

RICARDO NEVES GUIMARÃES

**BIODISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES EM
PROCESSOS DE VERMICOMPOSTAGEM COM
ADIÇÃO DE FONTES DE FÓSFORO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

Orientadora:

Prof.(a) Dr. (a) Virgínia Damin

Co-orientador:

Prof. Dr. Paulo Marçal Fernandes

Goiânia, GO – Brasil
2013

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
GPT/BC/UFG**

Guimarães, Ricardo Neves.

**G963b Biodisponibilização de nutrientes em processos de vermicompostagem com adição de fontes de fósforo [manuscrito] / Ricardo Neves Guimarães. - 2013.
62 f., figs., tabs.**

**Orientadora: Prof^a. Dr^a. Virgínia Damin;
Coorientador: Prof. Dr. Paulo Marçal Fernandes.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, 2013.
Bibliografia.
Inclui lista de tabelas e figuras.**

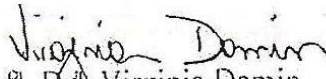
1. Vermicomposto. 2. Fosfato natural. I. Título.

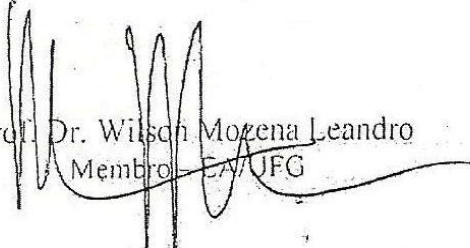
CDU: 631.417.7

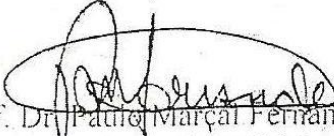
RICARDO NEVES GUIMARÃES

TÍTULO: "Biodisponibilização de nutrientes em processos de vermicompostagem com adição de fontes de fósforo".

Dissertação DEFENDIDA em 27 de março de 2013, e APROVADA pela Banca Examinadora constituída pelos membros:


Prof. Dr. Virginia Damin
Orientadora/Presidente – EA/UFG


Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro
Membro – EA/UFG


Prof. Dr. Paulo Marçal Fernandes
Membro – EA/UFG


Prof. Dr. Itamar Rosa Teixeira
Membro – UEG/Anápolis, GO.

Termo de Ciência e de Autorização para Disponibilizar as Teses e Dissertações Eletrônicas (TEDE) na Biblioteca Digital da UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás–UFG a disponibilizar gratuitamente através da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações – BDTD/UFG, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☒ Dissertação ☐ Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Autor(a):	Ricardo Neves Guimarães		
CPF:	040573026-89	E-mail:	ricardoagroufg@hotmail.com
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? ☒ Sim ☐ Não			
Vínculo Empregatício do(a) Autor(a):			
Agência de fomento:	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	Sigla:	CAPES
País:	Brasil	UF:	GO
CNPJ:			
Título:	Biodisponibilização de nutrientes em processos de vermicompostagem com adição de fontes de fósforo		
Palavras-chave:	Vermicomposto, composto, fosfato natural		
Título em outra língua:	Bioavailability of nutrients in the process of vermicomposting with added phosphorus sources		
Palavras-chave em outra língua:	Vermicompost, compost, rock phosphate		
Área de concentração:	Produção Vegetal		
Data defesa:	27 de março de 2013		
Programa de Pós-Graduação:	Em Agronomia		
Orientador(a):	Dra. Virgínia Damin		
CPF:	217.769.818-98	E-mail:	virginiadamin@gmail.com
Co-orientador(a):	Dr. Paulo Marçal Fernandes		
CPF:	147.763.671-49	E-mail:	pmarta@terra.com.br
Co-orientador(a):			
CPF:		E-mail:	

3. Informações de acesso ao documento:

Liberação para disponibilização:¹ ☒ total ☐ parcial

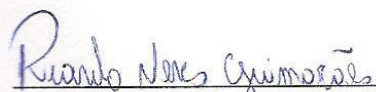
Em caso de disponibilização parcial, assinale as permissões:

☐ Capítulos. Especifique: _____

☐ Outras restrições: _____

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF não-criptográfico da tese ou dissertação.

O Sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.


Assinatura do(a) autor(a)

Data: 25/07/2014.

