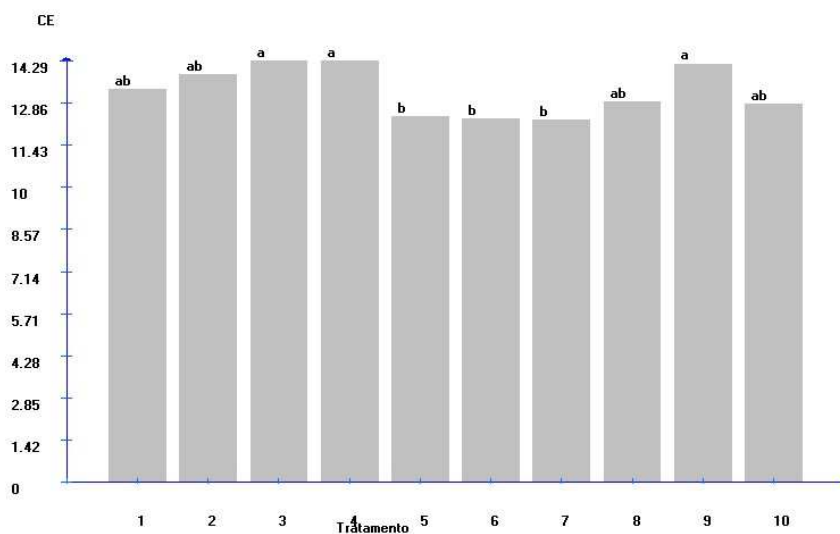
devido características de baixa disponibilidade de P e sua elevada adsorção às partículas do solo.

Esperava-se maiores diferenças nos resultados de produção de biomassa para todos os tratamentos com fornecimento de cama de aviário devido ao fornecimento direto de macro e micronutrientes à solução do solo, além das vantagens referentes a melhoria nas condições químicas, físicas e biológicas.

4.3. Variáveis de crescimento de espigas

Os gráficos 06 a 09 apresentam valores e diferenças estatísticas para as variáveis de tamanho e peso de espigas, onde pode-se observar que para as variáveis de comprimento de espiga (CE), os tratamentos que apresentaram maiores médias foram os tratamentos “CAMA” e “SS”, ambos com média de 14,29 cm por espiga, seguidos do tratamento “CAMA+FO”, com 14,21cm por espiga, todos diferindo significativamente dos tratamentos com menores médias para CE que incluem novamente “FO” e “FN”, além do tratamento “CAMA+SS” que apresentou a menor média com 12,29 cm por espiga.

Gráfico 06: variável comprimento de espiga (CE)



Interessante observar a diferença significativa entre o tratamento com associação de SS com CAMA e os tratamentos com CAMA e SS isoladamente, havendo redução no comprimento do tratamento em associação, provavelmente havendo interferências externas ao tratamento para ocorrer tal diferença. Não descartando efeito negativo na associação de CAMA e SS, visto que dois autores citam efeitos negativos da matéria orgânica na disponibilidade de P. Segundo Schwertmann et al. (1986) a matéria orgânica poderia aumentar a adsorção do fosfato, pelo impedimento da cristalização dos óxidos, aumentando a relação Fe oxalato/Fe ditionito, acarretando maior superfície de adsorção. Guppy et al. (2005) cita sobre o aumento da formação de pontes de ligações metálicas incrementando a adsorção.

Tabela 9: valores e diferenças estatísticas para as variáveis de tamanho e peso de espigas.

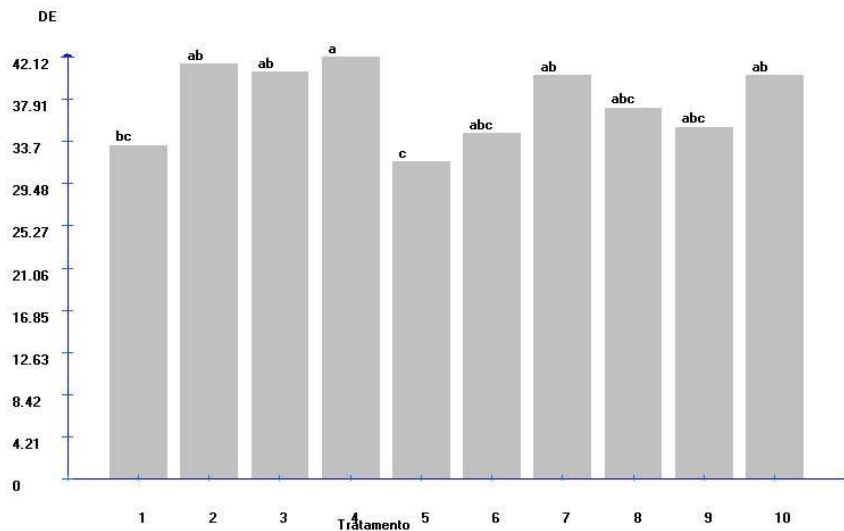
TRATAMENTO	CE cm	DE mm	PECP g/espiga	PESP
CONTROLE	13.33ab	33.33 bc	75.83 bc	52.08 bc
NPK	13.83ab	41.50 ab	109.17 abc	88.33 a
CAMA	14.29 a	40.67 ab	106.67 abc	87.50 a
SS	14.29 a	42.13 a	110.83 ab	85.83 a
FN	12.42 b	31.67 c	72.50 c	48.33 c
FO	12.33 b	34.50 abc	76.67 bc	54.17 bc
CAMA+SS	12.29 b	40.32 ab	96.27 abc	74.33 abc
CAMA+FN	12.92 ab	37.08 abc	81.67 abc	64.17 abc
CAMA+FO	14.21 a	35.17 abc	117.50 a	90.83 a
CAMA+NPK	12.83 ab	40.33 ab	97.50 abc	80.83 ab

*Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de DUNCAN a 5 %.

**Comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), peso da espiga com palha (PECP), sem palha (PESP).

***Tratamentos: NPK (Fertilizante formulado 8-28-16), CAMA (Cama de Aviário), SS(Superfosfato simples), FN(Fosfato natural), FO (Farinha de ossos), CAMA+SS(Cama de Aviário + Superfosfato simples), CAMA+FN(Cama de Aviário + Fosfato natural), CAMA+FO (Cama de Aviário + Farinha de ossos) e CAMA+NPK (Cama de Aviário + Fertilizante formulado 8-28-16), aplicados em dose única de plantio, além da testemunha (CONTROLE) sem fonte de P ou qualquer outra adubação orgânica ou mineral.

