

RESSALVA

Alertamos para a irregularidade das Tabelas e
ausência das Figuras não encaminhadas
pelo autor no arquivo original.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**EFEITO DA COMPOSTAGEM SOBRE A SOLUBILIZAÇÃO
E A EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE DIFERENTES
FONTES DE FÓSFORO**

VICENTE RODOLFO SANTOS CÉZAR

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do Título de
Doutor em Agronomia – (Área de
Concentração Energia na Agricultura)

BOTUCATU-SP

Março – 2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

EFEITO DA COMPOSTAGEM SOBRE A SOLUBILIZAÇÃO E A EFICIÊNCIA
AGRONÔMICA DE DIFERENTES FONTES DE FÓSFORO

VICENTE RODOLFO SANTOS CÉZAR

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Boas

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do Título de Doutor
em Agronomia – (Área de Concentração
Energia na Agricultura)

BOTUCATU-SP

Março – 2005

Há uma estrada real para a ciência e a seus cimos luminosos, onde somente podem chegar àqueles que não temem fatigar-se ao longo de suas ásperas sendas”.

Parte da carta de Karl Marx a Maurice Lachâtre.

(18 de março de 1872)

Dedico este trabalho especialmente a Deus, aos meus pais Vicente e Maria Aparecida, que em todos os momentos apoiaram os meus objetivos, e aos meus irmãos Mara Rúbia, Vinício Radamés e Rafael.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a Deus que guiou a mim e a outras pessoas envolvidas na realização desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Bôas pela orientação, acolhimento e amizade, conselho, atenção e muita paciência.

Ao professor William Vicente Nayváez-Solarte, pelo apoio estatístico e amizade demonstrada.

Ao professor Dr. José Edmar Khiel, pelos conhecimentos e amizade.

Aos professores do curso de Energia na Agricultura que muito somaram ao meu aprimoramento.

Ao Sr. José Carlos De Pieri, pela amizade, carinho, paciência e imensa ajuda profissional.
A todos funcionários do Departamento de Recursos Naturais - Ciência do Solo da F.C.A, UNESP, Botucatu-SP.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação da F.C.A - UNESP- Botucatu, pelo carinho e atenção.

Aos amigos e a todos os colegas gratidão, pelos momentos alegres e tristes vividos e proporcionados pelo curso de pós-graduação.

A CAPES pela concessão de bolsa durante o período de realização desse trabalho.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE SIMBOLOS.....	X
RESUMO.....	01
ABSTRACT.....	03
1 INTRODUÇÃO.....	05
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	07
2.1 Formas de fósforo nos solos tropicais e subtropicais.....	07
2.2 Solubilização de rochas fosfatadas pelo processo de decomposição aeróbia.....	08
2.3 Mecanismo de solubilização por ação dos microrganismos.....	09
2.4 Efeito da matéria orgânica nas características do solo.....	10
2.5 Efeitos da mistura de fontes de fósforo com matéria orgânica.....	11
2.6 Eficiência de fertilizantes fosfatados.....	12
2.7 Efeito da aplicação de fosfatos naturais reativos e do superfosfato triplo sobre o pH do solo.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Experimento I: Produção do composto orgânico e dos organominerais	16
3.2 Experimento II: Aplicação do fertilizante fosfatado, organomineral e composto orgânico ao solo	20
3.2.1 Instalação do experimento.....	20
3.2.2 Tratamentos.....	22
3.2.3 Delineamento experimental.....	25
3.2.4 Plantio das mudas.....	25

3.3 Avaliações.....	25
3.3.1 Produção de massa seca.....	25
3.3.2 Análise química das plantas para os dois cultivos.....	26
3.3.3 Análise química do solo para os dois cultivos.....	26
3.3.4 Índice de Eficiência Agronômica.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1 Experimento I.....	27
4.1.1 Comportamento da temperatura no centro das pilhas de compostagem	27
4.1.2 Parâmetros químicos avaliados.....	31
4.1.2.1 Comportamento do pH da compostagem em função da adição de fósforo.....	31
4.1.2.2 Teores de P Total e P solúvel em água nas pilhas de compostagem, em função da adição de diferentes fontes de fósforo.....	32
4.1.2.3 Teores de N na compostagem em função das diferentes fontes de fósforo aplicado.....	34
4.1.2.4 Teores de Carbono Orgânico e relação C/N na compostagem em função das diferentes fontes de fósforo aplicado.....	35
4.1.2.5 Balanço de matéria seca obtida após o processo de compostagem em função da adição de diferentes fontes de fósforo.....	35
4.2 Experimento II.....	37
4.2.1 Produção de massa seca da parte aérea de planta de alface, em função da fonte de fósforo aplicado ao solo.....	38
4.2.2 Quantidade de fósforo extraída pela parte aérea de planta de alface, em função das fontes de P aplicada ao solo.....	41
4.2.3 Avaliação do Índice de Eficiência Agronômica (IEA) das fontes de fósforo, relativos aos dados de produção de massa seca total da parte aérea de plantas de alface.....	43
4.2.4 Avaliação do Índice de Eficiência Agronômica (IEA) das fontes de fósforo, relativos aos dados de quantidade de fósforo extraído pela parte aérea de planta de alface.....	48

4.2.5 Características químicas do solo após primeiro cultivo, em função da fonte de fósforo aplicada.....	50
4.2.6 Características químicas do solo após segundo cultivo, em função da fonte de fósforo aplicada.....	55
5 CONCLUSÕES.....	58
5.1 Experimento I	58
5.2 Experimento II	59
6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	60

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Caracterização químicas dos fertilizantes fosfatadas empregados no preparo dos organominerais.....	17
2. Caracterização química dos materiais orgânicos empregados no preparo do composto orgânico.....	17
3. Quantidade de materiais contido na mistura e seus respectivos tratamentos.....	18
4. Características químicas do composto orgânico e dos organominerais.....	20
5. Características químicas do solo utilizado no experimento.....	21
6. Análise química de micronutrientes do solo utilizado no experimento.....	21
7. Composição granulométrica do solo utilizado no experimento.....	21
8. Características químicas do solo após calagem e incubação.....	22
9. Análise química de micronutrientes após calagem e incubação.....	22
10. Quantidade de matéria orgânica contida no composto orgânico e nos tratamentos enriquecidos com superfosfato triplo (ST) ou fosfato natural de Arad (FN) após a compostagem.....	24
11. Caracterização química das fontes de P produzidas após processo de compostagem.....	31
12. Balanço de matéria seca obtida após o processo de compostagem em função da adição de diferentes fontes de P.....	36
13. Produção de massa seca de parte aérea de plantas de alface submetidas a diferentes fontes de fósforo no solo, em dois cultivos.....	40
14. Quantidade de fósforo obtido na parte aérea de plantas de alface submetidas a diferentes fontes de fósforo no solo, em dois cultivos sucessivos.....	42
15. Resultado percentual do Índice de Eficiência Agronômica (IEA), calculado com base na produção de matéria seca da parte aérea de plantas de alface submetida a diferentes fontes de fósforo no solo, em dois cultivos sucessivos.....	47
16. Resultado percentual do Índice de Eficiência Agronômica, calculado com base na quantidade de fósforo extraído pela parte aérea de plantas de alface submetidas a diferentes fontes de fósforo no solo, em dois cultivos sucessivos.....	49

17. Resultados das análises químicas do solo submetido às diferentes fontes de fósforo após o 1º cultivo.....	52
18. Resultados das análises químicas do solo submetido às diferentes fontes de fósforo após o 2º cultivo.....	57

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Termopar.....	19
2. Multiplex e datalog.....	19
3. Área de compostagem.....	19
4. Valores médios de temperaturas diárias encontradas em função da adição de superfosfato triplo a compostagem.....	29
4. Valores médios de temperaturas diárias encontradas em função da adição de fosfato natural de Arad a compostagem.....	30
5. Efeito da adição de superfosfato triplo no pH da compostagem.....	32
6. Comportamento dos teores de P total, em função da fonte de P aplicada a compostagem.....	33
7. Comportamento do P solúvel em água, em função da adição de superfosfato triplo a compostagem.....	34

LISTA DE SIMBOLOS

ST Superfosfato Triplo

FN Fosfato Natural de Arad

CO Composto Orgânico

COST Adição de Superfosfato Triplo antes da compostagem

COSTF Adição de Superfosfato Triplo após a compostagem

COFN Adição de Fosfato Natural de Arad antes da compostagem

COFNF Adição de Fosfato Natural de Arad após a compostagem

IEA Índice de Eficiência Agronômica

AC Ácido Cítrico

CNA Citrato Neutro de amônio

RESUMO

Com o intuito de avaliar o efeito do processo de compostagem sobre a solubilização e a eficiência agronômica de diferentes fontes de fertilizantes fosfatados, foram desenvolvidos dois experimentos. O primeiro constou da produção de compostos orgânicos enriquecidos ou não com superfosfato triplo (ST) ou fosfato natural de Arad (FN). Foi realizado o acompanhamento da temperatura da pilha e do pH do material orgânico durante o processo, além de uma análise química do composto ao final do processo de compostagem. No experimento II, conduzido em vasos com plantas de alface, em casa de vegetação, os compostos orgânicos gerados foram aplicados ao solo para avaliar, através da planta, a Eficiência Agronômica (IEA) do fósforo. Para ambas as fontes, as quantidades de P adicionadas nos vasos foram de 200 mg de P L⁻¹ de terra. Os tratamentos foram: testemunha, fosfato natural de Arad (FN), superfosfato triplo (ST), composto orgânico + ST (COST) com 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0% de P, composto orgânico com FN (COFN) com 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0% de P adicionada antes da compostagem, COSTF e COFNF com adição das mesmas quantidades de P (ST ou FN) no composto orgânico após o processo de compostagem. Utilizou-se o delineamento estatístico inteiramente casualizado para os dois experimentos. Não se observou no experimento I, efeito favorável do enriquecimento com diferentes porcentagens de superfosfato triplo na compostagem sobre os parâmetros avaliados. Já para adição de diferentes porcentagens de fosfato natural de Arad, observou-se aumento sobre os valores de temperatura, pH, redução da massa da pilha e diminuiu a solubilidade do P solúvel em água, o que sugere que o processo biológico não promoveu a solubilização do fósforo. Para o experimento II os resultados do IEA, baseado na matéria seca e na quantidade de fósforo extraído pela parte aérea das plantas de alface, submetido às fontes provenientes do enriquecimento com superfosfato triplo ou fosfato natural antes da compostagem, apresentaram valores inferiores aos obtidos para as fontes oriundas da adição de fósforo após o processo de compostagem nos dois cultivos realizados, indicando não haver efeito favorável da adição de ST e FN na compostagem para o período avaliado.

Palavras-chave: fosfato natural, superfosfato triplo, matéria orgânica e *Lactuca sativa* L.

ABSTRACT

To evaluate the composting process on the solubility and agronomic efficiency of different phosphate sources, two experiments were developed. The first consisted of producing organic composts enriched with different levels of triple superphosphate (TS) or natural Arad phosphate (NP). Compost heap temperature and organic material pH were monitored throughout the process; compost chemical analysis was performed at the end of the composting process. In the second experiment, the organic composts were applied to the soil in potted lettuce plants under greenhouse conditions and agronomic phosphate efficiency (APE) was evaluated analysing the plants. For both compost sources, the quantity of additional phosphate was 200mg/L soil. Treatments were: control, NP, TS, organic compost + TS (OCTS) with 1.5, 3.0, 4.5, and 6.0% P, organic compost + NP (OCNP) with 1.5, 3.0, 4.5, and 6.0% P added before composting, OCTSP and OCNPP adding the same quantities of P (NP or TS) after the composting process. A completely randomized experimental design was used for both experiments. No favourable enrichment effects were seen in Experiment I from the different TS levels. However, increase in NP increased temperature and pH, and reduced heap mass and soluble P solubility; this suggests that the biological process did not promote phosphate solubility. APE results from Experiment II, based on dry material and quantity of phosphorous extracted from the above soil part of the lettuce plants, showed that the pre-enrichment composts were inferior to the post-enrichment composts in both crops, indicating that there was no favourable effect in adding TS and NP to the composting process in the evaluated period.

Keywords: natural phosphate, triple superphosphate, organic material, and *Lactuca sativa* L.

1 INTRODUÇÃO

O esgotamento da fertilidade do solo após várias épocas de cultivos sem reposição de nutrientes, bem como a exploração de áreas novas com solos de baixa fertilidade natural, tornaram a agricultura brasileira dependente de forma crescente e irreversível de aplicações maciças de fertilizantes.

Os fertilizantes minerais são essenciais para o aumento ou mesmo para a manutenção da produtividade das culturas. O aumento verificado nos últimos anos nos custos de produção vem desestimulando o seu uso em culturas de subsistência.

Os solos tropicais, principalmente os latossolos, apresentam limitações de ordem química para o adequado crescimento das plantas, com destaque para os baixos teores de nutrientes e elevada capacidade de adsorção de fosfatos. A baixa eficiência do fósforo aplicado através da adubação fosfatada evidencia a necessidade de se procurar alternativas no que diz respeito às fontes, época de aplicação e localização do adubo.

O processo industrial da produção dos fosfatos solúveis apresenta fatores limitantes, sobretudo a matéria prima (recurso não renovável) e o enxofre, este quase que totalmente importado (GOEDERT; SOUZA, 1986).

Em decorrência desses fatores ligados à fabricação e a retrogradação da forma solúvel para formas insolúveis, alguns trabalhos têm indicado a viabilidade do uso de matéria orgânica e de microrganismos na solubilização de fosfatos (WASKMAN, 1963), bem como na redução das reações de fixação de fósforo (LEAL; VELLOSO, 1973, citados por SCIVITTARO, 1993).

Com a preocupação de colaborar cientificamente e socialmente na busca de alternativas relacionadas ao manejo e à reciclagem de resíduos orgânicos gerados nos setores agroindustriais e urbanos de maneira econômica e ambientalmente correta, juntamente com a devida importância do fósforo no ciclo vital, somada à sua relevante carência nos solos tropicais e subtropicais, foi que o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da compostagem sobre a solubilização e a eficiência agrônômica de diferentes fontes de fósforo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Formas de fósforo nos solos tropicais e subtropicais

O fósforo constitui cerca de 0,12 % da crosta terrestre, sendo encontrado presente em rochas, solos, resíduos vegetais e na água, formando complexos com vários elementos (CATHCART, 1980).

O suprimento de fósforo para o mundo provém de depósitos minerais, sendo apatita o mineral predominante (CATHCART, 1980). No solo, concentrações relativamente altas são da ordem de 100 a 2000 ppm (VOLKWIES; RAIJ, 1977). A concentração de P pode variar devido ao material de origem, grau de intemperismo, matéria orgânica, reação do solo, microrganismos aeróbios e anaeróbios e seus metabólicos.

A quantidade de fósforo total no solo pouco esclarece a disponibilidade desse nutriente para o vegetal, uma vez que quase a totalidade de P encontra-se na forma não assimilável pelos vegetais (SCIVITTARO, 1993). Segundo Braga (1980), o P do solo encontra-se associado à matéria orgânica (forma orgânica) ou fazendo parte de compostos inorgânicos (formas inorgânicas). A fração orgânica representa, em certos casos, a metade do total do elemento no solo, especialmente no horizonte superficial (GOEDERT et al., 1971; FASSBENDER, 1978; GONÇALVES, 1984) citado por Scivittaro (1993).