¹ Em caso de restrição, esta poderá ser mantida por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Todo resumo e metadados ficarão sempre disponibilizados.

A Deus por me fazer acreditar que tudo na vida tem o seu momento, basta confiar.

Aos meus pais Silvio Neves da Silva e Maria Inez Guimarães da Silva, sempre me apoiando e contribuindo de forma efetiva para as minhas conquistas.

Meus irmãos sempre presentes, fazendo minha família forte e unida e isso me traz uma tranquilidade imensurável.

As minhas sobrinhas maravilhosas, que trouxeram luz para nossas vidas.
A minha esposa Ana Carolina e nosso filho Miguel benção na minha vida!

Dedico.

“O temor ao Senhor é o começo da sabedoria;
sábios são aquele que o adoram.
Sua glória subsiste eternamente”

Salmo 110

AGRADECIMENTOS

À minha família, meus pais Silvio Neves da Silva e Maria Inez Guimarães da Silva, eternos educadores, exemplo de perseverança, dedicação, que ensinaram valores que norteiam minha vida.

Aos meus irmãos e sobrinhas por todo apoio e orações, tudo que sempre fizeram por mim.

A minha esposa Ana Carolina Neves Monteiro pela paciência, incentivo, carinho e por suas orações me ajudando de forma tranquila a superar esta importante etapa, e ao nosso filho Miguel presente divino, que alegria trouxe para minha vida.

À Universidade Federal de Goiás por todas as oportunidades a mim proporcionadas.

Ao prof. Dr. Paulo Marçal Fernandes por me acompanhar nesta trajetória desde a graduação, meus sinceros agradecimentos, pela amizade, conselhos, orientações e por todas as oportunidades que me proporcionou durante a vida acadêmica e profissional.

A Prof^a. Dra. Virginia Damin por me orientar e acreditar neste projeto, pela confiança, ensinamentos e por todas as cobranças, que me fazem crescer.

Prof^a. Dra. Gislene Auxiliadora Ferreira por apresentar os caminhos da agroecologia, conselheira, amiga sempre solícita.

Ao Prof. Wilson Mozena Leandro por sua disponibilidade e contribuição para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos amigos que fiz no Centro de Formação Agroecológica de Hidrolândia, que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa, ao ex-prefeito José Lima Cruvinel, Sr. Augustinho e Sr. Dirce, Juliano Santana, Wilian e Leonardo.

A todos amigos de caminhada de graduação Tiago, Lucas, Kanóio, Leonardo, Murilo e pós graduação Alex, Carol, Aurélio, Joseane, Aniela e Welington.

Muito Obrigado!

E uma sincera homenagem ao meu pai que sempre acreditou na educação transformadora; se sou Engenheiro Agrônomo devo a ele.

Ricardo para Refletir

Você é e será para mim um grande vencedor.

Por conta disto não permita em sua existência, vida, trabalho, atitudes como:

Acomodação, passividade, mansidão, niilismo, anulação, resignação, nem conformismo ou servilismo.

Pelo contrário, incorpore no dia-dia atitudes como:

Esforço, luta, coragem, ousadia, equilíbrio. Amar a vida, amor aos outros, amor a Deus.

Tenha fé, fé em si mesmo, nos homens sobre tudo em Deus.

Não abra mão, não faça concessões de suas crenças e convicções.

Cante, dance, toque. Seja alegre e alegre sempre o ambiente de seu trabalho e vida.

Amo você, acredito em você.

Espero vê-lo gritar. Eu venci venci por mim mesmo.

Silvio Neves da Silva.