Gráfico 07: variável diâmetro de espiga (DE)

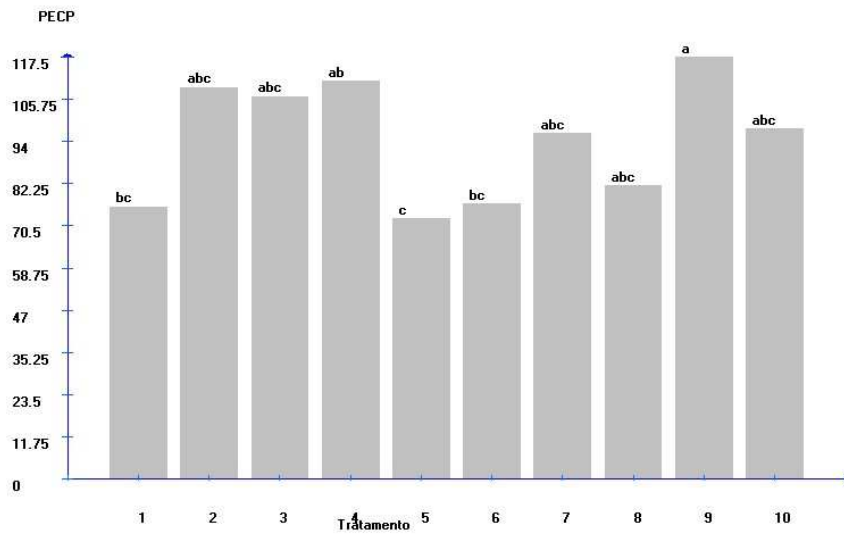


O tratamento com maior média de diâmetro de espiga (DE) foi o tratamento SS com diâmetro médio de 42,31mm por espiga, que apresentou diferença significativa para o CONTROLE e FN. Em seguida os tratamentos NPK, CAMA, CAMA+SS e CAMA+NPK, que apresentaram diferença significativa para o tratamento FN.

Os tratamentos que apresentaram menores médias para DE foram, assim como para as variáveis de crescimento de plantas, CONTROLE, "FO" e "FN".

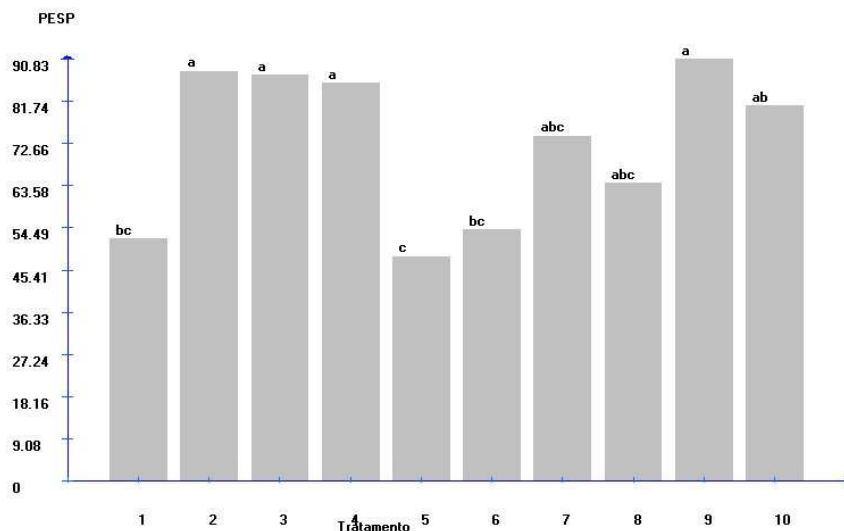
Para as variáveis de peso de espiga, o tratamento "CAMA+FO" apresentou maior média de peso de espiga com palha (PECP) e peso de espiga sem palha (PESP), seguido do tratamento "SS" para PECP e do tratamento "NPK" para PESP. O tratamento "FN" apresentou menores médias tanto no PECP como PESP, seguidos novamente do CONTROLE e tratamento FO para ambas variáveis.

Gráfico 08: variável peso de espiga com palha (PECP)



O tratamento CAMA+FO apresentou PECP com diferença significativa para os tratamentos CONTROLE, “FO” e FN, enquanto o tratamento SS apresentou diferença significativa para o tratamento FN.

Gráfico 09: variável peso de espiga sem palha (PESP)



Para a variável PESP os tratamentos CAMA+FO, NPK, CAMA e SS diferiram dos tratamentos CONTROLE, FO e FN, e o tratamento CAMA+NPK do diferiu do tratamento FN.

Para as variáveis de peso de espiga, mais uma vez destaca-se o efeito da adubação orgânica associada com farinha de ossos e boa resposta dos fertilizantes solúveis aplicados isoladamente. Novamente apresentando menores produtividades os tratamentos CONTROLE, FO e FN.

4.4. Variáveis de concentração de nutrientes

As variáveis de concentração de nutrientes foram analisadas e divididas em teor (mg/kg) e conteúdo foliar (mg/folha).

Com relação ao teor de nutrientes (NPK) na análise foliar, pode-se observar que houve considerável variação para os resultados dos 3 nutrientes, não apresentando a mesma relação de maior ou menor concentração para cada nutriente entre os tratamentos. Observou-se que o teor de nutrientes não teve relação direta com o desenvolvimento das plantas.