O incremento do P na forma orgânica no solo está diretamente relacionado com o aumento de matéria orgânica do solo. Sabe-se que o aumento de fósforo orgânico do solo é atribuído ao manejo utilizado, tipo do material orgânico origem do material, atividade microbiana. Muitas vezes, essa biociclagem do material orgânico, pode liberar mais fósforo do que no próprio intemperismo (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Além do P ligado a compostos orgânicos, ocorre no solo P ligado aos óxidos de ferro e alumínio (fósforo ocluído) e ainda ao cálcio, formando fosfato de cálcio (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Segundo Jorge (1972), cálcio, ferro e alumínio quando ligados ao fósforo originam grande

número de compostos, cujos principais representantes são a apatita, a strengita e a variscita, diminuindo a disponibilidade de P às plantas.

Bolan et al. (1994) e Kiehl (1998) relataram que as menores gerações de formas ocluídas ou precipitadas (fosfato de cálcio) são atribuídas aos quelados e aos complexos organometálicos, os quais são importantes componentes do húmus da matéria orgânica.

2.2 Solubilização de rochas fosfatadas pelo processo de decomposição aeróbia

A solubilização de rochas fosfatadas pelo processo de decomposição aeróbia vêm sendo muito praticada e estudada na Alemanha, apresentando retorno econômico quando o composto orgânico gerado é utilizado na adubação dos solos.

A solubilização da rocha fosfatada é dependente de alguns fatores como tipo de material orgânico empregado, taxa de carbono/nitrogênio (ENWENZOIR, 1976) ou carbono/fósforo (SINGH, 1987), presença de microrganismo (WANI; SHINDE, 1976), aeração, temperatura (ALEXANDER, 1977) e adição de fonte energética (glicose) diluída na água e posteriormente, aspergido na pilha de compostagem (MEY et al., 1986, citados por SINGH; AMBERG, 1991).

Estudo sobre o uso da compostagem na solubilização de rochas fosfatadas são realizados devido ao grande número de microrganismos envolvidos no processo de decomposição da matéria orgânica, especialmente os heterotróficos, que, ao degradarem o material orgânico, liberam carbono, produzindo substâncias húmicas e ácidos orgânicos responsáveis pela solubilização ou mobilização das fontes de fósforo.

Singh e Amberg (1990) observaram que são produzidas quantidades significativas de substâncias húmicas durante o processo de decomposição de substratos lignocelulósicos, influenciando sobre a mobilização de fosfatos insolúveis. Nos diversos trabalhos realizados para avaliar o efeito da compostagem sobre a solubilização de rochas fosfatadas, observa-se que a quantidade de P solubilizado é bastante variável, atingindo valores percentuais de 1 a 5% de P solúvel em água (SINGH et al., 1983) e de 14,7 à 24,5 % quando enriquecido com fontes de P mais reativa (SINGH; AMBERG, 1991), sendo na maioria das vezes convertidos em formas de P orgânicas pela microflora existente no processo ou queladizados pelas

substâncias húmicas (MATHUR e DEBNATH, 1983).

Singh e Amberg (1995) descreveram que a solubilização de rochas fosfáticas pelo processo de compostagem tem sido investigada com detalhe, mas há necessidade de maiores informações sobre a eficiência do fósforo solubilizado em suprir a necessidade da planta e, particularmente, sobre a mineralização do P orgânico convertido pelos microrganismos envolvidos no processo de decomposição.

2.3 Mecanismos de solubilização por ação dos microrganismos

Branco et al. (2001) relataram dois mecanismos básicos de ação exercida pelos microrganismos sobre o meio para a solubilização do fósforo: o primeiro seria através de uma atividade secretora específica, liberando substâncias que provocariam a transformação dos compostos fosforados presentes em forma de assimilação mais fácil e imediata. Essa atividade, porém, seria limitada pela capacidade dos microrganismos de absorver fósforo, isto é, ela tenderia a diminuir ou cessar no momento em que estes seres estivessem “satisfeitos” ou “saturados” desse elemento essencial. Isso acontecendo, a solubilização de fósforo estaria condicionada pelas necessidades microbianas, não podendo esperar que sua contribuição fosse ilimitada ou proporcional à quantidade de fósforo insolúvel existente no meio.

Há estudos que comprovam o contrário, os quais informam que os microrganismos são capazes de absorver uma quantidade de fósforo maior que a sua necessidade. De acordo com Tryon (1959), as cianobactérias absorvem o fósforo em quantidades maiores do que o necessário, acumulando-o em suas células.

As bactérias também apresentam esse fenômeno de “consumo de luxo” de fósforo acumulando-o no interior da suas células na forma de grânulos, e este fenômeno tem sido utilizado em tratamento de esgotos por lodos ativados para a remoção de P em efluentes.

De qualquer forma, é possível que a solubilização efetuada pelos microrganismos seja bem maior que aquela que satisfaria às suas necessidades imediatas, mas, assim mesmo, seria limitada (BRANCO et al., 2001).

O outro mecanismo de solubilização de fósforo seria resultante meramente da presença de gás

carbônico em excesso no meio. Em toda atividade decompositora há uma produção de CO₂, contribuindo para o enriquecimento do meio desse composto. Nessas condições as seguintes reações são possíveis:



A reação 1 é a da oxidação da glicose, resultante do metabolismo dos seres decompositores. A glicose combina-se ao oxigênio, na respiração aeróbia, formando gás carbônico e água. Esse gás carbônico combina-se ao fosfato tricálcio, insolúvel, formando fosfato dicálcio, através da reação 2:



Finalmente, o fosfato dicálcio, em presença de excesso de CO₂, reage com este, formando o fosfato monocálcio, solúvel, através da reação 3:



Essas reações não se dão em condições normais de laboratório, a não ser sob temperatura e pressão muito elevadas. Em presença dos microrganismos elas se realizam com facilidade, fazendo uso, provavelmente, da energia que obtém com a metabolização da matéria orgânica.

2.4 Efeito da matéria orgânica nas características do solo

A matéria orgânica é responsável por algumas reações químicas que ocorrem no solo, como complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, influência na capacidade de troca catiônica e pH, além de fornecer nutrientes às plantas.

Hunter et al. (1995) e Wong et al. (1995) comentam que a matéria orgânica do solo pode apresentar um efeito semelhante ao da calagem, em termos de correção de acidez e neutralização de níveis tóxicos de alumínio.

Esse aumento do pH do solo devido à adição de resíduos orgânicos tem sido atribuído à própria adsorção de hidrogênio e alumínio na superfície do material orgânico (HOYT; TURNER, 1975).

Segundo Bloom et al. (1979), os resíduos orgânicos não podem ser considerados substitutos satisfatórios do calcário em virtude de seus efeitos serem temporários, a não ser que sejam incorporados anualmente ao solo em grandes quantidades.

A matéria orgânica, quando aplicada ao solo, não somente favorece as características químicas, mas está diretamente relacionada com as características físicas e biológicas do solo. Santos e Camargo (1999) relataram que a matéria orgânica do solo influencia na agregação do mesmo, o que indiretamente afeta as demais características físicas do solo, como por exemplo, densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e a infiltração de água. Outra capacidade atribuída a matéria orgânica diz respeito às características biológicas do solo, como fonte de carbono, energia e nutrientes.

Os efeitos da matéria orgânica sobre os microrganismos do solo podem ser avaliados a partir da biomassa e atividade microbiana, parâmetros que representam uma integração de efeitos desta sobre as condições biológicas do solo (CATTELAN; VIDOR, 1990).

Em sistema de plantio direto, verificou maiores valores de biomassa e atividade microbiana, estimada a partir da liberação de CO₂. Além dessas vantagens, a matéria orgânica do solo exerce importante função sobre a liberação do fósforo ocluído ou de fósforo contido e adicionado ao solo através da adubação fosfatada.

2.5 Efeitos da mistura de fontes de fósforo com matéria orgânica

Este efeito positivo foi evidenciado no trabalho de El Baruni & Olsen (1979), onde os autores observaram que misturando previamente o esterco de bovino com superfosfato simples, houve aumento na disponibilidade de fósforo para a planta de milho quando comparado com os fertilizantes orgânicos e minerais usados separadamente.

Santos et al. (1992) estudaram o efeito da adição de composto orgânico de lixo urbano, suplementado com superfosfato triplo e inoculado com *Bradyrhizobium*, na cultura do caupi e concluíram que os resultados encontrados foram semelhantes aos determinados na fonte mineral NPK.

Kirk et al. (1998) citaram que a disponibilidade de fósforo é aumentada após essa mistura,

devido à liberação de ácidos orgânicos sintetizados no processo biológico de decomposição da matéria orgânica. Descreveram, ainda, que os ácidos orgânicos oriundos do processo quelam o ferro e o alumínio, liberando o fósforo da forma ocluída, a qual é encontrada na maioria dos solos tropicais.

Leal & Velloso (1973), atribuem este comportamento à presença de radicais livres que bloqueiam as hidroxilas expostas na superfície de óxidos de ferro e alumínio, reduzindo a capacidade de retenção de fósforo dos solos.

Nahas (1991) relata que, geralmente, são os ácidos orgânicos que apresentam cargas negativas, e que os mesmos se complexam aos íons de carga positiva, como por exemplo, cálcio, magnésio, ferro e alumínio, liberando fosfato para solução do solo. Ainda, o autor descreve que são os açúcares, compostos aromáticos e substâncias húmicas que apresentam características de queladores.

Também, a geração de ácidos orgânicos e substâncias húmicas produzidos pelos microrganismos envolvidos no processo de decomposição da matéria orgânica é capaz de promover a solubilização (SINGH; AMBERG, 1995), a formação de complexo fosfo-húmico mais facilmente assimilável (MELLO, 1980) ou, ainda, transformar formas insolúveis de P em formas orgânicas (LUO et al., 2001), sendo esta liberada gradativamente às plantas.

2.6 Eficiência de fertilizantes fosfatados

De Luca et al. (2002) relatam que o fósforo é um elemento de baixo aproveitamento na agricultura em decorrência dos vários processos pelos quais é submetido. As perdas acumuladas de fósforo desde a etapa de lavra até a assimilação pelas culturas podem chegar a 98 % (CEKINSKI, 1990). A eficiência da adubação fosfatada do ponto de vista fisiológico refere-se à habilidade do genótipo em absorver o nutriente do solo, distribuir e utilizá-lo internamente (GODDARD e HOLLIS, 1984). No entanto, para a determinação da eficiência agronômica dos fertilizantes fosfatados, organomimerais e composto orgânico, avaliada pela ótica agronômica, o que importa é a sua característica em fornecer o fósforo às plantas, fato diretamente relacionado à capacidade do fertilizante fosfatado em promover acréscimos de rendimento, por unidade de fósforo adicionado (Goedert & Lobato, 1984). Deste modo, os efeitos dos fertilizantes fosfatados são dependentes dos fatores pedológicos e climáticos,

principalmente no que diz respeito ao manejo e à relação solo-planta. Sabe-se que a eficiência agronômica dos fertilizantes fosfatados pode variar conforme seu material de origem, tipo de fonte e a sua granulometria.

A eficiência agronômica do fosfato é, em geral, calculada pela comparação com uma fonte de referência (MOREL; FARDEAU, 1990), como o superfosfato simples e o triplo (RAIJ, 1986). Scivittaro et al. (1997) relataram que, no Brasil, as pesquisas para avaliação da eficiência agronômica das fontes de fósforo aumentaram a partir do início da década de setenta, em face da elevação dos preços dos fertilizantes fosfatados solúveis e da dependência do país pelo enxofre, nutriente totalmente importado. Desde essa época, a procura por fontes alternativas e sua respectiva eficiência no suprimento de fósforo às plantas tem sido uma preocupação constante.

Segundo Korndörfer et al. (1999), as fontes de fósforo são divididas basicamente em solúveis, pouco solúveis e insolúveis. As primeiras, quando adicionadas ao solo, aumentam rapidamente a concentração do fósforo na solução do solo.

Os fosfatos solúveis têm sua eficiência diminuída ao longo do tempo devido ao processo de “adsorção” ou “fixação” de P. Já os fosfatos naturais, que são insolúveis em água, em geral, apresentam menor eficiência que os fosfatos solúveis (industrializados) em curto prazo, porém, em longo prazo, seu efeito residual é geralmente maior (KORNDÖRFER, 1978).

A eficiência dos fosfatos de rocha está intimamente relacionado com o grau de substituição de fosfato ($\text{PO}_4\text{-}3$) por carbonato ($\text{CO}_3\text{-}2$), que gera instabilidade na estrutura cristalina (LEHR; MCCLELLAN, 1972). A dureza da estrutura cristalina é tão importante que as rochas fosfáticas de origem ígnea, como na maioria das rochas nacionais, são reconhecidas por sua menor reatividade para aplicação direta como fertilizante.

No tocante aos trabalhos sobre a eficiência de fontes de fertilizantes fosfatados no Brasil, geralmente, observa-se que predominam os relativos às fontes industrializadas, os quais, por sua vez, apresentam custo elevado de produção (DEFILIPPE, 1990).

Silva et al. (1988) descreveram que os fertilizantes fosfatados industrializados, tanto os fluídos como os sólidos, possuem eficiência semelhante quando utilizados nas mesmas doses

de nutrientes.

Por outro lado, até o momento, há carência de estudos para a análise da eficiência agronômica de fontes orgânicas ou organominerais no fornecimento de fósforo às plantas. No entanto, alguns trabalhos já realizados comprovam a eficiência das fontes organominerais em fornecer P para a solução do solo, como por exemplo, o trabalho realizado por Peixoto et al. (1987), onde os maiores valores de eficiência agronômica foram encontrados no composto que recebeu o superfosfato triplo no início da compostagem. Os autores argumentam que o composto fornece uma certa proteção contra as propriedades adsorptivas dos colóides do solo ou insolubilização temporária do fósforo, aumentando a disponibilidade deste nutriente para a planta.

2.7 Efeito da aplicação de fosfatos naturais reativos e do superfosfato triplo sobre o pH do solo

Geralmente, os fosfatos naturais reativos são importados de Israel, Daoui, Marrocos e Tunísia, e, segundo a legislação vigente no Brasil, esses produtos devem apresentar, no mínimo, 28% de P₂O₅ total e 9% de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico a 2% na relação de 1:100.

Moreira et al. (2002) relataram que, ao aplicar fosfato natural no solo, obtiveram uma pequena elevação do pH, porém não significativa, sendo da ordem de 0,05 unidades para a fonte de fosfato da Carolina do Norte e de 0,01 unidades para a fonte de fosfato reativo de Arad, ambos os solos cultivados com alfafa e fertilizados com 50 mg de P kg⁻¹. Ainda, os autores quando cultivaram centrosema, obtiveram incrementos nos valores de pH que foram de 0,02 e 0,07 unidades para cada 50 mg de P kg⁻¹ em relação ao fosfato natural da Carolina do Norte e do fosfato natural de Arad, respectivamente. Entretanto, para as fontes solúveis, obteve-se um efeito contrário, como pode ser verificado pelo trabalho de Braga & Amaral (1971), que obtiveram, após aplicação do superfosfato triplo, queda nos valores de pH, provavelmente devido à hidrólise do superfosfato triplo e produção de ácido fosfórico.

Cekinski et al. (1990) relataram que o superfosfato triplo pode ser considerado um fertilizante de reação neutra, e que o tempo de cura do fertilizante fosfatado influencia sobre o abaixamento do pH do solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para atender aos objetivos propostos neste trabalho, foram instalados dois experimentos (I e II). O experimento I foi realizado com o intuito de produzir composto orgânico e os organominerais. Já o experimento II foi realizado para avaliar o índice de eficiência agrônômica dos materiais gerados no experimento I. Ambos foram conduzidos no Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrônômicas –UNESP, “Campus de Botucatu”, São Paulo (Latitude 22(51(Sul, Longitude 48(27(Oeste e altitude 786 m).

O clima do município de Botucatu-SP, segundo classificação de W. Koppen, é considerado como sendo Cwa, temperado quente (mesotérmico), com chuvas no verão e seca no inverno, e a temperatura média mais quente superior a 22(C (Cunha et al., 1999).

3.1 Experimento I: Produção do composto orgânico e dos organominerais

Para a produção do composto orgânico enriquecido ou não com diferentes fertilizantes fosfatados, organominerais, foram construídas pilhas de compostagem utilizando materiais rico em carbono (serragem de madeira) e outro em nitrogênio (esterco bovino).

O esterco de bovino foi gerado no confinamento dos novilhos precoces, projeto temático intitulado como “Crescimento de bovinos de corte no modelo biológico superprecoce” financiado pela FAPESP (Processo n(99/05195-5). A serragem de madeira foi proveniente da Madeireira Murba, localizada no município de Botucatu, São Paulo.

Os fertilizantes fosfatados (Tabela 1) e os diferentes resíduos orgânicos (Tabela 2) empregados no experimento, foram analisados segundo Lanarv (1988). Posteriormente, fez-se a montagem das pilhas de compostagem. A porcentagem de cada material empregado na construção das pilhas foi determinada em função da relação carbono/nitrogênio 35:1, considerada como a ideal para o processo de decomposição aeróbia (SINGH; AMBERG, 1998).

Tabela 1- Caracterizações químicas dos fertilizantes fosfatados empregados no preparo dos organominerais.

Fontes
P2O5 (H2O)
P2O5 (Total)
P2O5 (AC)
P2O5 (CNA)
Ca (Total)

------(%)-----

Superfosfato Triplo

40,00

47,5

Fosfato Natural de Arad

28,00

12,00

22,20

Tabela 2- Caracterizações químicas dos materiais orgânicos empregados no preparo do composto orgânico.

Parâmetros
Esterco Bovino
Serragem de Madeira

------(g.kg-1)-----

Matéria Orgânica

532,44

992,88

Carbono Orgânico

295,80

551,60

N Total

16,1

5,40

P2O5

16,00

0,14

K₂O
13,30
0,00

Cálcio
22,80
1,80

Magnésio
5,00
0,50

Enxofre
3,20
0,08

------(mg.kg-1)-----

Ferro
3250,00
13,00

Cobre
82,00
2,00

Manganês
124,00
6,00

Zinco
142,00
78,00

Relação C/N
18,37/1
102,1/1

Foram também adicionadas, junto à mistura efetuada na montagem da pilha de compostagem, diferentes quantidades de P provenientes do superfosfato triplo e fosfato natural de Arad em relação ao peso do material orgânico (base seca). A quantidade de material contido na mistura e seus respectivos tratamentos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Quantidades de materiais contidos na mistura e seus respectivos tratamentos.
 Tratamentos

Fontes de P

1Mistura Orgânica

Quantidade adicionada da fonte

Mistura Total

% de P adicionado

-----kg-----

-----%-----

CO

153,6

0,0

153,6

0,0

COST1

ST2

153,6

11,5

165,1

1,5

COST2

ST

153,6

23,0

176,6

3,0

COST3

ST

153,6

34,5

188,1

4,5

COST4

ST

153,6

46,0

199,6

6,0

COFN1
FN3
153,6
15,9
169,5
1,5

COFN2
FN
153,6
31,8
185,4
3,0

COFN3
FN
153,6
47,7
201,3
4,5

COFN4
FN
153,6
63,6
217,2
6,0

1 Mistura Orgânica (serragem de madeira + esterco bovino);
2 ST (Superfosfato Triplo);
3 FN (Fosfato Natural de Arad).

A temperatura de cada pilha de compostagem foi monitorada através de termopares inseridos em seu centro e confeccionados a partir dos metais de cobre e o constantan, e conectado a multiplex e datalog, conforme ilustram as Figuras 1 e 2.

O valor de temperatura no centro de cada pilha foi registrado a cada 5 segundos, gerando um valor médio a cada 1 hora.

Figura 1- Termopar

Figura 2- Multiplex e datalog

Foram coletadas três amostras simples de cada pilha nos períodos 0, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após o início do processo de compostagem. Em seguida, foram analisados fósforo solúvel em água, fósforo total, nitrogênio total, carbono orgânico total e pH, de acordo com metodologia proposta no Lanarv (1988). Serão discutidos os valores obtidos aos 120 dias, quando os compostos orgânicos com ou sem enriquecimento de P, foram aplicados ao solo.

A umidade da mistura orgânica enriquecida ou não com diferentes doses e fontes de P, foram corrigidas, por meio da distribuição de água na massa de compostagem, de modo a repor a perda de água do sistema. O controle da umidade foi através da prática de pegar o material e sentir –se que o mesmo está úmido, mas quando comprimido, não escorre água entre os dedos. As pilhas de compostagem foram montadas em ambiente coberto, como apresentado na Figura 3.

Figura 3- Área de compostagem.

O composto orgânico e os organominerais obtidos foram caracterizados quimicamente e seus resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Características químicas do composto orgânico e dos organominerais.

Tratamentos

% de P aplicada

pH

Ca

Mg

P Total

P (H₂O)

N Total

C.O.Total

C/N

-----g kg⁻¹-----

CO

0

7,27

28,8

4,8

6,2

1,5

16,7

29,70

18,11

COST1

1,5

5,22

33,3

4,0

25,0

9,4

12,1

358,2

29,73

COST2

3

5,08

42,6

3,9

36,9
17,6
13,3
369,1
28,50

COST3

4,5
4,87
45,6
3,0
50,4
17,4
12,8
380,2
29,81

COST4

6
4,30
46,0
2,3
53,9
22,7
14,5
368,4
26,43

COFN1

1,5
7,37
79,8
3,8
23,0
0,6
15,1
367,0
24,41

COFN2

3
7,51
109,0
4,0
35,5
0,3
13,9
357,3
25,94

COFN3

4,5

7,52

141,0

4,4

49,5

0,3

17,3

279,0

16,47

COFN4

6

7,54

165,8

3,4

64,5

0,3

16,3

273,8

16,85

C. O. Total= Carbono Orgânico Total

Os tratamentos foram distribuídos num delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 4 (duas fontes e quatro doses de P) e um controle (sem à adição de fósforo).

3.2 Experimento II: Aplicação do fertilizante fosfatado, organomineral e composto orgânico ao solo.

Neste experimento foram aplicados os fertilizantes fosfatados, os compostos orgânicos, os organominerais e as combinações formuladas através da mistura física entre composto orgânico e superfosfato triplo ou fosfato natural de Arad no solo, para avaliação da sua eficiência no que diz respeito ao suprimento de P às plantas de alface (*Lactuca sativa* L). Após o primeiro cultivo, conduziu-se o segundo cultivo, o qual teve o objetivo de avaliar o efeito residual dos tratamentos efetuados no primeiro.

3.2.1 Instalação do experimento

O experimento foi conduzido em vasos plásticos com capacidade de 4 litros, em casa de vegetação com ventilação e ambiente controlado, pertencente ao Departamento de Recursos Naturais - Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências agrônômicas - UNESP “Campus” de Botucatu/São Paulo.

Os vasos foram preenchidos com 4 litros da camada superficial de um Latossolo Vermelho escuro, álico, textura média, de baixa fertilidade natural (CARVALHO et al., 1983), denominado pela nova nomenclatura como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 1999).

As principais características químicas e físicas do solo, avaliadas de acordo com Raij & Quaggio (1983) e Camargo et al. (1986), respectivamente, são apresentados nas Tabelas 5, 6, 7.

Tabela 5- Características químicas do solo utilizado no experimento.

pH	
M.O	
P	
H+Al	
K	
Ca	
Mg	
SB	
CTC	
V	
CaCl ₂	
g kg ⁻¹	
mg.dm ⁻³	
-----mmolcdm ⁻³ -----	
(%)	
4,1	
13	
2	
34	
0,6	
1,0	
1,0	
2,6	
37	
7	

Tabela 6- Análise química de micronutrientes do solo utilizado no experimento.

Boro
Cobre
Ferro
Manganês
Zinco

	-----mg dm ⁻³ -----
	0,09
	0,7
	57
	0,5
	0,2

Tabela 7- Composição granulométrica do solo utilizado no experimento.

Areia Total
Argila
Silte

>0,05mm
< 0,002 mm
0,05 - 0,002 mm

	-----g kg ⁻¹ -----
	730
	160
	110

A calagem foi realizada com aplicação de calcário dolomítico (PRNT = 91%) para elevar a saturação por bases do solo a 80%, segundo recomendação de Rajj et al. (1997) para a cultura da alface. Após a mistura, o solo foi incubado a uma umidade próxima a 80% de água, durante 25 dias.

Ao término do período de incubação, retirou amostras de solo para verificar se a saturação por bases atingiu os valores previamente estabelecidos, bem como os teores dos nutrientes no solo, cujos resultados se encontram nas Tabelas 8 e 9.

As características químicas das fontes de P avaliadas neste II experimento estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 8- Características químicas do solo após a calagem e incubação.

pH	
M.O	
P	
H+Al	
K	
Ca	
Mg	
SB	
CTC	
V	
CaCl ₂	
g .kg ⁻¹	
mg.d ⁻³	
-----mmolcdm ⁻³ -----	
(%)	
5,3	
13	
3	
25	
1,7	
19	
8	
28	
53	
53	

Tabela 9- Análise química de micronutrientes do solo após a calagem e incubação.

Boro	
Cobre	
Ferro	
Manganês	
Zinco	
-----mg dm ⁻³ -----	
0,13	
0,7	
49	
2,6	
0,2	

Posteriormente, foram realizadas adubações com 200 mg de nitrogênio por L-1, parcelado em 12 vezes e aplicado a cada 3 dias, 3mmol de potássio por L-1 de terra (aplicação única, após o plantio das mudas) e a adição de 200 ml da solução de micronutriente descrita por Sarruge (1975).

3.2.2 Tratamentos

Os tratamentos compreenderam as diferentes fontes de fertilizantes fosfatados, sendo que para todos, exceto a testemunha, utilizou-se a mesma dose de fósforo (200 mg de P kg⁻¹ de terra), cálculo feito com base no P total analisado dos respectivos materiais. Foram realizados dois cultivos de alface, mas, a adubação fosfatada somente foi empregada no primeiro, sendo todas as fontes de fertilizantes fosfatados misturadas homogeneamente ao solo somente após o período de reação do calcário.

Os tratamentos utilizados foram:

T = Testemunha (sem adição de P);

ST = Superfosfato Triplo ;

FN = Fosfato natural de Arad;

CO = Composto Orgânico;

COST1 = Composto orgânico enriquecido com superfosfato triplo (1,5% de P antes da compostagem);

COST2 = Composto orgânico enriquecido com superfosfato triplo (3,0 % de P antes da compostagem);

COST3 = Composto orgânico enriquecido com superfosfato triplo (4,5% de P antes da compostagem);

COST4 = Composto orgânico enriquecido com superfosfato triplo (6,0% de P antes da compostagem);

COSTF1 = Composto orgânico enriquecido com 1,5% de P (ST) após processo de compostagem;

COSTF2 = Composto orgânico enriquecido com 3,0% de P (ST) após processo de compostagem;

COSTF3 = Composto orgânico enriquecido com 4,5% de P (ST) após processo de compostagem;

COSTF4 = Composto orgânico enriquecido com 6,0% de P (ST) após processo de compostagem;

COFN1 = Composto orgânico enriquecido com 1,5% de P (FN) antes processo de compostagem;

COFN2 = Composto orgânico enriquecido com 3,0% de P (FN) antes do processo de compostagem;

COFN3 = Composto orgânico enriquecido com 4,5% de P (FN) antes do processo de compostagem;

COFN4 = Composto orgânico enriquecido com 6,0% de P (FN) antes do processo de compostagem;

COFNF1 = Composto orgânico enriquecido com 1,5% de P (FN) após processo de compostagem;

COFNF2 = Composto orgânico enriquecido com 3,0% de P (FN) após processo de compostagem;

COFNF3 = Composto orgânico enriquecido com 4,5% de P (FN) após processo de compostagem;

COFNF4 = Composto orgânico enriquecido com 6,0% de P (FN) após processo de compostagem;

CO gerado na compostagem de serragem de madeira e esterco bovino.

A quantidade de material orgânico contido nos tratamentos oriundos da adição de superfosfato triplo (ST) ou fosfato natural de Arad após a compostagem (COSTF1, COSTF2, COSTF3 E COSTF4 ou COFNF1, COFNF2, COFNF3 e COFNF4) foram descritos na Tabela 10. Esta quantidade de material orgânico foi calculada a partir das doses empregadas nos tratamentos COST1, COST2, COST3 e COST4 ou COFN1, COFN2, COFN3 e COFN4 para atingir a concentração de 200mg de P .dm⁻³de terra.

Tabela 10 - Quantidade de matéria orgânica contida no composto orgânico e nos tratamentos enriquecidos com superfosfato triplo (ST) ou fosfato natural de Arad (FN) após a compostagem.

Tratamentos

Quantidade de MO

Quantidade de ST

Quantidade de FN

-----gramas-----

Testemunha

0,00

0,00

0,00

Superfosfato triplo

0,00

3,95

0,00

Fosfato Natural de Arad

0,00

0,00

6,50

Composto Orgânico

131,14

0,00

0,00

COST1

32,00
0,00
0,00

COST2
21,73
0,00
0,00

COST3
15,87
0,00
0,00

COST4
14,06
0,00
0,00

COFN1
34,93
0,00
0,00

COFN2
22,53
0,00
0,00

COFN3
16,16
0,00
0,00

COFN4
13,24
0,00
0,00

COSTF1
32,00
2,98
0,00

COSTF2
21,73
3,29
0,00

COSTF3

15,87
3,47
0,00

COSTF4
14,06
3,50
0,00

COFNF1
34,93
0,00
4,76

COFNF2
22,53
0,00
5,38

COFNF3
16,16
0,00
5,69

COFNF4
13,24
0,00
5,84

3.2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com 20 tratamentos com 3 repetições.

Quando se considerou o Índice de Eficiência Agronômica (IEA), utilizou-se o mesmo delineamento, sendo excluídos dos tratamentos a fonte de superfosfato triplo e a testemunha, uma vez que ambos tratamentos são utilizados no cálculo do IEA, conforme descrito no item

3.3.4. Nas variáveis que apresentaram diferença estatística ($P > 0,05$) procedeu-se o desdobramento da soma dos quadrados em contrastes ortogonais.