Gráfico 10: variável teor de N foliar

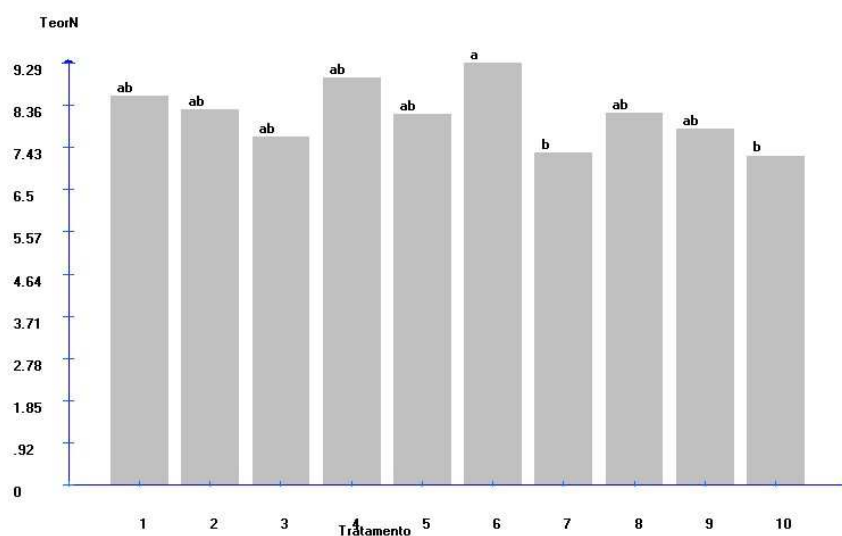


Gráfico 11: variável teor de P foliar

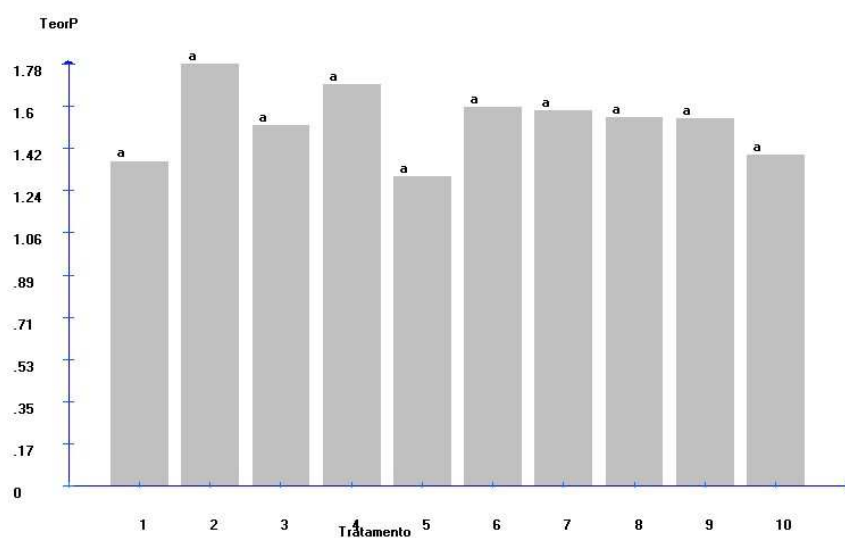


Gráfico 12: variável teor de K foliar

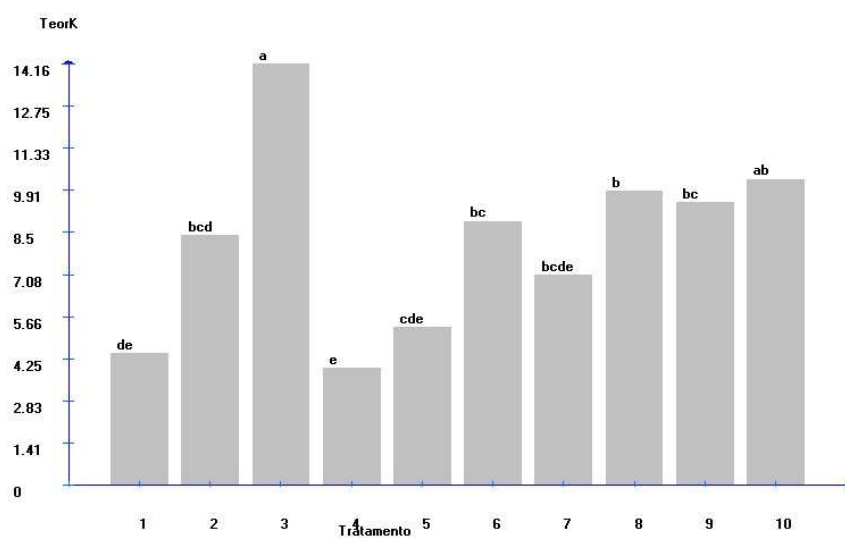


Tabela 10: teor foliar de N, P e K

	N (%)		P (%)		K (%)
FO	9.29	NPK	1.78	CAMA	14.17
SS	8.97	SS	1.70	CAMA+NPK	10.29
CONTROLE	8.57	FO	1.60	CAMA+FN	9.89
NPK	8.28	CAMA+SS	1.59	CAMA+FO	9.52
CAMA+FN	8.20	CAMA+FN	1.56	FO	8.88
FN	8.18	CAMA+FO	1.55	NPK	8.41
CAMA+FO	7.84	CAMA	1.52	CAMA+SS	7.06
CAMA	7.67	CAMA+NPK	1.40	FN	5.30
CAMA+SS	7.32	CONTROLE	1.37	CONTROLE	4.41
CAMA+NPK	7.25	FN	1.31	SS	3.92

*Teor de fósforo (P), teor de potássio (K) e teor de nitrogênio (N)

**Tratamentos: NPK (Fertilizante formulado 8-28-16), CAMA (Cama de Aviário), SS(Superfosfato simples), FN(Fosfato natural), FO (Farinha de ossos), CAMA+SS(Cama de Aviário + Superfosfato simples), CAMA+FN(Cama de Aviário + Fosfato natural), CAMA+FO (Cama de Aviário + Farinha de ossos) e CAMA+NPK (Cama de Aviário + Fertilizante formulado 8-28-16), aplicados em dose única de plantio, além da testemunha (CONTROLE) sem fonte de P ou qualquer outra adubação orgânica ou mineral.

Para **teor de N foliar**, o maior valor médio foi do tratamento “FO” seguido do “SS”, enquanto os menores teores percentuais foram dos tratamentos “CAMA+NPK” e “CAMA+SS”. Nota-se que dos tratamentos que apresentaram maiores concentrações de N, o tratamento “SS” não recebeu fonte de adubação nitrogenada, e não apresentou desenvolvimento tão inferior que possa ter concentrado o N, e o tratamento “FO” recebeu N somente devido percentual presente na farinha de ossos (FO) mínimo de 1,5% de N, equivalente a 12 kg/hectare de N, na adubação de 800 kg/ha de FO. Devido menor produção do tratamento FO, avalia-se a possibilidade de ter ocorrido maior concentração de N foliar. Os quatro piores valores de **teor de N** estão entre os tratamentos que receberam maiores doses de N, ficando a dúvida do motivo de não terem apresentado maior teor foliar.

Houve diferença significativa entre os tratamentos FO e tratamentos “CAMA+NPK” e “CAMA+SS”.

Para **teor de P foliar**, o maior valor médio foi do tratamento “NPK” seguido do “SS”, enquanto o menor teor percentual foi do tratamento “FN”, não havendo diferença significativa entre os tratamentos. Nota-se que os tratamentos com maiores concentrações de P foliar receberam fontes mais solúveis de P_2O_5 , enquanto o tratamento “FN” que apresentou menor valor de P foliar recebeu fonte pouco solúvel de P_2O_5 . Exceção observada para o tratamento FO, que apesar de ser uma fonte de P pouco solúvel, apresentou teor de 1,6%, inferior somente ao NPK e ao SS.

Em relação ao **teor de K foliar**, apresentaram maiores valores o tratamento “CAMA” que diferiu de oito tratamentos (CONTROLE, NPK, SS, FN, FO, CAMA+SS, CAMA+FN, CAMA+FO), seguido dos tratamentos “CAMA+NPK” e “CAMA+FN”, que diferiu dos tratamentos CONTROLE, SS e FN. Ainda, os tratamentos CAMA+FO e FO apresentaram diferença para os tratamentos CONTROLE e SS, e o tratamento NPK diferiu de SS.

Nota-se que os tratamentos com maiores concentrações de K foliar foram realmente os que receberam maiores doses de K. Considerando percentual de 2% de K₂O na cama de aviário e 16% no NPK (8-28-16), estima-se que o tratamento “CAMA” possa ter recebido o equivalente a 400kg/hectare, devido adubação orgânica de 20 toneladas/hectare, e o tratamento “CAMA+NPK” recebeu 152 kg/hectare de K₂O, da adubação de 322kg/hectare de NPK e adubação orgânica de 20 toneladas/hectare. O tratamento “SS”, “FN” e o CONTROLE, que apresentaram os menores teores de K foliar não receberam fonte de adubação de K.