3.2.4 Plantio das mudas

Após a aplicação dos tratamentos foi plantada nos vasos uma muda de alface (*Lactuca Sativa*

L.), cultivar Verônica.

3.3 Avaliações

Foram avaliadas as produções de massa secas (g), quantidade de P extraído pela parte aérea de plantas de alface e Índice de Eficiência Agronômica (IEA), calculada com base na extração de P e massa seca. Também foi avaliado o efeito das fontes de P sobre o pH, a matéria orgânica, o fósforo resina, o hidrogênio mais alumínio, o cálcio, o magnésio, o potássio e a CTC do solo, após o primeiro e segundo cultivo.

3.3.1 Produção de massa seca

Foram realizados dois cultivos e após trinta e cinco dias do transplante, tanto para o primeiro como no segundo cultivo as plantas de alface (*Lactuca sativa* L.) foram cortadas rente ao solo. O material gerado foi encaminhado ao Laboratório de Análise de Tecido Vegetal do DRN-Ciência do Solo, lavado e colocado em estufa de circulação de ar forçado com temperatura de 65°C por 72 horas, para determinação do peso seco.

3.3.2 Análise química das plantas para os dois cultivos

O material foi encaminhado ao Laboratório de Análise Química de Planta do Departamento de Recursos Naturais - Ciência do Solo, moído e posteriormente analisado o teor de fósforo segundo metodologia citada por Malavolta et al. (1997).

3.3.3 Análise química do solo para os dois cultivos

Ao final de cada cultivo o solo foi analisado, sendo retirada uma amostra por vaso, a qual foi seca em estufa e analisada conforme metodologia preconizada por Raij & Quaggio (1983).

3.3.4 Índice de Eficiência Agronômica

O cálculo do IEA para os dois cultivos, seguiu metodologia citada por Bull et al. (1997).

Esse cálculo foi realizado tanto para a produção de matéria seca como para a quantidade de P acumulada pela planta, sendo utilizada a seguinte equação para sua determinação:

$IEA = PFT - Testemunha \times 100$, onde:

PST- Testemunha

PFT = massa seca ou quantidade de P acumulada nas plantas para as fontes avaliadas, exceto o tratamento testemunha e o superfosfato triplo.

PST = massa seca ou quantidade de P acumulada nas plantas cuja fonte de P foi o superfosfato triplo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento I

4.1.1 Comportamento da temperatura no centro das pilhas de compostagem.

Os valores de temperatura encontrados nas pilhas de compostagem são apresentados na Figura 4 para o superfosfato triplo e na Figura 5 para o fosfato natural de Arad. Em ambas figuras os valores médios foram expresso a cada 24 horas. Os resultados de temperatura encontrados foram relacionados com a temperatura média diária do ambiente (TA) e com o tratamento controle CO, que foi apenas a mistura entre esterco bovino e serragem de madeira. Observou-se, nas Figuras 4 e 5, que o pico máximo de temperatura encontrado para o tratamento controle CO foi de 67 °C no primeiro dia de compostagem. Para o COST1 foi de 69 °C e o COST2 de 52,3 °C, ambos atingidos ao quinto dia de processo.

O tratamento COST3 alcançou valor máximo de temperatura (43°C) ao terceiro dia, enquanto que o COST4 somente ao décimo dia de compostagem (43 °C).

Os valores de temperatura oscilaram ao longo do processo e também a cada revolvimento e coleta de amostras, uma vez que para isso era feita uma homogeneização da pilha. Próximo dos 120 dias de compostagem as pilhas atingiram a temperatura ambiente.

Verificou-se, na Figura 4, que o efeito da adição de superfosfato triplo sobre a temperatura da pilha de compostagem variou com a dose adicionada, sendo que o tratamento COST1 apresentou a temperatura mais elevada no início da compostagem e, após 65 dias de processo, a temperatura permaneceu mais baixa que os demais tratamentos, possivelmente devido à humificação mais rápida. Os valores de temperatura da pilha evidenciam que o processo de compostagem ocorreu mesmo nas maiores doses de superfosfato triplo, contrariando os relatos de Peixoto (1988) que indicam ser a máxima dose de 2 % de P.

Observa-se na Figura 5 que os tratamentos COFN3 e COFN4 atingiram os valores máximos de temperatura (72 °C) ambos no oitavo dia de compostagem.

O tratamento COFN2 alcançou o valor de 70 °C no terceiro dia do processo e COFN1 atingiu o mesmo valor ao quarto dia. Os valores de temperatura encontrados nos tratamentos CO, COFN1, COFN2, COFN3 e COFN4 foram superiores a 65 °C.

Observou-se a cada coleta de amostra, no revolvimento ou mesmo na adição de água nas pilhas de compostagem para a manutenção da umidade, a temperatura diminuiu e voltou a subir posteriormente. Possivelmente, o revolvimento e controle da umidade favoreceram a exposição das partículas ainda passíveis de serem degradadas em contato com os organismos decompositores.

4.1.2 Parâmetros químicos avaliados

4.1.2.1 Comportamento do pH da compostagem obtida em função da adição de fósforo.

Na Tabela 11 são apresentados os parâmetros determinados na pilha de compostagem em função do percentual de fósforo aplicado. Somente foram apresentadas as figuras e a regressão dos resultados que foram estatisticamente significativos ($P < 0,05$).

Verificou-se na Tabela 11, que para as pilhas de compostagem onde o superfosfato triplo (ST) foi adicionado, ocorreu um decréscimo no pH com o aumento da porcentagem de fósforo adicionada, passando de pH 7,2 para 4,3 (Figura 6).

Tabela 11 - Caracterização química das fontes de P produzidas após o processo de compostagem.

Tratamentos
P aplicado
pH
P Total
P (H₂O)
N Total
C. O. Total
C/N

%

CO

0

$7,27 \pm 0,02$

$0,62 \pm 0,07$

$0,14 \pm 0,04$

$1,66 \pm 0,25$

$29,69 \pm 0,23$

$18,11 \pm 2,85$

COST1

1,5

$5,22 \pm 0,03$

2,50 ± 0,09
0,94 ± 0,10
1,20 ± 0,07
35,82 ± 0,72
29,73 ± 1,05

COST2

3
5,08 ± 0,01
3,68 ± 0,13
1,75 ± 0,07
1,33 ± 0,26
36,91 ± 0,34
28,50 ± 5,85

COST3

4,5
4,87 ± 0,02
5,04 ± 0,50
1,73 ± 0,19
1,28 ± 0,10
38,02 ± 0,49
29,81 ± 2,37

COST4

6
4,30 ± 0,02
5,38 ± 0,03
2,27 ± 0,26
1,45 ± 0,36
36,83 ± 0,40
26,43 ± 6,16

COFN1

1,5
7,37 ± 0,06
2,29 ± 0,04
0,06 ± 0,04
1,50 ± 0,06
36,69 ± 0,12
24,42 ± 1,10

COFN2

3
7,51 ± 0,03
3,55 ± 0,13
0,03 ± 0,03
1,38 ± 0,12
35,73 ± 0,61
25,94 ± 2,77

COFN3

4,5

7,52 ± 0,03

4,95 ± 0,26

0,02 ± 0,02

1,72 ± 0,29

27,89 ± 0,60

16,47 ± 2,78

COFN4

6

7,54 ± 0,05

6,04 ± 0,32

0,02 ± 0,07

1,63 ± 0,13

27,38 ± 0,69

16,85 ± 1,19

Fonte de P

*

*

*

NS

*

*

* = P < 0,05 pelo teste de F
EMBED Excel.Chart.8 \s

NS = P > 0,05 pelo teste de F

Figura 6 – Efeito da adição de superfosfato triplo no pH da compostagem.

Esse efeito pode ser explicado em função da acidez residual do ácido fosfórico presente no superfosfato triplo (MALAVOLTA, 1981).

Nas pilhas de compostagem enriquecidas com fosfato natural de Arad, verificou-se um aumento no pH. Este aumento no pH observado ocorreu em função da presença de carbonatos presentes no fosfato reativo (NOVAIS ; SMITH, 1999) que é um carbono apatita. Já no trabalho desenvolvido por Peixoto et al (1989) não se observou alteração no pH pelo uso da apatita de Araxá.

Peixoto (2000) e Rodrigues (2004) comentam a importância do pH acima de 6,5 na pilha de compostagem, que favorece a presença de microorganismos como bactérias, fungos, leveduras, algas e actinomicetos, capazes de degradar lipídios, celulose e hemicelulose, com consequência maior redução da massa orgânica.

4.1.2.2 Teores de P Total e P solúvel em água nas pilhas de compostagem, em função da adição de diferentes fontes de fósforo.

Na Tabela 11, são apresentados os teores de P total e P solúvel em água.

Observou-se que as concentrações de P total na pilha de compostagem, alteraram, como era de se esperar, com as doses de fósforo aplicadas, tanto para o superfosfato triplo (ST) como para o fosfato natural de Arad (FN). Notou-se que a porcentagem de fósforo aplicada na pilha se aproximou dos valores (1,5; 3,0; 4,5 e 6,0%), lembrando que a este valor deve ser somada a porcentagem de P total contida no material orgânico, que em média foi de 0,6 %.

Considerando que a massa de composto reduziu 60%, em média, ao longo do processo de compostagem, era de se esperar valores mais elevados de P na pilha ao final do processo. A hipótese dessa diferença pode ser atribuída à perda do superfosfato triplo e do fosfato natural de Arad devido ao arraste pelo vento, principalmente após o secamento da superfície da pilha. A Figura 7 ilustra os teores de P total, para ambas as fontes de fósforo aplicadas.

Figura 7 – Comportamento dos teores de P total, em função da fonte de P aplicada a compostagem.

Os valores de P solúvel em água variaram significativamente tanto para o superfosfato triplo como para o fosfato natural de Arad, embora, para este último, os valores foram menores que 0,1%, que não serão considerados. Para o superfosfato triplo, fonte com alta solubilidade em água, os incrementos foram lineares em relação à porcentagem adicionado na pilha (Figura 8). No entanto, as quantidades solúveis em água encontradas para a adição de superfosfato triplo na compostagem, foram menores que os resultados esperados. A hipótese sugerida para explicar o ocorrido, foi que houve a imobilização do P solúvel pelos microorganismos responsáveis pelo processo de compostagem.

Figura 8- Comportamento do P solúvel em água, em função da adição de superfosfato triplo à compostagem.

4.1.2.3 Teores de N na compostagem em função da adição de diferentes fontes de fósforo à compostagem.

Os teores de nitrogênio nos compostos não apresentaram diferenças significativas ($P > 0,05$) para porcentagem de fósforo tanto para o superfosfato triplo como fosfato natural de Arad. Esses dados devem ser observados com reservas, uma vez que houve variação na massa final da pilha, podendo, portanto, o nitrogênio orgânico estar mais diluído ou concentrado em função da massa final ser respectivamente, maior ou menor.

Os resultados de porcentagem de N (Tabela 11) foram transformados em quantidade, ou seja, o produto da concentração de N pela massa final da pilha (Tabela 12). Obteve-se, respectivamente, para adição de 1,5, 3,0, 4,5 e 6,0 % de P na pilha com ST cerca de 888, 1170, 1274 e 1414 g de nitrogênio e para o fosfato natural de Arad, para a mesma porcentagem de P aplicada, as seguintes quantidades: 1080, 854, 1139 e 1344 g de nitrogênio. Para a fonte solúvel (ST), notou-se elevação da quantidade de nitrogênio na pilha de compostagem em função da porcentagem de P adicionada. Pode – se estimar que a acidez gerada pelo ST nas porcentagens mais elevadas promoveu redução da amônia.

Segundo Prochnow et al. (2001), doses de até 200 kg de superfosfato triplo por tonelada de esterco de aves, esterco de gado ou a mistura de ambos, pode reduzir a volatilização de amônia em até cinco vezes quando comparado com o controle (sem adição de superfosfato triplo).

4.1.2.4 Teores de Carbono Orgânico e relação C/N na compostagem em função das diferentes fontes de fósforo aplicado.

Os resultados das concentrações de carbono orgânico total nos compostos apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$) para a fonte de fósforo utilizada, tanto o superfosfato triplo como fosfato natural de Arad.

Quando os teores de carbono são transformados em quantidade de carbono orgânico total na pilha de compostagem, obtém-se para a dose 1,5, 3,0, 4,5 e 6,0 % com ST cerca de 26,49; 36,36; 37,38 e 37,37 kg de carbono orgânico/pilha e, para o fosfato natural de Arad, respectivamente, as seguintes quantidades: 26,73; 21,79; 18,68 e 23,16 kg de carbono orgânico/pilha.

Para a fonte solúvel (ST), notou-se aumento da quantidade de carbono orgânico na pilha de compostagem em função da porcentagem de P adicionada. Pode –se sugerir que a acidez da fonte solúvel influenciou o pH da compostagem, e que o mesmo limitou o desenvolvimento

dos microorganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica.

Na Tabela 11, observou-se que para a relação carbono/nitrogênio a diferença estatística ($P < 0,05$) ocorreu somente quando comparada à fonte de fósforo adicionada.

A relação C/N encontrada para o tratamento CO e os tratamentos enriquecidos com o fosfato natural de Arad foram menores que as obtidas para os tratamentos enriquecidos com superfosfato triplo.

4.1.2.5 Balanço de massa seca obtida após processo de compostagem em função da adição de diferentes fontes de fósforo.

Foi determinado, no início e ao final de 120 dias de compostagem, a quantidade de massa seca de composto orgânico de cada pilha, e os valores obtidos estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Balanço de massa seca obtida após o processo de compostagem em função da adição de diferentes fontes de P.

Tratamentos
Mistura Inicial
Mistura Final
Balanço de Massa

-----kg-----
-----%-----

CO
153,00
66,61
56,63

COST1
165,10
73,96
55,20

COST2
176,60
90,40
48,81

COST3
188,10
98,30
47,68

COST4
199,60
101,51
49,14

COFN1
169,50
72,87
57,00

COFN2
185,40
61,01
67,09

COFN3
201,30
67,01
66,71

COFN4
217,20
84,59
61,05

Os resultados obtidos (Tabela – 12) demonstraram que ambas as fontes de fósforo apresentaram efeito sobre o balanço de massa seca.

Notou-se para a fonte solúvel (superfosfato triplo), que o aumento das doses de P, diminuiu a eficiência do processo de compostagem em degradar a mistura orgânica.

A porcentagem de massa seca obtida ao final da compostagem, nos tratamentos COST1, COST2, COST3 e COST4, foram inferiores ao encontrado para o controle (CO), podendo esse efeito estar relacionado com o abaixamento do pH, apresentado na Figura 6, e que provavelmente limitou o desenvolvimento de alguns organismos decompositores.

Observou-se na Tabela 12, que para as pilhas de compostagem que receberam à adição de fosfato natural de Arad, ocorreu redução das quantidades de matéria seca nos tratamentos COFN1, COFN2, COFN3 e COFN4, sendo os mesmos superiores ao controle (CO). A redução da massa seca nos tratamentos que receberam o fosfato natural de Arad pode ter sido promovido pelo comportamento do pH, como mostra a Tabela 11.

Maynard (2000), Batista e Batista (2003) e Rodrigues (2004) descreveram que pH entre 5,5 e 8,0 é ideal para o desenvolvimento da maioria dos organismos decompositores de matéria orgânica.