Observa-se que o teor de nutriente foliar não apresenta relação direta com a produção de biomassa. As diferenças de teor de N, P e K obtidos na análise foliar não tiveram correspondente efeito sobre a produtividade do milho, ou seja, tratamentos que apresentaram maiores valores de N, P e K na análise foliar não foram necessariamente tratamentos que apresentaram maiores valores para as variáveis de produção e crescimento. Segundo Faquin, V. (2002), solos muito deficientes de determinado elemento que recebem doses ainda insuficientes do nutriente podem apresentar uma faixa da relação onde, pequena variação positiva do teor foliar, resulta em grande variação no crescimento ou produção. Neste caso, embora haja absorção do nutriente aplicado pelo adubo, o crescimento proporcionalmente maior não permite o aumento no teor foliar do elemento, podendo, inclusive, ocorrer diluição e redução do teor foliar em comparação a um tratamento que não recebeu o nutriente na adubação.

Tabela 11: conteúdo foliar de N, P e K

N (mg/folha)		P (mg/folha)		K (mg/folha)	
FO	47.4a	NPK	9.8a	NPK	216.3a
SS	47.1a	SS	8.9ab	CAMA+FO	198.0ab
NPK	45.9a	CAMA+FO	8.8ab	SS	187.7ab
CONTROLE	44.3a	CAMA	8.3ab	CAMA	181.4ab
CAMA+FO	44.1a	FO	8.2ab	CAMA+FN	171.4ab
CAMA+FN	43.2a	CAMA+FN	8.2ab	FO	167.1ab
CAMA	42.1a	CAMA+SS	8.0ab	CAMA+SS	163.5ab
FN	40.4a	CAMA+NPK	7.5ab	CAMA+NPK	161.6ab
CAMA+NPK	38.8a	CONTROLE	7.1ab	CONTROLE	147.0ab
CAMA+SS	37.1a	FN	6.5b	FN	128.3b

*Conteúdo foliar de fósforo (P), Conteúdo foliar de potássio (K) e Conteúdo foliar de nitrogênio (N)

**Tratamentos: NPK (Fertilizante formulado 8-28-16), CAMA (Cama de Aviário), SS(Superfosfato simples), FN(Fosfato natural), FO (Farinha de ossos), CAMA+SS(Cama de Aviário + Superfosfato simples), CAMA+FN(Cama de Aviário + Fosfato natural), CAMA+FO (Cama de Aviário + Farinha de ossos) e CAMA+NPK (Cama de Aviário + Fertilizante formulado 8-28-16), aplicados em dose única de plantio, além da testemunha (CONTROLE) sem fonte de P ou qualquer outra adubação orgânica ou mineral.

Em relação ao conteúdo foliar de nutrientes, houve diferença significativa para as variáveis conteúdo de P e conteúdo de K.

Para **conteúdo de N foliar** não foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos.

Houve diferença no **conteúdo de P foliar** entre os tratamentos NPK que apresentou 9,8mg/folha e FN que apresentou 6,5mg/folha. Diferença entre os mesmos tratamentos foi encontrada para o **conteúdo de K foliar**, com NPK apresentando 216,3mg/folha e FN com 128,3mg/folha.

Gráfico 13: variável conteúdo de N foliar

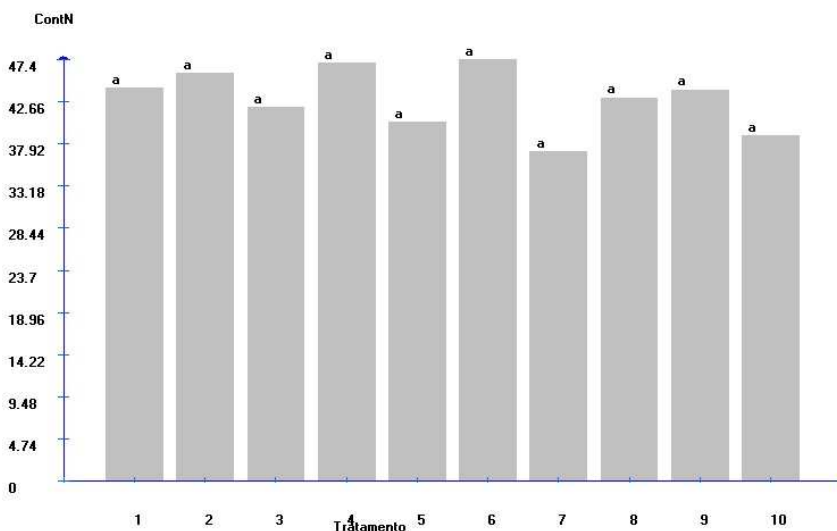


Gráfico 14: variável conteúdo de P foliar

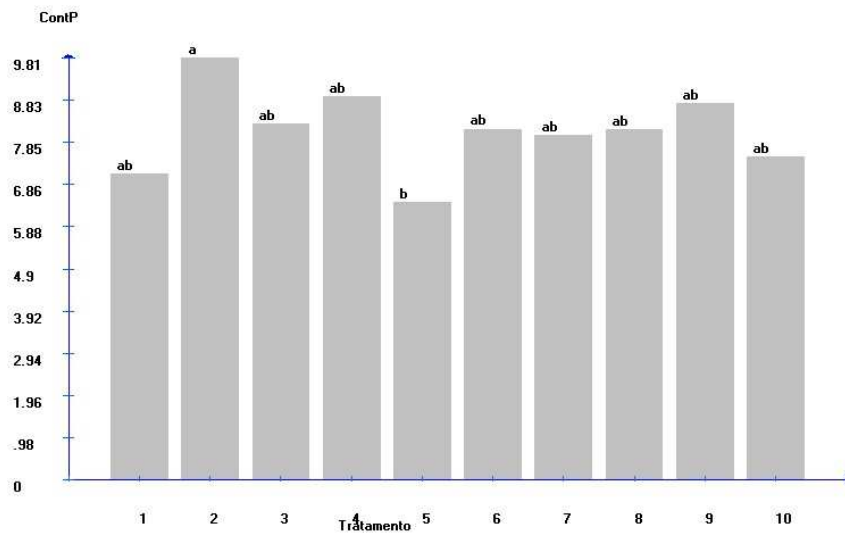
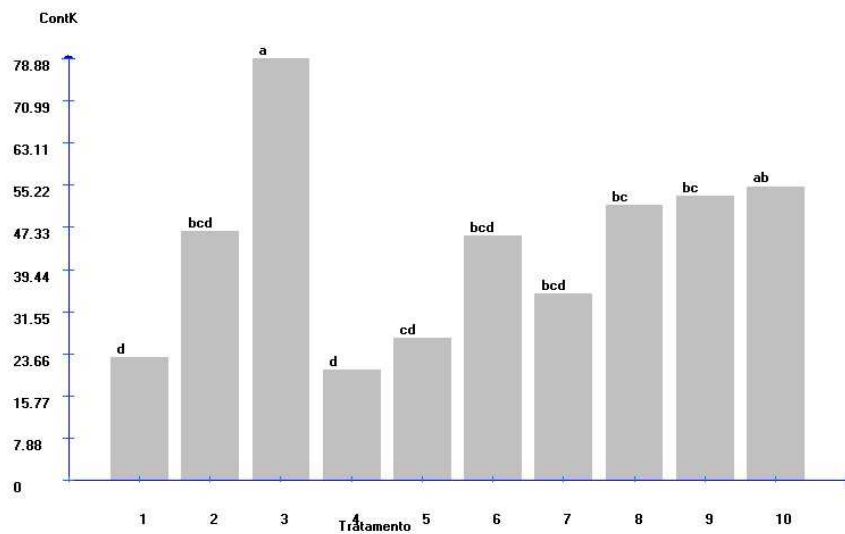


Gráfico 15: variável conteúdo de K foliar



Para a análise de viabilidade agrônômica, levou-se em consideração a produtividade convertida para toneladas de matéria verde por hectare (PMV/ha) obtida em cada tratamento (tabela 12).

A eficiência agrônômica de um fertilizante é a sua capacidade de fornecer ao sistema solo-planta os nutrientes de que é portador, refletindo na produtividade do sistema, ou em outras palavras, a relação entre o rendimento da cultura e a quantidade de unidades do nutriente. Por isso, é necessário que essa eficiência seja estabelecida por pesquisas à nível de campo, com observações de vários ciclos de cultivo (Kaminski e Peruzzo, 1997).

Tabela 12: valores de produção de biomassa (PMV/ha) e eficiência agrônômica para os 10 tratamentos realizados.

TRAT	PMV g/planta	PMV/ha Kg/ha	Eficiência Agrônômica (EA) %
CONTROLE	212.67	15.950.00	0%
NPK	257.5	19.312.50	142%
CAMA	274.58	20.593.75	197%
SS	244.17	18.312.50	100%
FN	196.67	14.750.00	-51%
FO	187.92	14.093.75	-79%
CAMA+SS	245.98	18.448.75	106%
CAMA+FN	213.75	16.031.25	3%
CAMA+FO	258.75	19.406.25	146%
CAMA+NPK	230	17.250.00	55%

*Peso da matéria verde (PMV), peso da matéria verde por área (hectare) (PMV/ha)

**Tratamentos: NPK (Fertilizante formulado 8-28-16), CAMA (Cama de Aviário), SS(Superfosfato simples), FN(Fosfato natural), FO (Farinha de ossos), CAMA+SS(Cama de Aviário + Superfosfato simples), CAMA+FN(Cama de Aviário + Fosfato natural), CAMA+FO (Cama de Aviário + Farinha de ossos) e CAMA+NPK (Cama de Aviário + Fertilizante formulado 8-28-16), aplicados em dose única de plantio, além da testemunha (CONTROLE) sem fonte de P ou qualquer outra adubação orgânica ou mineral.

Observa-se que os tratamentos CAMA, CAMA+FO e NPK apresentaram os maiores índices de eficiência agrônômica, com 197, 146 e 142% respectivamente, enquanto os tratamentos FN e FO apresentaram eficiência agrônômica negativa, com valores negativos de respectivamente 51 e 79%.

A tabela 13 apresenta resultados para eficiência econômica, considerando a variação de produção com referência no CONTROLE (15.950 kg/hectare).

Tabela 13: valores de eficiência econômica para os 10 tratamentos realizados.

Tratamento	Produção (Kg.ha ⁻¹)	Variação produção Relação com CONTROLE		Custo adubação	Relação benefício/custo
		Produção (Kg.ha ⁻¹)	Receita (R\$/ha ⁻¹)		
NPK	19.312.50	3.362.50	R\$ 437.13	R\$ 995.28	0.44
CAMA	20.593.75	4.643.75	R\$ 603.69	R\$ 5.000.00	0.12
SS	18.312.50	2.362.50	R\$ 307.13	R\$ 760.38	0.4
FN	14.750.00	(-) 1.200.00	(-) R\$ 156.00	R\$ 1.500.00	(-) 0.10
FO	14.093.75	(-) 1.856.25	(-) R\$ 241.31	R\$ 1.000.00	(-) 0.24
CAMA+SS	18.448.75	2.498.75	R\$ 324.84	R\$ 1.820.00	0.18
CAMA+FN	16.031.25	81.25	R\$ 10.56	R\$ 2.375.00	0
CAMA+FO	19.406.25	3.456.25	R\$ 449.31	R\$ 2.000.00	0.22
CAMA+NPK	17.250.00	1.300.00	R\$ 169.00	R\$ 1.997.04	0.08

**Tratamentos: NPK (Fertilizante formulado 8-28-16), CAMA (Cama de Aviário), SS(Superfosfato simples), FN(Fosfato natural), FO (Farinha de ossos), CAMA+SS(Cama de Aviário + Superfosfato simples), CAMA+FN(Cama de Aviário + Fosfato natural), CAMA+FO (Cama de Aviário + Farinha de ossos) e CAMA+NPK (Cama de Aviário + Fertilizante formulado 8-28-16), aplicados em dose única de plantio, além da testemunha (CONTROLE) sem fonte de P ou qualquer outra adubação orgânica ou mineral.

Os tratamentos que demonstraram maior eficiência econômica foram NPK, seguido do tratamento SS e CAMA+FO.

Ao analisar a relação benefício/custo dos tratamentos observa-se que o tratamento CAMA, que obteve melhor eficiência agrônômica, apresentou baixa eficiência econômica devido a quantidade de cama de aviário aplicada (20.000 kg/hectare), embora o valor por peso do produto seja baixo em relação aos demais.

A elevada quantidade utilizada parece ser o limitante do uso de adubação orgânica isoladamente, reforçando a possibilidade de uso da associação com outras fontes de P, sejam fertilizantes minerais ou orgânicos. Neste sentido, a associação de cama de aviário com outras fontes como farinha de ossos e superfosfato simples apresentaram melhor eficiência econômica quando comparados com adubação orgânica isoladamente.

Os tratamentos FN e FO, por terem menor produção em relação ao CONTROLE, apresentaram eficiência econômica negativa.

Portanto, destacou-se nas condições de cultivo, e considerando somente uma safra, maior eficiência econômica para os tratamentos com fontes de P solúveis (SS e NPK) testados isoladamente.

RESUMO E DISCUSSÃO

Verificou-se não ocorrer efeito significativo para as variáveis de produção de biomassa (PMV e PMV/ha) de milho silagem em resposta às fontes de P aplicadas isoladamente ou em associação com adubação orgânica. Porém, foram observadas diferenças significativas para as demais variáveis de crescimento de planta (AP, AIE, DC) e de espigas (CE, DE, PECP, PESP).