4.2 Experimento II

Os resultados do experimento conduzido em casa de vegetação (experimento II) são apresentados na forma de Tabelas, nos quais foram comparados, pelo teste de Tukey, os tratamentos onde o fósforo foi adicionado antes da compostagem (COST1, 2, 3 e 4) com o ST (superfosfato triplo), CO (composto orgânico) e Testemunha (sem adição de P), sendo essa comparação realizada também para COSTF (COSTF 1, 2, 3 e 4), COFN (COFN1, 2, 3 e 4) e COFNF (COFN1, 2, 3 e 4). Além dessas análises, foram feitos contrastes ortogonais, sendo que serão apresentados somente os que atendem os objetivos do trabalho.

Nas Tabelas 13, 14, 15, 16, 17 e 18 são apresentados os resultados para massa seca total de parte aérea/planta, quantidade de P extraído/planta, índice de eficiência agrônômica calculado com base na produção de massa seca e pela extração de P por planta de alface, e características químicas do solo. Os parâmetros apresentados são para os dois cultivos.

Os contrastes ortogonais entre as médias dos tratamentos COST x COSTF e COFN x COFNF para as Tabelas 13, 14, 15 e 16, apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$). As médias encontradas para a adição de P após a compostagem (COSTF e COFNF) foram superiores às obtidas na adição de P antes da compostagem (COST e COFN). Ou seja, a compostagem não promoveu efeito de solubilização de P conforme se tinha, inicialmente, como hipótese. Foi discutido no item 4.1.2.1 que a adição de superfosfato triplo (ST) na compostagem promoveu redução no pH, limitou a atividade microbiana (efeito na temperatura), não permitiu uma redução da massa da pilha semelhante ao CO (composto orgânico) e apresentou maiores teores de carbono orgânico, o que indicou, possivelmente, que a humificação da matéria orgânica não ocorreu completamente, gerando essa diferença em relação ao composto que não recebeu a adição de ST. Já para adição de fosfato natural de Arad (FN) na compostagem, esta se mostrou efetiva no aumento da temperatura do processo e na redução da massa quando comparado com o controle (Tabela 12). Por outro lado, a adição de FN na compostagem não permitiu a diminuição do pH na pilha em função da composição química da rocha e dos efeitos desta, já discutidos anteriormente. Portanto, o abaixamento de

pH observado na fase inicial do processo de compostagem em vários trabalhos citados na literatura (KIEHL, 1998; PEIXOTO, 2000; NEGRO et al., 2000; BATISTA; BATISTA, 2003) com diversos resíduos, não ocorreu quando utilizado fosfato natural reativo. Ainda, o cálcio presente no fosfato natural pode ter precipitado o fósforo solubilizado na matéria orgânica em condições de pH acima de 7, o que, possivelmente, ocasionou médias inferiores nos tratamentos COFN e COFNF.

4.2.1 Produção de massa seca da parte aérea de planta de alface, em função da fonte de fósforo aplicado ao solo.

Na Tabela 13 estão apresentadas as quantidades de massa seca da parte aérea de plantas de alface, obtidas no primeiro e no segundo cultivo.

O tratamento ST (somente aplicação de superfosfato triplo) apresentou maior produção de matéria seca de parte aérea de plantas de alface quando comparado com os tratamentos que receberam o ST antes da compostagem (COST1, COST2, COST3 e COST4), sendo todos estatisticamente diferentes entre si ($P < 0,05$).

Quando se observaram as médias dos tratamentos que receberam ST e que compõem o COST (COST1, COST2, COST3 e COST4) no primeiro cultivo, verificou-se para o tratamento COST4 a maior produção de massa seca, 7,42 g depois do ST, sendo estatisticamente diferentes ($P < 0,05$) dos demais tratamentos (COST1, COST2, COST3, ST, CO, FN e Testemunha).

Na mistura de composto orgânico e ST após compostagem, tratamentos COSTF1, COSTF2, COSTF3 e COSTF4, a maior média foi encontrada para o COSTF1 (8,60 gramas de matéria seca), sendo o mesmo que recebeu a maior quantidade de composto orgânico (Tabela 13), não diferindo do COSTF2 e do tratamento ST.

O efeito atribuído à maior produção de matéria seca nos tratamentos COSTF1 e COSTF2 pode ser devido à menor retenção de P pelo solo, em função da matéria orgânica adicionada bloquear as hidroxilas expostas na superfície de óxidos de ferro e alumínio, conforme citado por Leal e Veloso (1973).

As produções médias de massa seca obtida no primeiro cultivo para COST e COSTF (Tabela

13) foram inferiores aos encontrados por Villas Bôas et al. (2004), possivelmente porque no referido trabalho, a quantidade de composto orgânico utilizado foi superior às aplicadas neste experimento.

Quanto ao contraste de COST vs COSTF (Tabela13) observou-se diferença estatística ($P < 0,05$), onde a média obtida para COSTF (7,54g) foi superior a encontrada para o COST (6,24g). Este efeito pode estar atribuído a adição de ST antes da compostagem, promover queda do pH, que possivelmente limitou o desenvolvimento da população de microorganismos responsáveis pela humificação da matéria orgânica.

No segundo cultivo, não se manteve a tendência de incremento da produção de massa seca de parte aérea das plantas de alface em função do aumento da fonte de P solúvel (superfosfato triplo), provavelmente devido à parte do P aplicado ao solo antes do primeiro cultivo ter sofrido processo de fixação.

No primeiro e segundo cultivo (Tabela 13) observou-se diferença estatística ($P < 0,05$) para o contraste (COFN vs COFNF) quando avaliada a média da produção de massa seca de parte aérea das plantas de alface. Portanto, com o aumento da quantidade de fosfato natural na mistura, ocorreu redução da quantidade de massa seca produzida, tanto para COFN como para COFNF. Isto pode ser explicado devido o fosfato natural de Arad apresentar baixa solubilidade em água (KONDORFER et al., 1999 ; HOROWITZ e MEURER, 2003).

O COFN (1, 2, 3 e 4) e COFNF (1, 2, 3 e 4) foram estatisticamente diferentes e inferiores ao ST (superfosfato Triplo) e ao CO (apenas composto orgânico).

Tabela 13 – Produção de massa seca de parte aérea de plantas de alface submetidas a diferentes fontes de fósforo no solo, em dois cultivos sucessivos.

Tratamentos

Grupo

1º Cultivo

2º Cultivo

Matéria Seca

------(g)-----

TESTEMUNHA (SEM P)

0,46 ± 0,11 E

0,56 ± 0,05 E

FN

0,85 ± 0,10 E

0,83 ± 0,07 E

CO

A

6,61 ± 0,39 C

6,20 ± 0,18 A

ST

8,15 ± 0,23 A

5,23 ± 0,32 B

COST1

5,36 ± 0,33 D

4,30 ± 0,30 C

COST2

6,05 ± 0,07 C

3,31 ± 0,02 D

COST3

6,14 ± 0,05 C

4,11 ± 0,22 C

COST4

7,42 ± 0,05 B

3,06 ± 0,15 D

Médias de COST = (COST1+2+3+4)/4

6,24 ± 0,12

3,69 ± 0,17

TESTEMUNHA (SEM P)

0,46 ± 0,11 E

0,56 ± 0,05 E

FN

0,85 ± 0,10 E

0,83 ± 0,07 E

CO

B

6,61 ± 0,39 C

6,20 ± 0,18 B

ST

8,15 ± 0,23 A

5,23 ± 0,32 C

COSTF1

8,60 ± 0,37 A

8,03 ± 0,50 A

COSTF2

8,39 ± 0,26 A

5,16 ± 0,28 C

COSTF3

7,31 ± 0,09 B

5,26 ± 0,38 C

COSTF4

5,89 ± 0,81 D

4,11 ± 0,33 D

Médias de COSTF = (COSTF1+2+3+4)/4

7,54 ± 0,19

5,64 ± 0,37

TESTEMUNHA (SEM P)

0,46 ± 0,11 F

0,56 ± 0,05 E

FN

0,85 ± 0,10 F

0,83 ± 0,07 E

CO

C

6,61 ± 0,39 B

6,20 ± 0,18 A

ST

8,15 ± 0,23 A

5,23 ± 0,32 B

COFN1

3,08 ± 0,31 C

3,53 ± 0,15 C

COFN2

2,34 ± 0,14 D

1,50 ± 0,10 D

COFN3

1,59 ± 0,08 E

1,40 ± 0,20 D

COFN4

0,62 ± 0,07 F

0,83 ± 0,05 E

Médias de COFN = (COFN1+2+3+4)/4

1,90 ± 0,15

1,81 ± 0,12

TESTEMUNHA (SEM P)

0,46 ± 0,11 F

0,56 ± 0,05 F

FN

0,85 ± 0,10 F

0,83 ± 0,07 EF

CO

D

6,61 ± 0,39 B

6,20 ± 0,18 A

ST

8,15 ± 0,23 A

5,23 ± 0,32 B

COFNF1

3,49 ± 0,36 C

2,63 ± 0,15 C

COFNF2

2,64 ± 0,31 D

3,06 ± 0,23 C

COFNF3

2,14 ± 0,07 DE

2,08 ± 0,25 D

COFNF4

1,93 ± 0,03 E

1,13 ± 0,05 E

Médias de COFNF = (COFNF1+2+3+4)/4

2,55 ± 0,19

2,22 ± 0,17

Contrastes Ortogonais

COST vs COSTF

*

*

COFN vs COFNF

* = P < 0,05 pelo teste de F

NS = P > 0,05 pelo teste de F

Médias de tratamentos na coluna seguidas por letras maiúsculas iguais não apresentam diferenças estatísticas (P>0,05) pelo teste de Tukey, dentro de cada grupo (A,B,C e D).

4.2.2 Quantidade de fósforo extraída pela parte aérea de planta de alface, em função das fontes de P aplicada ao solo.

As quantidades de fósforo extraídas pela parte aérea das plantas de alface no primeiro e segundo cultivo são apresentadas na Tabela 14.

Observou-se na Tabela 14 que ocorreram diferenças estatísticas ($P < 0,05$) para quantidade de P extraída pela parte aérea das plantas de alface quando realizado o contraste entre o COST e COSTF.

O comportamento apresentado para COST e COSTF foi semelhante ao ocorrido para a produção de massa seca. Novamente, verificou-se para COST que a quantidade de P absorvida pela parte aérea das plantas de alface foi incrementada em função do aumento da porcentagem de P solúvel da mistura. Para o COSTF, observou-se que, conforme aumentou a porcentagem de P na mistura, houve menor absorção do fósforo pelas plantas de alface. Estes efeitos ocorridos, tanto para o COST como COSTF, pode ser justificado utilizando as mesmas explicações apontadas para a produção de massa seca. No primeiro cultivo, as maiores médias foram encontradas para os tratamentos ST (superfosfato triplo) e COSTF1, sendo os mesmos 31,76 e 32,11 mg de fósforo por planta, respectivamente.

A quantidade de fósforo extraída no ST e COSTF1 foi superiores (31,76 e 32,11mg/planta) às encontradas por Villas Bôas et al. 2004 (22 e 24 mg de P/planta). Neste primeiro cultivo, somente os tratamentos CO, COST1, COST3 e COST4 apresentaram médias semelhantes aos resultados obtidos por Villas Boas et al. (2004).

No segundo cultivo (Tabela 14), tanto para COST como para o COSTF, ocorreu menor absorção de P pelas plantas de alface. Isto, provavelmente, seja explicado pela fixação do fósforo lábil aplicado somente no primeiro cultivo. Autores como Leal e Veloso (1973), Sanyal e De Datta (1991) e Novais e Smith (1999) descrevem as fases e os fatores que favorecem a fixação do P aos oxidróxidos de ferro e alumínio.

Para COFN e COFNF, os resultados encontrados para a quantidade de P absorvida pelas plantas de alface foram semelhantes em comportamento, aos resultados verificados para

produção de massa seca, já discutida anteriormente.

Tabela 14 – Quantidade de fósforo obtido na parte aérea de plantas de alface submetidas a diferentes fontes de fósforo no solo, em dois cultivos sucessivos.

Tratamentos

Grupo

1° Cultivo

2° Cultivo

P/Planta

----- (mg) -----

TESTEMUNHA (SEM P)

0,46 ± 0,11 D

0,56 ± 0,06 D

FN

0,62 ± 0,02 D

0,88 ± 0,08 D

CO

A

23,53 ± 0,44 B

15,71 ± 1,38 A

ST

31,76 ± 2,22 A

17,06 ± 0,49 A

COST1

19,28 ± 1,33 C

8,29 ± 0,30 BC

COST2

23,79 ± 1,05 B

8,40 ± 1,01 BC

COST3

22,72 ± 1,78 B

9,19 ± 0,53 B

COST4

24,48 ± 0,88 B
6,66 ± 1,17 C

Médias de COST = (COST1+2+3+4)/4

21,34 ± 1,26
8,13 ± 0,75

TESTEMUNHA (SEM P)

0,46 ± 0,11 E
0,56 ± 0,06 D

FN

0,62 ± 0,02 E
0,88 ± 0,08 D

CO

B

23,53 ± 0,44 D
15,71 ± 1,38 AB

ST

31,76 ± 2,22 AB
17,06 ± 0,49 A

COSTF1

32,11 ± 1,00 A
18,19 ± 0,81 A

COSTF2

28,54 ± 0,90 C
14,13 ± 1,09 B

COSTF3

29,00 ± 0,37 BC
15,95 ± 1,06 B

COSTF4

28,19 ± 0,84 C
11,13 ± 1,27 C

Médias de COSTF = (COSTF1+2+3+4)/4

29,46 ± 0,77
14,85 ± 1,05

TESTEMUNHA (SEM P)

0,46 ± 0,11 E
0,56 ± 0,06 C

FN

0,62 ± 0,02 E
0,88 ± 0,08 C

CO

C

23,53 ± 0,44 B
15,71 ± 1,38 A

ST

31,76 ± 2,22 AB
17,06 ± 0,49 A

COFN1

7,58 ± 0,88 C
7,06 ± 0,30 B

COFN2

4,35 ± 0,52 D
2,14 ± 0,31 C

COFN3

2,22 ± 0,12 DE
1,64 ± 0,39 C

COFN4

0,90 ± 0,14 E
0,94 ± 0,11 C

Médias de COFN = (COFN1+2+3+4)/4

3,76 ± 0,41
2,94 ± 0,27

TESTEMUNHA (SEM P)

0,46 ± 0,11 E
0,56 ± 0,06 D

FN

0,62 ± 0,02 E
0,88 ± 0,08 D

CO

D

23,53 ± 0,44 B
15,71 ± 1,38 A

ST

31,76 ± 2,22 A
17,06 ± 0,49 A

COFNF1

9,06 ± 0,78 C
5,49 ± 0,37 B

COFNF2

6,17 ± 0,88 D
6,73 ± 0,45 B

COFNF3

4,08 ± 0,34 D
3,26 ± 0,56 C

COFNF4

3,87 ± 0,07 D
1,85 ± 0,26 CD

Médias de COFNF = (COFNF1+2+3+4)/4

5,79 ± 0,51
4,33 ± 0,41

Contrastes Ortogonais

COST vs COSTF

*
*

COFN vs COFNF

*
*

* = $P < 0,05$ pelo teste de F

NS = $P > 0,05$ pelo teste de F

Médias de tratamentos na coluna seguidas por letras maiúsculas iguais não apresentam diferenças estatísticas ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey, dentro de cada grupo (A,B,C e D).