Esperava-se diferenças significativas na produção de biomassa (PMV) com o uso de diferentes fontes de fosfato associados ou não com fertilizantes orgânicos, principalmente quando comparadas com o tratamento “CONTROLE”, uma vez que em experimentos de adubação fosfatada, via de regra, a produção do tratamento-testemunha é extremamente baixa (Sousa & Lobato, 2003). Porém, superioridade produtiva esperada (com diferença estatística significativa) para os tratamentos com fontes de P associadas a adubação orgânica não foi confirmada pelas variáveis analisadas.

Desta forma, a hipótese que “fertilizantes orgânicos e organominerais utilizando diferentes fontes de fósforo podem substituir fertilizantes minerais na produção de milho silagem, atendendo ao condicionamento de solo e demanda nutricional para a cultura”, pode ser confirmada, uma vez que foram encontrados resultados estatisticamente iguais entre fertilizantes minerais e fertilizantes orgânicos e organominerais, porém não com a superioridade esperada, uma vez que não foram realizadas adubações de cobertura, não havendo suprimento de N e K para os tratamentos em que foram realizadas somente adubação com fertilizantes minerais (tratamentos SS e NPK).

Esperava-se principalmente efeito significativo na produção de biomassa, que não ocorreu, minimamente entre fontes de P em associação com adubação orgânica e o CONTROLE, ou os tratamentos com fontes de P de baixa solubilidade isoladamente, uma vez que os tratamentos em associação com adubação orgânica

receberam matéria orgânica, além de N e K, enquanto tratamentos sem associação receberam somente P.

Em vista dos resultados não significativos para a variável de produtividade de biomassa, apresenta-se duas possibilidades: a primeira, que as interferências de fatores externos aos tratamentos como déficit hídrico, N, P e K disponível no solo e oriundo da decomposição de restos orgânicos/braquiária levaram à equiparação dos resultados; e a segunda possibilidade que o P presente no solo e adicionado pelas diferentes fontes (SS, FO, FN e NPK) foram suficientes para suprir minimamente as demandas nutricionais da cultura no nível tecnológico utilizado, provavelmente tendo ocorrido limitações de crescimento além dos aspectos de disponibilidade de P, uma vez que mesmo nos tratamentos com fornecimento adequado de nutrientes (tratamentos com CAMA) não observou-se efeito significativo na produtividade, em comparação com o CONTROLE.

Portanto, parte dos efeitos pouco expressivos para as variáveis de produção apresentada entre os tratamentos com adubação e o tratamento CONTROLE podem ser atribuídos ao déficit hídrico ocorrido em período crítico de desenvolvimento da cultura, limitando o crescimento total. Porém, mesmo tendo apresentado déficit hídrico, como até os 48 dias após plantio o experimento recebeu regime pluviométrico semelhante ao indicado para a cultura, seria esperado maiores diferenças para tratamentos com maior fornecimento de adubação, possibilitando bom desenvolvimento inicial, melhor desenvolvimento de sistema radicular e maior área de exploração das raízes, favorecendo competição por água e nutrientes. Neste sentido, o desenvolvimento ligeiramente superior para os tratamentos com fósforo solúvel nas variáveis de crescimento pode ter ocorrido devido disponibilidade do P adequada no momento em que a planta mais demanda este nutriente e no período com adequado fornecimento de água para a cultura, o que pode ter proporcionado melhor desenvolvimento radicular para os tratamentos SS e NPK.

A hipótese de que o “uso de fontes de fósforo baixa solubilidade, e maior efeito residual, isoladamente ou na formulação de fertilizantes orgânicos e organominerais pode reduzir custos com adubação fosfatada no ano de aplicação e ao longo dos anos de cultivo, por aumentar disponibilidade de fósforo disponível na solução do solo” não pôde ser confirmada para as fontes isoladamente, uma vez que as fontes

de P de baixa solubilidade isoladamente não apresentaram boa resposta em produção de biomassa no ano de aplicação, apresentando baixa eficiência agrônômica.

Porém, as fontes de baixa solubilidade (FO e FN) em associação com adubação orgânica apresentaram desempenho satisfatório em relação às demais combinações, fontes solúveis (SS e NPK) e adubação orgânica, com resultados que pouco diferiram para as variáveis de crescimento de plantas e produção de biomassa, levando ao entendimento que fontes de baixa solubilidade podem substituir fontes solúveis na composição de fertilizantes organominerais. Para completar a resposta a esta hipótese, referente ao efeito em anos consecutivos, entende-se ser necessário a realização de análise em experimentos em anos consecutivos, além da análise de solo para verificação de efeito residual do fosfato em cada parcela.

Resende (2006) afirma, ao justificar a pouca diferença entre resultados encontrados em experimento sobre diferentes fontes e formas de aplicação de adubação fosfatada, sobre a possibilidade de que a participação de formas orgânicas no suprimento total de P para o milho explicaria a produtividade observada no tratamento testemunha, em que não houve adubação fosfatada e ainda assim não foi apresentada diferença significativa para os demais tratamentos.

O capim-braquiária é uma gramínea considerada eficiente na capacidade de absorver fontes pouco solúveis de P. Assim, apesar da baixa disponibilidade de P observada na análise do solo, poderia haver razoável estoque do nutriente nos restos vegetais da braquiária, o que pode ter proporcionado uma condição peculiar em que o P convertido em formas orgânicas seria biodisponível (Sousa et al., 2002 *apud* Resende, 2006), condição a que os extratores Mehlich-1 e resina não seriam sensíveis.

Portanto, em vista da presença de braquiária relatada por anos anteriores ao experimento, com pequeno intervalo quando houve plantio de uma safra de milho, há possibilidade de ter ocorrido o mesmo com relação à presença de P na forma orgânica.

Nascimento (2016), ao analisar dados de massa seca e macronutrientes (N, K, P, Ca e Mg), obtidos a partir da análise de folhas de milho, após coleta da parte aérea

das plantas 35 dias após o plantio, observou não haver diferenças estatísticas para nenhum dos macronutrientes em nenhuma das variáveis estudadas, tipo de adubação e presença ou ausência da torta de mamona. O autor sugere que as pequenas diferenças entre os tratamentos, não significativas, deve-se a fatores ligados ao histórico da área (adubações e plantios anteriores), assim como o tamponamento do solo (atuando como fonte de P, nos tratamentos mais restritivos, e como dreno, nos tratamentos com maior disponibilização do nutriente). Este sugere também que a eficiência no uso de P da variedade de milho ajudaram para a equiparação dos resultados.

Considerar que segundo Bhatti et al. (1998, *apud* Andrade et al. 2003) a adsorção do fosfato do solo diminuiu na presença de oxalato e de matéria orgânica. É possível que trabalhos de respostas a longo prazo para avaliação da combinação do uso de matéria orgânica com fontes de fosfato possam melhor demonstrar os possíveis efeitos de interação e redução da adsorção do fosfato no solo, devido efeitos de incremento de matéria orgânica no solo e liberação dos compostos orgânicos.

Os tratamentos com adubação de plantio de fontes de P solúveis, NPK e SS, mesmo sem receberem as adubações de cobertura recomendada para o adequado desenvolvimento da cultura, apresentaram resposta de produção positiva com valores próximos à maioria dos tratamentos com adubação orgânica, e com melhores resultados, se comparados com os tratamentos com fontes pouco solúveis de adubação fosfatada FN e FO. Os melhores resultados observados para os tratamentos SS e NPK levam a um entendimento de que as condições de solo altamente intemperizado com alto potencial de adsorção do P pode ter proporcionado adsorção de parte importante do P lentamente liberado pelo FN e FO, enquanto parte do P rapidamente disponibilizado por NPK e SS e em momento com adequado fornecimento de água para a cultura pode ter sido melhor aproveitado pelas plantas. Essa situação é típica nos solos tropicais mais intemperizados, nos quais os componentes do solo representam o dreno preferencial de P de fontes de limitada velocidade de dissolução, no caso do FN e da FO, associada à dependência do processo de difusão para que ocorra o contato com a raiz, faz com que essa interação com o solo seja mais crítica.

Fontes de fosfato consideradas menos solúveis (FN e FO) apresentaram resultados semelhantes entre si, com baixa resposta produtiva. Segundo Rajan et al. 1996,

apud Resende 2006), teoricamente, após a dissolução do fosfato natural (favorecida pela baixa concentração de P na solução do solo), o P é fixado imediatamente, se a disponibilidade do nutriente estiver abaixo do nível crítico.

Aparentemente, o fornecimento de SS e NPK, foi suficiente para atender à demanda da cultura nas condições de solo da área experimental, uma vez que não houveram grandes diferenças para as variáveis de produção destes tratamentos em comparação com os tratamentos CAMA e CAMA+ASSOCIAÇÃO (fontes de P), mesmo não havendo adubação de cobertura de N e K, sendo nos tratamentos com adubação orgânica considerado fornecimento de N e K pela lenta mineralização da matéria orgânica.

Portanto o melhor resultado apresentado pelos tratamentos com fontes de P isoladas pode estar relacionado à rápida liberação do nutriente no início do desenvolvimento da cultura, momento em que ocorreram melhores condições climáticas para o crescimento do milho. Após aproximadamente 50 dias do plantio ocorreu a última chuva na área e a cultura passou a sofrer condição de déficit hídrico, situação que, mesmo com aporte adequado de nutrientes, a planta não consegue obter desenvolvimento proporcionalmente satisfatório, dificultando a resposta da cultura à liberação gradual dos nutrientes do adubo orgânico, que teoricamente estaria substituindo a adubação de cobertura.

Quando um fertilizante fosfatado de qualquer origem é adicionado ao solo, ocorre uma sequência de eventos físico-químicos que transformam esse fosfato em substância fosfatadas complexas, as quais passam governar a disponibilidade desse nutriente no solo. Assim, se forem adicionados fosfatos solúveis em água, a reação no solo é rápida e os novos produtos formados conseguem manter uma solução saturada em P em torno da região de dissolução do grânulo. Isso cria um gradiente osmótico que provoca o deslocamento da água em sua direção, e ao mesmo tempo há a difusão da solução da região mais concentrada para regiões de menor concentração, próximas, garantido soluções com P suficiente para atender a demanda de plantas quando o sistema radicular atinge essas regiões. O evento prossegue até que haja diluição da solução com P, ou se completem as reações com os constituintes do solo e extinga o potencial osmótico. Como resultado, o pH do sítio onde ocorreu a reação será menor que o original. Se o fertilizante for de baixa solubilidade haverá um tipo de reação similar, mas nesse caso, a solução será

mais diluída e o potencial osmótico será menor, ambos ditados pela solubilidade do produto utilizado. Por isso, o movimento de água na direção do fertilizante será menor e esta solução influenciará volumes muito menores de solo ao redor do grânulo de fertilizantes, de modo que as rotas do movimento de P, serão a difusão na solução e o fluxo de massa e, por isso, sua disponibilidade dependerá da quantidade de água no solo, o que facilitará o acesso da raiz ao nutriente (Sample et al., 1980 apud Kaminski e Peruzzo, 1997).

5. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados permitem afirmar que, apesar de não encontrada diferença significativa, houve resposta à adubação orgânica e fosfatada em produtividade de matéria verde em cultivo de milho para silagem, com melhores resultados observados para os tratamentos onde utilizou-se adubação orgânica em associação ou não com as diferentes fontes de fósforo e para tratamentos com fontes de fósforo solúveis (SS e NPK).

Nas condições experimentais avaliadas no trabalho, fertilizantes fosfatados de alta solubilidade (SS e NPK) não associados com adubação orgânica, apresentaram resposta positiva para as variáveis de crescimento de milho silagem quando em comparação com fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade (FN e FO), porém não diferindo significativamente destes tratamentos ou do CONTROLE para as principais variáveis de crescimento de plantas e produção.

Nessas condições, fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade como FN (Fosfato Natural de Baixa Reatividade) e FO (Farinha de Ossos), sem associação com adubação orgânica, não apresentam resposta positiva para principais variáveis de crescimento de plantas e produção de milho silagem, sendo identificados valores produtivos próximos e até mesmo menores em relação ao tratamento CONTROLE para as principais variáveis de crescimento de plantas e produção. Esta constatação leva ao entendimento que isoladamente, quando não associadas a fertilizantes orgânicos na formulação de fertilizantes orgânicos ou organominerais, as fontes de P de baixa solubilidade avaliadas não podem substituir as fontes de alta solubilidade na produção de milho para silagem em uma única safra, devido baixa liberação de P para a solução do solo.

Os dados apresentados demonstram que para uma única safra não há redução de custos no uso de fontes de P de baixa solubilidade aplicados isoladamente, uma vez que estas apresentaram menor produção em relação às fontes de P solúveis e ao CONTROLE, não sendo observado efeito residual positivo, o que pode ocorrer quando a avaliação é realizada em safras consecutivas.

Quando em associação com adubação orgânica os dados mostram que, comparativamente às fontes de P solúveis pode haver redução no custo da adubação fosfatada com uso de FO, uma vez que a eficiência econômica do tratamento CAMA+FO superior aos tratamentos CAMA+SS e CAMA+NPK, sendo necessário avaliar em anos consecutivos para avaliação de efeito residual das diferentes fontes de P e do adubo orgânico.

Assim como observados em trabalhos que avaliaram efeito residual de diferentes fontes de P na adubação fosfatada de milho para silagem, espera-se que a adubação de fontes de baixa solubilidade associada a adubação orgânica possa apresentar efeito mais representativo em anos seguidos de cultivo, não sendo possível avaliação neste trabalho.

O déficit hídrico restringiu o potencial de resposta do milho à adubação recebida, apresentando pouca diferença entre os tratamentos com maior aporte de nutrientes e o CONTROLE sem aporte de nutrientes.