4.2.3 Avaliação do Índice de Eficiência Agronômica (IEA) das fontes de fósforo, relativos aos dados de produção de massa seca total da parte aérea de plantas de alface.

Os Índices de Eficiência Agronômica (IEA) relativos aos dados de produção de massa seca total de parte aérea das plantas de alface, em dois cultivos, são apresentados na Tabela 15.

Na Tabela 15, assim como nas Tabelas 13 e 14, observaram-se diferenças significativas ($P < 0,05$) para os contrastes COST x COSTF e COFN x CONF.

Para o COST (COST1 + COST2 + COST3 + COST4) no primeiro cultivo, a média do IEA obtida foi de 75,09%, diferente de quando o P foi adicionado posteriormente à compostagem COSTF (COSTF1 + COSTF2 + COSTF3 + COSTF4), que foi de 92,10%. Esses resultados indicam que a mistura de P antes da compostagem não aumentou a eficiência agronômica calculada com base na produção de massa seca da planta de alface.

Esperava-se que a matéria orgânica misturada com fontes de fósforo solúvel antes da compostagem aumentasse a disponibilidade de P para as plantas, tal como foi observado no experimento de El Baruni e Olsen (1979), ou ainda que a liberação de ácidos orgânicos sintetizados no processo biológico de decomposição da matéria orgânica favorecesse a disponibilidade de P (KIRK et al., 1978).

Como já discutida anteriormente, a adição de ST na compostagem promoveu queda de pH, que possivelmente limitou o desenvolvimento da população de microorganismos responsáveis pela humificação da matéria orgânica.

Os valores do IEA, observados no primeiro cultivo para os tratamentos onde FN foi adicionado antes ou após a compostagem, foram baixos se comparados aos tratamentos onde se adicionou o ST. Resultados mais baixos do IEA para fóstatos naturais aplicados aos solos são encontrados em vários trabalhos, como os de Soares et al. (2000) e Sarmiento et al. (2001). Para o contraste COFN x COFNF, observou-se também que a adição de FN na compostagem influenciou de modo negativo o IEA, pois a média obtida para o COFN (COFN1 + COFN2 + COFN3 + COFN4) foi de 18,85%, diferente de quando o FN foi adicionado posteriormente à compostagem COFNF (COFNF1 + COFNF2 + COFNF3 + COFNF4), que foi de 27,18%.

Na literatura, um dos poucos trabalhos que aborda a solubilização de rochas fóstadas na compostagem é o de Singh e Amberg (1991). Estes autores conseguiram uma solubilização de P de 14,7% para a fonte Mussorie phos e de 24,5% para o hiperfóstato. Deve-se ressaltar, no entanto, que este trabalho foi realizado em laboratório, utilizando-se 4 g de casca de arroz + 1 g de fóstato + 0,5 g de melão e a eficiência, determinada através do teor de P solúvel em água.

Neste trabalho, a aplicação de FN reativo alterou o pH da pilha de compostagem e, possivelmente, este efeito impossibilitou que houvesse solubilização de fósforo da rocha. Já Singh e Amberg (1991) em seu trabalho não avaliaram o efeito da adição das fontes reativas de P sobre o pH da mistura.

Uma outra hipótese para explicar os resultados de eficiência agrônômica diferenciada entre COFN e COFNF é que parte de P pode ter sido solubilizado e, posteriormente, convertido em formas de P orgânica pela microflora existente no processo ou quelatizado por substâncias húmicas (MATHUR;DEBNATH, 1983). Segundo Singh e Amberg (1995), faltam informações sobre a mineralização do P orgânico convertido pelos microorganismos envolvidos no processo de compostagem.

Para os tratamentos onde se adicionou ST antes da compostagem, o tratamento COST4 apresentou o maior índice de eficiência agrônômica, calculado com base na produção de massa seca de parte aérea de plantas de alface. O valor encontrado para COST4 foi de 90,46 %, que diferiu estatisticamente dos demais tratamentos.

Nos tratamentos onde o ST foi aplicado posteriormente à compostagem, pequenas doses de P

adicionadas ao composto (COSTF1 e COSTF2) promoveram os maiores valores do IEA, respectivamente 105,80% e 103,07%, que foram diferentes ($P < 0,05$) dos COSTF3 (89,00%), COSTF4 (70,56%) e também do tratamento CO (79,88%).

Estes resultados indicam que quando se adicionou o fósforo em porcentagens que variam de 1,5 a 3,0% de P na mistura, os efeitos provocados podem estar ligados mais à matéria orgânica do que propriamente à porcentagem de fósforo adicionada. É difícil precisar qual dos dois fatores está influenciando nesses resultados, uma vez que em COSTF1 e COSTF2 há uma maior quantidade de matéria orgânica adicionada em relação ao COSTF3 e COSTF4. Por outro lado, nestes dois tratamentos, utilizou-se maior quantidade de ST.

Esse aumento do IEA para os tratamentos COSTF1 e COSTF2 superiores ao padrão (ST=100) pode ser explicado pela presença de radicais livres na matéria orgânica, que bloqueiam as hidroxilas expostas na superfície de óxidos de ferro e alumínio (LEAL; VELLOSO, 1973), além de que no processo de decomposição da matéria orgânica são gerados ácidos orgânicos que são capazes de promover a solubilização de fosfato (SINGH; AMBERG, 1995) ou, ainda, a formação de complexo fosfo-húmico mais facilmente assimilável (MELLO, 1980).

Os tratamentos envolvendo fosfato natural aplicado antes (COFN) ou posterior (COFNF) à compostagem apresentaram baixo IEA, sendo as médias encontradas significativamente ($P < 0,05$) inferiores ao tratamento CO, composto aplicado isoladamente. Para ambos os casos (COFN ou COFNF), na medida em que se aumentou a porcentagem de FN, houve uma diminuição na eficiência obtida.

Os resultados mostraram que a redução da quantidade de P proveniente da matéria orgânica, ou seja, substituído por fosfato natural (insolúvel em água), promoveu a diminuição da eficiência de P.

As hipóteses para justificar a diminuição da eficiência quando da adição de FN já foram discutidas anteriormente.

Para o IEA do segundo cultivo (Tabela 15), que expressa o efeito residual das fontes de P no solo, deve-se considerar que o P da fonte referência (ST) sofre processo de fixação mais intenso que fontes menos solúveis e, portanto, notou-se que o composto orgânico aplicado

separadamente, apresentou eficiência 19% superior à fonte de referência. Por outro lado, deve-se considerar que não ocorreu a reposição de P no segundo cultivo, sendo que alguns tratamentos que apresentaram maiores IEA (cálculo com base na produção de massa seca no primeiro cultivo), retiraram maior quantidade de P presente no solo, sobrando menor quantidade para o segundo cultivo.

Os tratamentos envolvendo a adição de ST antes da compostagem (COST1, 2, 3 e 4) apresentaram diferenças estatísticas ($P < 0,05$) quando comparados com CO. Possivelmente, isto pode ser justificado pela fixação mais intensa da fonte solúvel quando aplicado ao solo, tornando o P indisponível. Essa transformação do P lábil da fonte solúvel quando aplicada ao solo para P não lábil foi evidenciada e discutida no trabalho de Sarmiento et al. (2001). Ainda, os autores observaram tendência linear na redução da produção de massa seca de alface ao longo dos três cultivos consecutivos, quando adubados com a fonte solúvel ST.

Para a mistura com ST após a compostagem, verificou-se que o tratamento COSTF1 foi 57,78% superior à fonte de referência ST (IEA= 100%) e diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, até mesmo do tratamento COSTF2, que apresentou IEA de 97,18%. Já para os tratamentos enriquecidos com FN antes ou após a compostagem, os mesmos foram estatisticamente inferiores ao tratamento CO.

Tabela 15 - Resultado percentual do Índice de Eficiência Agronômica (IEA), calculado com base na produção de matéria seca da parte aérea de plantas de alface submetida a diferentes fontes de fósforo no solo, em dois cultivos sucessivos.

Tratamentos
Grupo
1° Cultivo
2° Cultivo

Índice de Eficiência Agronômica (IEA)

Matéria Seca

------(%)-----

FN

5,33 D
6,00 D

CO

A

79,88 B
119,02 A

COST1

63,59 C
78,86 B

COST2

72,56 B
58,07 C

COST3

73,77 B
74,98 B

COST4

90,46 A
52,78 C

Médias de COST = (COST1+2+3+4)/4

75,09
66,17

CV%

4,41
6,04

FN

5,33 E
6,00 E

CO

B

79,88 C
119,02 B

COSTF1

105,80 A
157,78 A

COSTF2

103,07 A
97,18 C

COSTF3

89,00 B
99,22C

COSTF4

70,56 D
74,98D

Médias de COSTF = (COSTF1+2+3+4)/4

92,10
107,29

CV%

4,35
7,44

FN

5,33 D
6,00 D

CO

C

79,88 B
119,02 A

COFN1

34,02 B
62,65 B

COFN2

24,40 C
19,66 C

COFN3

14,56 C
17,55 C

COFN4

1,99 D
5,56 D

Médias de COFN = (COFN1+2+3+4)/4

18,74
26,33

CV%

10,82
7,72

FN

5,33 D
6,00 D

CO
D

79,88 A
119,02 A

COFNF1

39,31 B
43,62 B

COFNF2

28,22 B
52,78 B

COFNF3

21,76 B
31,99 C

COFNF4

19,07 B
11,91 D

Médias de COFNF = (COFNF1+2+3+4)/4

27,18
35,07

CV%

10,42
8,50

Contrastes Ortogonais

COST vs COSTF

*
*

COFN vs COFNF

*
*

* = P < 0,05 pelo teste de F

NS = P > 0,05 pelo teste de F

Médias de tratamentos na coluna seguidas por letras maiúsculas iguais não apresentam diferenças estatísticas (P>0,05) pelo teste de Tukey, dentro de cada grupo (A,B,C e D).

4.2.4 Avaliação do Índice de Eficiência Agrônômica (IEA) das fontes de fósforo, relativos aos dados de quantidade de fósforo extraído pela parte aérea de planta de alface.

Na Tabela 16 são apresentados os resultados de IEA obtidos com base no cálculo da quantidade de fósforo extraído pela parte aérea das plantas de alface. Obteve-se para o COST, média de 68,86%, enquanto que para o COSTF, média de 88,18%. Esse comportamento foi semelhante ao obtido para o IEA calculado com base na produção de massa seca pela parte aérea de plantas de alface (Tabela 15). Estes resultados indicaram que a adição de P antes da compostagem não aumentou a disponibilidade de P para as plantas de alface, como era esperado.

Os valores do IEA observados para os tratamentos onde o ST foi adicionado antes ou após a compostagem, foram altos quando comparados com os tratamentos enriquecidos com FN.

Quando observadas as médias do contraste COFN x COFNF, verificou-se que houve diferença estatística ($P < 0,05$). A adição de fosfato natural de Arad (FN) antes da compostagem influenciou negativamente a disponibilidade de fósforo, conseqüentemente seu IEA.

O IEA encontrado para COFN foi de 10,55%, enquanto que para o COFNF foi de 17,05%. Os efeitos negativos que provocaram menores IEA para COFN são os mesmos já apontados para o IEA calculado com base na produção de massa seca de parte aérea das plantas de alface.

Quando se verificaram as médias dos tratamentos COST2, COST3 e COST4, observou-se não haver diferença estatística em relação ao tratamento CO (composto orgânico aplicado isoladamente); apenas os mesmos diferiram dos tratamentos FN e COST1. Portanto, quando se misturou o ST após a compostagem, a maior média foi obtida para o tratamento COSTF1 (101,11), sendo o mesmo diferente dos demais tratamentos. Verificou-se, neste tratamento, o efeito benéfico da matéria orgânica sobre o suprimento de P às plantas de alface. Os fatores que influenciaram este efeito já foram comentados por Leal e Veloso (1973); Nahas (1991); Singh e Amberg (1995) e Mello (1980). Para os tratamentos enriquecidos com fosfato natural de Arad antes ou depois da compostagem observaram que foram inferiores ao CO. Isto é explicado pela baixa solubilidade do P contido na fonte FN.

Tabela 16 -Resultado percentual do Índice de Eficiência Agronômica, calculado com base na quantidade de fósforo extraído pela parte aérea de plantas de alface submetidas a diferentes fontes de fósforo no solo, em dois cultivos sucessivos.

Tratamentos
Grupo
1º Cultivo
2º Cultivo

Índice de Eficiência Agronômica (IEA)

Quantidade de P

------(%)-----

FN

2,33 C
8,33 D

CO
A

73,70 A
91,55 A

COST1

60 60,13 B
46,62 BC

COST2

74,54 A
47,26 BC

COST3

71,11 A
52,08 B

COST4

69,68 A
36,07 C

Médias de COST = (COST1+2+3+4)/4

68,86
45,5

CV%

5,64
11,45

FN

2,33 D
8,33 D

CO
B

73,70 C

91,55AB

COSTF1

101,11 A
106,62 A

COSTF2

89,71 B
82,02 B

COSTF3

91,17 B
93,08 AB

COSTF4

70,74 C
63,84 C

Médias de COSTF = (COSTF1+2+3+4)/4

88,18
86,36

CV%

3,37
8,56

FN

2,33 D
8,33 C

CO
C

73,70 A
91,55 A

COFN1

22,75 B
39,19 B

COFN2

12,42 C

9,37 C

COFN3

5,64 D
6,34 C

COFN4

1,41 D
2,10 C

Médias de COFN = (COFN1+2+3+4)/4

10,55
14,25

CV%

7,89
14,41

FN

2,33 E
8,33 C

CO
D

73,70 A
91,55 A

COFNF1

27,46 B
29,62 B

COFNF2

18,24 C
37,14 B

COFNF3

11,55 D
16,16 C

COFNF4

10,90 D

7,61 C

Médias de COFNF = (COFNF1+2+3+4)/4

17,03
22,63

CV%

7,41
12,8

Contrastes Ortogonais

COST vs COSTF

*
*

COFN vs COFNF

*
*

* = $P < 0,05$ pelo teste de F

NS = $P > 0,05$ pelo teste de F

Médias de tratamentos na coluna seguidas por letras maiúsculas iguais não apresentam diferenças estatísticas ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey, dentro de cada grupo (A,B,C e D).

No segundo cultivo, os melhores resultados de IEA calculado com base na quantidade de fósforo extraída pela parte aérea foram para os tratamentos CO, COSTF1e COSTF3. Possivelmente, a matéria orgânica contida nestes tratamentos sofreu mineralização, suprimindo a demanda de P exigida pelas plantas. Esses efeitos foram semelhantes aos observados por Cezar (2001) quando adicionou somente biofertilizante ao solo. O IEA encontrado pelo autor para o biofertilizante no segundo cultivo foi estatisticamente superior aos valores obtidos para as misturas, biofertilizante + ST ou biofertilizante + fosfato natural de Araxá, misturado antes ou depois do processo de fermentação anaeróbia. Também no trabalho de Cezar (2001) foi verificado efeito negativo do processo biológico sobre a disponibilidade do P das fontes de fósforo proveniente da adição de ST e Fosato Natural de Araxá antes da biodigestão anaeróbia, às plantas de milho.

4.2.5 Características químicas do solo após primeiro cultivo, em função da fonte de fósforo aplicada.

Na Tabela 17 observou-se o efeito dos tratamentos sobre algumas propriedades do solo. Notou-se que houve efeito significativo ($P < 0,05$) da adição da matéria orgânica sobre o pH do solo, sendo que o maior valor foi observado no tratamento onde somente o composto orgânico foi aplicado (CO). Este aumento no pH em função da adição de composto orgânico não foi evidenciado por Mello & Vitti (2002). Os autores relataram que dependendo do tipo de material orgânico aplicado ao solo, pode ou não ocorrer mudanças do pH. Neste experimento, possivelmente, o aumento do pH promovido pode ser atribuído à própria matéria orgânica em adsorver o hidrogênio e alumínio (HOYT; TUNNER, 1975).

Apesar do ST ter no seu conteúdo um residual ácido proveniente da adição de ácido fosfórico no seu processo de produção, pela quantidade com que foi aplicado ao solo este efeito não chega a afetar significativamente o pH. No entanto, para aplicação de fosfato reativo, um carbonato apatítico, observa-se tendência de pequena elevação de pH em relação à testemunha (sem fósforo).

Moreira et al. (2000) observaram que a aplicação de fosfato de Arad ao solo promoveu aumento de 0,01 unidade. Deve-se considerar, no entanto, no presente trabalho que foi aplicada quantidade elevada de P (200 mg/kg-1 de solo) e, portanto, esse efeito pode ser mais expressivo.

Quando se comparam os contrastes COST x COSTF e COFN x COFNF para o valor de pH do solo, não foram verificadas diferenças significativas ($P > 0,05$).

O conteúdo de matéria orgânica do solo foi alterado em função dos tratamentos, sendo que o maior valor observado foi para o tratamento CO. Este aumento no conteúdo de matéria orgânica para o tratamento CO pode ser explicado pela maior quantidade de composto orgânico aplicado. Incremento no conteúdo de matéria orgânica do solo também foi comprovado por Gill & Meelu (1982), após a adição de 12 t ha⁻¹ de esterco de curral misturado com resto de feno. Resultados semelhantes foram obtidos por Murillo et al. (1989), com as aplicações de 200 e 400 t ha⁻¹ de composto de lixo urbano.

Observou-se que apesar de haver variação da quantidade de matéria orgânica (MO) aplicada nos tratamentos, somente para os tratamentos que compõem o COFNF há diferenças significativas que indicam diminuição do teor de MO.

Os contrastes ortogonais COST x COSTF e COFN x COFNF realizados para o conteúdo de matéria orgânica do solo após primeiro cultivo, apresentam diferenças estatísticas ($P < 0,05$).

Os teores de P no solo, após o primeiro cultivo, mostraram que o tratamento onde foi utilizado ST apresentou o mais elevado teor de P extraído pelo método da resina. Ainda, quando se realizou o contraste COST x COSTF, observou-se que houve diferença estatística ($P < 0,05$).

A média obtida para COST foi de 83 mgdm³ de P, diferente de quando o P foi adicionado posteriormente à compostagem (COSTF), que foi de 107 mgdm³ de P. Este resultado pode estar relacionado com a não capacidade do extrator (resina) em extrair fósforo orgânico, que possivelmente tenha se ligado à matéria orgânica durante à compostagem. Já para a fonte ST adicionada posteriormente à compostagem, esse tempo de contato foi menor e o extrator extraiu esse fósforo ainda lábil no solo.

Para o contraste COFN x COFNF, observou-se também que a adição de FN na compostagem influenciou de modo negativo o teor de P no solo.

O COFN apresentou média de 70 mgdm³, diferentemente de quando o FN foi adicionado posteriormente a compostagem (COFNF), que foi de 81 mgdm³ de P.

As diferenças das médias observadas no contraste COFN x COFNF foram menores que as observadas no COST x COSTF, sugerindo que o fosfato reativo não sofreu solubilização e, conseqüentemente, não foi incorporado na forma orgânica como foi sugerido para o ST.

Os tratamentos que compõem o COST não apresentaram diferenças estatísticas ($P > 0,05$) em função da % de P aplicada como ST antes da compostagem e, dos 200 mg de P kg⁻¹ aplicados, restaram no solo cerca de 80 mg de P kg⁻¹. Pode-se considerar, portanto, que apesar de haver variação entre a quantidade de P solúvel adicionado em cada pilha de composto, no solo, quer seja pela mineralização de P orgânico ou pela imobilização de P solúvel os valores foram semelhantes.

Para COSTF, apesar de haver algumas diferenças significativas, os tratamentos não mostraram uma tendência que permitam explicar de forma clara o resultado obtido.

Os tratamentos COFN3 e COFN4 apresentaram as menores médias, sugerindo que quanto maior a quantidade de FN utilizada na mistura, menor o teor de P resina no solo.

Para o COFNF1, COFNF2, COFNF3 e COFNF4 não foram observadas uma tendência entre os tratamentos com relação ao P resina no solo. Encontrou-se para o tratamento COFNF4 valor de 100 mg dm⁻³ de P no solo, o que pode ser considerado um valor elevado. Apesar disso, a produção de massa seca obtida tanto no primeiro como no segundo cultivo (Tabela 13) foram baixas, o que significa que o extrator não foi adequado para indicar, de fato, os teores de P disponíveis às plantas. Este fato também foi verificado por Rossi et al. (1999), quando os mesmos estudaram a eficiência de diferentes extratores químicos (Mehlich e Resina) na avaliação da disponibilidade do fósforo do solo e o seu aproveitamento pelas plantas de arroz. Os autores comentaram que obtiveram altos teores de P no solo para o extrator resina, mas por outro lado, acarretou numa menor produção de massa seca, o que corrobora com os resultados obtidos neste experimento.

Verificou-se, também, que existiu diferença estatística ($P < 0,05$) para o H + Al entre os tratamentos e que apresentaram o mesmo comportamento observado para pH do solo. Isto se justifica em função da correlação existente entre estas duas propriedades do solo. Já para a CTC do solo, as diferenças estatísticas foram observadas, principalmente em relação ao tratamento onde somente o composto orgânico foi aplicado. Segundo Canellas et al. (1999) a contribuição da matéria orgânica sobre a CTC do solo é tanto maior quanto menor for a contribuição da fração mineral. Peixoto (1997) demonstrou a importância da matéria orgânica na CTC em solos com óxidos de alumínio predominante na fração mineral.

Os contrastes ortogonais COST x COSTF e COFN x COFNF apresentaram diferenças estatísticas ($P < 0,05$) para a CTC com medias de 57; 63 e 67 e 63 mmolc/dm³ respectivamente. Onde se observou o efeito negativo da adição de ST antes do processo de compostagem. Para o COFNF se verificou redução da CTC, fato este de difícil explicação, uma vez que se esperava resultado semelhante tanto para o COFN e COFNF. Conforme discutido no experimento I, a compostagem ocorreu sem limitações.

Para os nutrientes Ca e Mg, observaram comportamento semelhante entre os tratamentos, sendo o maior valor observado para o tratamento CO (somente aplicação de composto orgânico). Isto se justifica pelo fato deste tratamento receber esses nutrientes através do composto e também pela calagem (Ca + Mg). Deve se considerar que o composto utilizado neste tratamento apresentava os teores de Ca e Mg (Tabela 10), respectivamente, de 2,8 e 0,48 %.

O conteúdo de K no solo, apresentou alguns variações, o que pode ser atribuído à extração deste nutriente pela planta. Pode-se inferir, por exemplo, que os teores de K no solo para o tratamento ST foi um dos mais baixos, possivelmente porque foi o que mais produziu massa seca quando comparado com os demais tratamentos.

4.2.6 Características químicas do solo após segundo cultivo, em função da fonte de fósforo aplicada.

Na Tabela 18, observou-se que não existiu diferença estatística ($P > 0,05$) para os valores de pH do solo após o segundo cultivo. Entretanto, pode ser observado um incremento no valor de pH para o tratamento CO (somente aplicação de composto) que, como já comentado, é devido à capacidade da matéria orgânica em adsorver o hidrogênio e o alumínio (HOYT; TUNNER, 1975).

Quando se avaliaram os contrastes ortogonais (COST x COSTF e COFN x COFNF), verificaram não ocorrer diferença significativa ($P > 0,05$) para pH do solo. Portanto, a mistura de diferentes porcentagens de P antes ou depois da compostagem não interferiram sobre o pH do solo após segundo cultivo.

Quanto ao teor de matéria orgânica do solo (Tabela 18), notou-se que os resultados encontrados foram semelhantes aos obtidos após primeiro cultivo, sendo o tratamento CO (composto orgânico), de modo geral, superior aos demais tratamentos.

Avaliando os contrastes ortogonais (COST x COSTF e COFN x COFNF) para o conteúdo de matéria orgânica, não foram observadas diferenças estatísticas ($P > 0,05$).

Os teores de P do solo, apresentaram comportamento diferente ao observado após o primeiro cultivo. Esse elemento extraído pelo método da resina foi maior no tratamento composto orgânico (CO) do que no tratamento ST, que apresentou o maior valor após o primeiro cultivo. Isto pode ser explicado devido o tratamento ST, no primeiro cultivo, produzir a maior quantidade de massa seca de parte aérea de plantas de alface, o que conseqüentemente promoveu os menores teores de P.

Outro fato que pode explicar o acontecido é que as fontes solúveis passam rapidamente para a fase sólida do solo (lábil) e, com o passar tempo, são adsorvidas pelo solo (não lábil), tornando-se indisponíveis para as plantas.

Observou-se para as médias obtidas nos contrastes (COST x COSTF e COFN x COFNF) que existiram diferenças estatísticas ($P < 0,05$). A média de COSTF e COFNF foi superior a obtida para o COST e COFN.

Novamente, foram observados os efeitos negativos pela adição de diferentes porcentagens de P antes da compostagem, não importando a fonte de P empregada. O motivo que proporcionou este efeito negativo já foi comentado anteriormente no texto. Para o contraste COFN x COFNF, a maior média foi encontrada para COFN (81 mg/dm³ de P). Isto pode ser explicado devido ao mesmo ter produzido menor quantidade de matéria seca no primeiro cultivo e, conseqüentemente menor retirada de P da solução do solo pelas plantas de alface.

Os teores médios de P disponível no solo para COST e seus respectivos tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas ($P < 0,05$), diferindo da testemunha como já era de se esperar. Para COSTF, apesar de haver diferenças estatísticas entre os tratamentos, os mesmos não mostraram uma tendência que permitisse explicar de forma clara os resultados obtidos, semelhantemente ao ocorrido após o primeiro cultivo.

Os teores médios de P do solo extraído pelo método da Resina para os tratamentos que compõem COFN e COFNF não permitiram discussão, em função de não apresentarem uma tendência nos valores obtidos. A avaliação através das médias do contraste COFN x COFNF foram significativas, apesar do uso do extrator resina ter superestimado as quantidades de P do solo como já discutido por Rossi et al. (1999).

Os valores de H + Al do solo, verificado após segundo cultivo, não apresentaram diferenças estatísticas ($P>0,05$) entre os tratamentos, conforme ocorreu para o pH do solo. Os resultados encontrados para H + Al do solo foram semelhantes aos observados por Wiethölter et al. (1994) quando avaliaram o índice de eficiência agronômica dos fertilizantes organomineral, NPK e cama de aves sobre a produção de trigo, aveia e soja.

Quando foram avaliados os contrastes (COST x COSTF e COFN x COFNF) para H+AL, não foram verificadas diferenças estatísticas ($P>0,05$).

Para os teores de cálcio e magnésio apresentados na Tabela 18, verificou-se que não houve diferença estatística ($P>0,05$) entre os tratamentos, apenas para os contrastes COST x COSTF. Já para os teores de K do solo, após segundo cultivo, foram semelhantes aos resultados obtidos após o primeiro cultivo, sendo que os tratamentos que produziram a menor produção de massa seca de parte aérea das plantas de alface apresentaram os maiores teores de K no solo. Quando se avaliou o contraste (COST x COSTF) observou-se diferença estatística ($P<0,05$) para o teor de K do solo, o mesmo não ocorrendo para o COFN x COFNF.

5 CONCLUSÕES

5.1 Experimento I

Valores de temperatura no processo de compostagem ocorreu mesmo nas maiores doses de ST, contrariando Peixoto (1988).

Em nenhum dos 120 dias de compostagem a temperatura do composto foi inferior à ambiente. Idem, ST e FN mesmos nos dias de revolvimento.

Nas pilhas onde o ST foi adicionado houve decréscimo do pH de 7,2 para 4,3, com aumento da porcentagem de fósforo.

Nas pilhas com FN, efeito contrário, aumento do pH com incremento de FN (carbonato apatita).

O carbono e relação C/N foi maior em função do aumento da adição de ST nas pilhas de compostagem .

Nas pilhas onde adicionou o FN foi menor o carbono orgânico e a relação C/N.

Tratamento com a adição de ST o balanço de massa apresentou resultado menor, todos inferiores à testemunha CO.

Tratamento com a adição de FN o balanço de massa apresentou resultado maior, todos superiores à testemunha CO.

5.2 Experimento II

A adição de ST e FN na compostagem em relação à aplicação após o processo:

Diminuiu o índice de eficiência agrônômica do P baseado no fósforo extraído e na matéria seca de plantas de alface.

Diminuiu a produção de massa seca e a quantidade de P na planta de alface.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALEXANDER, M. Introduction to soil. 2. ed. Wiley Eastern Limited; New Delhi: India, p. 241-345, 1977.

BATISTA, J. G.; BATISTA, E. R. B. Manual de compostagem. Disponível em : <<http://www.angra.uac.pt/PESSOAIS/DOCENTES/jbatista/Compostagem/capa.jpg>>. Acesso em: 08 outubro 2002.

BLOOM, P. R.; McBRIDE, M.B.; WEAVER, R.M. Aluminium organic matter in acid soils, buffering and solution aluminum activity. Soil Sc. Soc. Am. J., n. 43, p. 488-93, 1979.

BOLAN, N. S., NAIDU, R.; MAHIMAIRAJA, S.; BASKARAN, S. Influence of low-weight organics acids on the solubilization of phosphates. Biol Fertil Soils, v. 18, p. 311-19, 1994.

BRAGA, J. M. Avaliação da fertilidade do solo: análises químicas. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1980. 87 p.

BRANCO, S. M.; MURGEL, P. H.; CAVINATTO, V. M. Compostagem: solubilização biológica de rocha fosfática na produção de fertilizante organomineral. Eng. Sanit. Amb. v. 6, n. 3, p. 115-122, 2001.

BULL, L.T.; LACERDA, S.; NAKAGAWA, J. Termofosfatos: alterações em propriedades químicas em um latossolo vermelho escuro e eficiência agrônômica. Bragantia, v.56, n.1, p.169-79, 1997.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. M. A. S. Métodos de análises químicas, mineralógicas e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Bol. Tec. Inst. Agron., n. 106, p. 1-94, 1986.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; SOBRINHO, N.; M.; B.; A. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 69-89.