A fonte de fósforo de baixa solubilidade farinha de ossos (FO) em associação com adubação orgânica apresentou desempenho satisfatório em relação às combinações das fontes solúveis (SS e NPK) e adubação orgânica, com resultados próximos para as variáveis de crescimento de plantas e produção de biomassa, levando ao entendimento que fontes de baixa solubilidade como a farinha de ossos podem substituir fontes solúveis na composição de fertilizantes organominerais, com resposta semelhante em produção.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABPA (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL). **Relatório anual 2018**. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/setores/avicultura>>. Acesso em: 30/11/2018.
2. ABREU JUNIOR, C.H.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T. & KIEHL, J.C. **Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: Propriedades químicas do solo e produção vegetal**. In: TORRADO, P.V.; ALLEONIL.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P. & CARDOSO, E.J.eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v.4. p.391-470.
3. ALCARDE, J. C.. **Fertilizantes**. In: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG. 2007, 1.017 pág.
4. ALVES, V.M.C.; VASCONCELLOS, C.A.; FREIRE, F.M.; PITTA, G.V.E.; FRANÇA, G.E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J.M.; VIEIRA, J.R. & LOUREIRO, J.E. **Milho**. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação**. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.315-316
5. ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. **Calagem**. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação**. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.43-60
6. ANDA (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS). **Consumo aparente de matérias-primas e fertilizantes em 2017**. Disponível em: <<http://anda.org.br/contato/>>. Acesso em: 04.dez.2018.
7. ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H. & NOVAIS, R.F. **Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2003
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/>>. Acesso em: 20.dez.2018.
9. BARROS, R. T. V. **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. Ed Tessitura, Belo Horizonte, MG. 2012, 424 pág.

10. CANTARUTTI V.M.C.; RIBEIRO, A.C. & ALVAREZ V., V.H. **Amostragem do Solo**. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.** p.13-20
11. CAVALLARO JÚNIOR, MARIO LUIZ. **Fertilizantes orgânicos e minerais como fontes de N e de P para produção de rúcula e tomate**. 2006. 39f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Produção Agrícola) – Pós-Graduação – IAC.
12. COELHO, A.M. & ALVES, V.M.C. **Adubação fosfatada na cultura do milho**. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba, 2003. Anais. Piracicaba, Potafos/Anda, 2003. 31p. CD-ROM
13. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manejo ambiental na avicultura**. ISSN 0101 – 6245. Dezembro, 2011.
14. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **“Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira”**. 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>>. Acesso em: 04.dez.2018.
15. FAQUIN, VALDEMAR. **Diagnose do estado nutricional das plantas / Valdemar Faquin**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 77 p.: il. - Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância: Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Agronegócio
16. FERREIRA, M. M. M.; FERREIRA, G. B.; FONTES, P. C. R.; DANTAS, J. P. **Produção do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas épocas de cultivo**. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 21, n 3, p. 468-473, 2003.
17. GORGATI, C. Q. **Resíduos sólidos urbanos em área de proteção aos mananciais - município de São Lourenço da Serra - SP: compostagem e impacto ambiental**. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 2001. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/101902>>. Acesso em: 30/11/2018
18. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Disponível em: <<http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132#evolucao>>. Acesso em: 07.fev.2019

19. KAMINSKI, J. & PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo.** Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 31p. (Boletim Técnico, 3)
20. KIEHL, E.J. Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto. Piracicaba, 1998. 171p
21. LEAL, J. R. **Adsorção de fosfato em Latossolos sob Cerrado.** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 1971. 96p.
22. LEE, G. F.; JONES-LEE, A. & MARTIN, F. **Landfill NIMBY and Systems Engineering: A Paradigm for Urban Planning.** National Council on Systems Engineering Fourth Annual International Symposium, "Systems Engineering: A Competitive Edge in a Changing World," San Jose, CA, Vol. 1, pp. 991-998, August, 1994.
23. LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H. **Apresentação dos resultados das análises de solos.** In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.21-24.
24. LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. **Fertilizantes e corretivos agrícolas: sugestões de manejo para uso eficiente.** In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20. 1992. Piracicaba. Anais... Campinas: Fundação Cargill, 1992. P. 39-69.
25. MALAVOLTA, E. **Fósforo na planta e interação com outros elementos.** In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba, 2003. Anais. Piracicaba, Potafos/Anda, 2003. 85p.
26. MATOS, A. T. **Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais.** Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte, 2005.
27. MEDEIROS, J. C. **Uso do fino de carvão vegetal e da adubação potássica na produção de berinjela (*Solanum melongena* L.) em Latossolo amarelo antrópico na Amazônia Central.** Universidade Federal do Amazonas - UFAM, 2007.
28. MEERT, L.; Souza R. B.; Albuquerque J. O.; Paula J. T.; Jasse M. E.; Resende, F. V.; Silva, G. P. & Sousa J. M. **Produção orgânica de cenoura com compostos orgânicos elaborados por leira estática aerada.** Horticultura Brasileira 29: S4402-S4407. 2011.

29. MELLO, S. C.; VITTI, G. C. **Influência de materiais orgânicos no desenvolvimento do tomateiro e nas características químicas do solo em ambiente protegido**. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 20, n 3, p. 452-458, 2002
30. Ministério do Meio Ambiente. **Versão Preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <(http://sinir.gov.br)>
31. MONTEIRO, J. H. P. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República (SEDU), Coordenação técnica Victor Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.
32. NASCIMENTO, ELISAMARA CALDEIRA. **Produção orgânica no município de Seropédica: avaliação de sua sustentabilidade e o seu impacto nos atributos químicos e biológicos do solo**. 2016. 153f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.
33. NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
34. ONU BRASIL (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL). **Perspectivas da População Mundial: Revisão de 2017**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/>. Acesso em: 04.dez.2018
35. Pantano, G.; Grosseli, G. M.; Mozeto, A. A.; Fadini, P. S. **Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar**. Quim. Nova, Vol. 39, No. 6, 732-740, 2016
36. PARTELLI, F.L.; BUSATO, J.G.; VIEIRA, H.D.; VIANA, A.P.; CANELLAS, L.P. **Qualidade da matéria orgânica e distribuição do fósforo no solo de lavouras orgânicas de café Conilon**. Ciência Rural, v.39, p.2065-2072, 2009.
37. PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. **Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais**. R. Bras. Ci. Solo, 32:911-920, 2008
38. PAVINATO, P.S. **Dinâmica do fósforo no solo em função do manejo e da presença de resíduos em superfície**. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2007. 145p. (Tese de Doutorado)
39. RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do Solo e Adubação**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres/ Potafós, 343 p. 1991

40. RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E. **Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos do Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 32 p.
41. RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D.I.; SANTOS, J.Z.L. & CARNEIRO, L.F. **Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado**. R. Bras. Ci. Solo, 30:453-466, 2006
42. SANTOS, E. A.; KLIEMANN, H. J.; **Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de cerrado e sua avaliação por extratores químicos**. Pesquisa Agropecuária Tropical, 35 (3): 139-146, 2005.