CARVALHO, W. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. Levantamento de solos da

Fazenda Experimental "Presidente Médici". Bol. Cient., Fac. De Ciênc; Agron.UNESP (Botucatu), n.1, p. 1-95, 1983.

CATCHCART, J.B. World phosphaste reserves and resources. In: SIMPOSIUM ON THE ROLE OF PHOSPHORUS IN AGRICULTURE, 1976, Proceeding... Madison: USA, 1980. p. 1-18.

CATTELAN, A.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função da variações ambientais. Rev. Brás. Ciênc. Solo, v. 14, p. 125-32, 1990.

CEKINSKI, E. Fertilizantes. In: CEKINSKI, E.; CALMANOVICI, C. E.; BICHARA, J. M.; FABIANI, M.; GIULIETTI, M.; CASTRO, M.L.M. M.; SILVEIRA, P.B.M.;CEZAR, V. R. S. Efeito da biodigestão anaeróbia sobre a solubilização e a eficiência agronômica de diferentes fontes de fósforo. 2001. xii, 91f.: il. Color. Dissertação (mestrado em energia na agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2001.

CUNHA, A. R.; KLOSOWSKI, E. S.; GALVANI, E.; SCOBEDO, J. F.; MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu-SP, segundo Koppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1., 1999, Botucatu. Anais 1... Botucatu: UNESP-FCA, 1999. p. 487-491.

DE LUCA, E. F.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; CHITOLINA, J. C. Eficiência de absorção e utilização de fósforo(^{32}P) por mudas de eucalipto e arroz. Scientia Agrícola, v. 59, n. 3, p. 543-547, jul./set. 2002.

DEFILIPPE, G. Panorama da rocha fosfática e ácido fosfórico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 5., 1990, São Paulo. Anais... São Paulo: IBRAFOS, 1990. p. 5-9.

EL BARUNI, B.; OLSEN, S. R. Effect of manure on solubility of phosphorus in calcareous soils. Soil Sc., v. 128, n. 4, p. 219-25, 1979.

ENWENZOR, W. O. The mineralization of N and P in materials of varying C:N and C:P. Plant and Soil., v. 44, p. 237-240, 1976.

FASSBENDER, H.W. Fósforo. In: QUÍMICAS DE SUELOS: CON ENFASÍS EN SUELOS DE AMÉRICA LATINA. Turrialba: Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas/OEA, 1978. p. 262-307.

GILL, H. S.; MEELU, O. P. Studies on the substitution of inorganic fertilizers with organic manure and their effect on soil fertility in rice-wheat rotation. Fertilizer Research, v. 3, p. 303-314, 1982.

GODDARD, R. E.; HOLLIS, C. A. The genetic basics of Forest tree nutrition. In: BOWEN, G. D.; NAMBIER, E. H. S. (Ed.) Nutrition of plantation forest. London: Academic Press, 1984. p. 237 – 258.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solos de cerrado. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v. 18, p. 119-24, 1984.

GOEDERT, W. J.; PATELLA, J. P.; MORAES, J. F. V. Formas de fósforo num Planossolo do Rio Grande do Sul e sua disponibilidade para a cultura de arroz irrigado. Pesq. Agropec. Bras. Ser. Agron., v. 6, p. 39-43, 1971.

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Avaliação preliminar de fosfatos com acidulação parcial. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v. 10, p. 75-80, 1986.

GONÇALVES, J. A. Influência de doses de fósforo e de cultivos sucessivos nos níveis de fósforo e na sua absorção pelo milho. Viçosa, 1984. 65p. (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. Eficiência dos fosfatos naturais. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, Piracicaba. Anais... Piracicaba: POTÁFOS/ANDA, 2003. 1 CD-ROM.

HOYT, P. B.; TURNER, R. C. Effect of organic materials added to very acid soils on pH, aluminum, exchangeable NH₄ and crop yields. Soil Sci., v. 119, p. 227-37, 1975.

HUNTER, D. J.; YAPA, L. G. G.; HUE, N. V.; EAQUB, M. Comparative effects of green

manure and lime on the growth of sweet corn and chemical properties of an acid oxisol in Western Samoa. *Commun. Sci. Plant anal*, v. 26 p. 375-88, 1995.

JORGE, J. A. Fósforo. In: MONIS, A.C., (Coord.). *Elemento de pedologia*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1972. p. 191-7.

KIEHL, E. J. *Manual de Compostagem “Maturação e qualidade do Composto”*. Piracicaba: 1998. 171p.

KIRK, G. J. D.; GEORGE, T.; COURTOIS, B.; SENADHIRA, D. Opportunities to improve phosphorus efficiency and soil fertility in rainfed lowland and upland rice ecosystems. *Field Crops Res.*, v. 56, p. 73-92, 1998.

KORNDÖRFER, G. H. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para as plantas de trigo. Porto Alegre, 1978. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

KORNDÖRFER, G. H.; LARA-CABEZAS, W. A.; HOROWITZ, N. Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. *Sci. Agric. Piracicaba*, v. 56, n. 2, 1999.

LANARV Laboratório Nacional de Referência Vegetal. *Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes - métodos oficiais*. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, Ministério de Agricultura, 1988. 104p.

LEAL, J. R.; VELLOSO, A. C. X. Adsorção de fosfatos em Latossolos sob vegetação de cerrado. *Pesq. Agropec. Bras. Ser Agron.*, v. 8, p. 81-8, 1973.

LEHR, J. R.; McCLELLAN, G. H. A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphathe rocks for direct application. Muscle Shoals. National Fertilizer Development Center, TVA, 1972. 36p.

LUO, A.; ZHU, J.; NDEGWA, P. M. Phosphorus transformations in swine manure during continous and intermittent aeration processes. *ASAE*, v. 44, n. 4, p. 967-972, 2001.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: adubos e adubação. São Paulo, agronômica Ceres, 1981. 596p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas princípios e aplicação. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.

MATHUR, B. S.; DEBNATH, D. Studies on phosphorus in compost charged with rock phosphate. Journal of the Indian Society of Science, v. 31, p. 545-548, 1983.

MAYNARD, A. A. Compost: The process and research. Bulletin 966, July, 2000.

MELLO, F. A. F. O. O fósforo no solo e a adubação fosfatada. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 39p, 1980. MELLO, S. C.; VITTI, G. C. Desenvolvimento do tomateiro e modificações nas propriedades químicas do solo em função da aplicação de resíduos orgânicos, sob cultivo protegido. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 20, n. 2, p. 200-206, junho 2002.

MEY, P.; SAYAG, D.; ANDRE, L. Chemical or microbial solubilization of rock phosphate. Comptes Rendus des Séances de L'Académie d'Agriculture de France, v. 7, p. 81-89, 1986.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; MORAIS, L. A. C. Eficiência de fontes e doses de fósforo na alfafa e centrosema cultivadas em latossolos amarelo. Peq. Agropec. Brás. Brasília, v. 37, n. 10, p. 1459-1466, 2002.

MOREL, C.; FARDEAU, J. C. Agronomical evaluation of phosphaste fertilizer as a nutrient source of phosphorus for crops: Isotopic procedure. Ferti. Res., v. 24, n. 2, p. 115-22, 1990.

MURILLO, J. M.; HERNANDEZ, J. M.; BARROSO, M.; LOPEZ, R. Produccion frente a contaminacion em la utilizacion agrícola de compostos urbanos. Anales de Edafologia y agrobiologia, v. 48, p. 143-160, 1989.

NAHAS, E. Ciclo do fósforo: transformação microbianas. São Paulo: Funep, 1991. 67p.

NEGRO, M. J.; VILLA, F.; AIBAR, J.; ALARCON, R.; CIRIA, P.; CRISTÓBAL, M. V.; De BENITO, A.; GARCIA MARTIN, A.; GRACIA MURIEDAS, G.; LABRADOR, C.;

LACASTA, C.; LEZAUN, J. A.; MECO, R.; PARDO, G.; SOLANO, M. L.; TORNER, C.; ZARAGOZA, C. Producción y gestión del compost. Centro de Técnicas agrárias, Zaragoza, NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solos e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999, 399p.

PEIXOTO, R. T. G. Compostagem: opção para o manejo orgânico do solo. Londrina, IAPAR, 48p., ilustr., 1988.

PEIXOTO, R. T. G. Composto orgânico: aplicações, benefícios e restrições de uso. Hortic. bras., v. 18, 2000, suplemento Julho.

PEIXOTO, R. T. G. Matéria orgânica e a dinâmica das cargas elétricas dos solos: processos e conseqüências. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DOS SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. CD. Rom... Rio de Janeiro: SBCS, EMBRAPA/CNPS, 1997.

PEIXOTO, R. T. G.; ALMEIDA, D. L.; FRANCO, A. A. Efeito do lixo urbano compostado com fosfato natural na nodulação, crescimento e absorção de fósforo em feijoeiro. Pesq. Agropec. Bras., v. 22, n. 11, p. 1117-32, 1987.

PEIXOTO, R. T. G.; DE ALMEIDA, D. L.; FRANCO, A. A. Compostagem de lixo urbano enriquecido com fontes de fósforo. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v. 24(5), p. 599-606, maio 1989.

PRESSIONOTTI, Q. S. H. C.; GUARDANI, R. (Ed.) Tecnologia de produção de fertilizantes. São Paulo: IPT, 1990. p. 95-129.

PROCHNOW, L. I.; CUNHA, C. F.; KIEHL, J. C.; ALCARDE, J. C. Controle da volatilização de amônia em compostagem, mediante adição de gesso agrícola e superfosfatos com diferentes níveis de acidez residual. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v., 25. p. 71-81, 2001.

RAIJ, B. Condições mínimas de eficiência para fosfatos alternativos ao superfosfato. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v. 10, p. 235-39, 1986.

RAIJ, B. ROSAND, P. C.; LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil: apreciação geral, conclusões e recomendações. Doc./EMBRAPA, n. 21, p. 1-326, 1983.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, A.J.; FURLANI, A; M. C. Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100)

RAIJ, B.; Quaggio, J.A. Métodos de análises de solo para fins de fertilidade. Bol. Tec. Inst. Agron. Campinas, n. 81, p. 1-31, 1983.

RODRIGUES, M. S. Resíduos orgânicos como matéria-prima para compostagem. In: SIMPÓSIO SOBRE COMPOSTAGEM, 1., 2004, Botucatu. Ciência e Tecnologia: Anais... Botucatu: Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2004. 1 CD-ROM.

ROSSI, C.; ANJOS, A. R. M.; CAMARGO, M.S.; WEBER, O.L.S.; IMHOFF, S.; MALAVOLTA, E. Efeito residual de fertilizantes fosfatados para o arroz: avaliação do fósforo na planta e no solo por diferentes extratores. Sci. Agric. Piracicaba, v. 56, n.1, 1999.

SANTOS, C. R. S.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, D.R. Efeito do composto do lixo urbano suplementado com fósforo e da inoculação com BRADYRHIZOBIUM em caupi. Rev. Bras. Ciênc. Solo, n. 16, p. 25-30, 1992.

SANTOS, G. A.; CAMARGO F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Porto Alegre: Genesis, 1999. 491p.

SANYAL, S. K.; DE DATTA, S.K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. Adv. Soil Sci., v. 16, p. 1-120, 1991.

SARMENTO, P.; CORSI, M.; DE CAMPOS, F. P.; Resposta da alfafa a fontes de fósforo associadas ao gesso e a calagem. Sci. Agric., v. 58, n. 2 Piracicaba, Apr./June 2001.

SARRUGE, J. R. Soluções nutritivas. Summa Phytopatológico, v. 1, p. 231-3 Piracicaba, 1975.

SCIVITTARO, W. B. Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados fluídos e sólidos. Piracicaba, 1993. 132 p. Dissertação (Mestrado em Ciência/Energia Nuclear na Agricultura) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

SCIVITTARO, W.B.; BOARETO, A. E.; MURAOKA, T. Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados fluídos e sólidos. Rev. Bras. Ciênc. Solo, v. 21, p. 505-511, 1997.

SILVA, L. C. F.; MARAFON, J. R. J.; ELTRAME, J. A.; ARAGÃO, J.A.; ORLANDO FILHO, J. Adubação fluida na cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Bras. Açúcar, v. 106, n. 3, p. 27-32, 1988.

SINGH, C. P. Preparation of high grade compost by an enrichment technique. I. Effect of enrichment on matter decomposition. Biological agriculture and Horticultural, v. 5, p. 41-50, 1987.

SINGH, C. P.; AMBERG, A. Solubilization and availability of P during decomposition of rock enriched straw and urine. Biology Agriculture and Horticulture, v. 7, p. 261-269, 1991.

SINGH, C. P.; AMBERG, A. The effect of rock phosphate-enriched compost on the yield and phosphorus nutrition of rye grass. American Journal of Alternative Agriculture. v. 10, n. 2, p. 82-87, 1995.

SINGH, C. P.; AMBERG, A. Humic substances in straw compost with rock phosphate. Biologocal Wastes, 31, p.165-174, 1990a.

SINGH, C. P.; AMBERG, A. Organic acids and phosphorus solubilization in straw composted with rock phosphate. Bioresource Technology, 63, p. 13-16, 1998.

SINGH, C. P.; RUHAL, D. S.; MAHENDRA SINGH . Solubilization of low grade rock phosphate by composting with a farm waste, Pearl-millet Boobla. Agricultural Wastes, n. 8, p. 17-25, 1983.

SOARES, W. V.; LOBATO, E.; DE SOUZA, D. M. G.; REIN, T. A. Avaliação do fosfato natural de gafsa para recuperação de pastagem degradada em latossolo vermelho-escuro.

Pesq. Agropec. Bras., v. 35, n, 4, Brasília, abr. 2000.

TRYON, C. A. The ecology of algae. University of Pittsburg, 1959.

VILLAS BÔAS, R. L.; PASSOS, J.C.; FERNANDES, M.; BÜLL, L. T.; CEZAR, V. R. S.; GOTO, R. Efeito de doses e tipos de compostos orgânicos na produção de alface em dois solos sob ambiente protegido. Horticultura Brasileira, Brasília, V. 22, n. 1, p. 28-34, jan-mar 2004.

VOLKWEISS, S. J.; RAIJ, B. Retenção e disponibilidade de fósforo em solos. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4., 1976. Brasília. São Paulo, Itatiaia, 1977. p. 317-32. (Coleção Reconquista do Brasil, 38).

WANI, S. P.; SHINDE, P. A. Mineralization of nutrients during biological degradation of wheat straw. Indian Journal of Microbiology, v. 16, p. 61-63. 1976.

WASKMAN, S.A. Soil microbiology. New York: John Wiley, 1963. 165 p.

WIETHÖLTER, S.; DE SIQUEIRA, O. J. F.; PERUZZO, G.; BEN, J. R. Efeito de fertilizantes minerais e organominerais nos rendimentos de culturas e em fatores de fertilidade do solo. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 29, n. 5, p. 713-724, maio 1994.

WONG, M. T. F.; AKEAMPONG, E.; NORTCLIFF, S.; RAO, M. R.; SWIFE, R. S. Initial responses of maize and beans to decreased concentrations of monomeric inorganic aluminium with application of manure or tree prunings to an oxisol in Burundi. Plant Soil, v. 171, p. 275-82, 1995.