SUMÁRIO

	LISTA DE TABELAS.....	10
	LISTA DE FIGURAS.....	11
	RESUMO.....	12
	ABSTRACT	13
1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	FÓSFORO EM SOLOS DO CERRADO.....	16
2.2	EQUILÍBRIO DA MATÉRIA ORGÂNICA NA DINÂMICA DO FÓSFORO.....	18
2.3	FERTILIZANTES FOSFATADOS.....	20
2.4	FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS.....	23
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1	IMPACTO DOS TRATAMENTOS NA BIOTA OS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS.....	30
4.2	MASSA SECA DOS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS.....	32
4.3	TEORES DE CARBONO, NITROGÊNIO, MO, RELAÇÃO C/N E PORCENTAGEM DE N QUE SOBROU EM RELAÇÃO AO COLOCADO NO INÍCIO DA PESQUISA DOS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS.....	33
4.4	VALORES DE PH NOS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS.....	38
4.5	TEORES E PORCENTAGEM DE FÓSFORO QUE SOBROU EM RELAÇÃO AO COLOCADO NO INÍCIO DA PESQUISA NOS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS.....	40
4.6	TEOR E PORCENTAGEM DE ENXOFRE QUE SOBROU EM RELAÇÃO AO COLOCADO NO INÍCIO DA PESQUISA NOS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS.....	47
4.7	TEORES DE POTÁSSIO, CÁLCIO, MAGNÉSIO E PORCENTAGEM DE CÁLCIO QUE SOBROU EM RELAÇÃO AO COLOCADO NO INÍCIO DA PESQUISA NOS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS.....	50
5	CONCLUSÕES.....	55
6	REFERÊNCIAS.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Característica químicas do esterco bovino pré-compostado.....	29
Tabela 2.	Porcentagem de fósforo (P_2O_5) em fontes utilizadas no processo de vermicompostagem e compostagem.....	29
Tabela 3.	Peso das minhocas nos processos de vermicompostagem.....	30
Tabela 4.	Carbono da Biomassa microbiana nos fertilizantes organominerais.....	31
Tabela 5.	Massa seca nos fertilizantes organominerais.....	33
Tabela 6.	Teor de C, MO, N e relação C/N nos fertilizantes organominerais.....	34
Tabela 7.	Porcentagem de Nitrogênio que sobrou em relação ao colocado no início da pesquisa.....	37
Tabela 8.	pH dos fertilizantes organominerais.....	39
Tabela 9.	Teor de fósforo solúvel em água, em ácido cítrico e P-total nos fertilizantes organominerais.....	40
Tabela 10.	Porcentagem de P em água, ácido cítrico e total que sobrou em relação ao colocado no início da pesquisa.....	43
Tabela 11.	Teor de enxofre nos fertilizantes organominerais.....	48
Tabela 12.	Porcentagem de Enxofre que sobrou em relação ao colocado no início da pesquisa nos fertilizantes organominerais.....	49
Tabela 13.	Teores de potássio, cálcio e magnésio nos fertilizantes organominerais.	50
Tabela 14.	Porcentagem de Cálcio que sobrou em relação ao colocado no início da Pesquisa nos fertilizantes organominerais.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1A.	Distribuição do esterco para pré-compostagem.....	27
Figura 1B.	Homogeneização e oxigenação do esterco.....	27
Figura 1C.	Peneiração do esterco pré-compostado.....	27
Figura 1D.	Peneiração dos fertilizantes fosfatados.....	27
Figura 1E.	Pesagem do fertilizante fosfatado.....	27
Figura 1F.	Homogeneização dos tratamentos.....	27
Figura 1G.	Contagem das minhocas para inoculação.....	27
Figura 1H.	Inoculação das minhocas.....	27

RESUMO

GUIMARÃES, R. N. **Biodisponibilização de nutrientes em processos de vermicompostagem com adição de fontes de fósforo.** 2013. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.¹

Produzir organominerais enriquecidos com fosfatos naturais pode elevar a solubilidade do fósforo minimizando a dependência de fertilizantes fosfatados acidulados. Objetivou-se com esta pesquisa avaliar a biodisponibilização de nutrientes decorrente dos processos da compostagem e vermicompostagem. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 3 com 5 repetições, sendo os fatores as fontes de P (1- superfosfato simples amoniado, 2- fosfato natural de Itafós, 3- fosfato natural de Araxá e 4 - termofosfato Yoorin) e o modo de incorporação das fontes de P com a fração orgânica: 1- Vermicomposto com adição das fontes de P no início do processo da vermicompostagem (VPI), 2 - Vermicomposto com adição das fontes de P no final do processo de vermicompostagem (VPF) e 3 - Composto sem minhocas com adição das fontes de P no início do processo da compostagem (CP). Foram avaliados: peso das minhocas, biomassa microbiana, massa seca, carbono total, N, relação C/N, pH, P em água, ácido cítrico, total, S, K,Ca, Mg. Além de porcentagem de N, P em água, ácido cítrico, total, S e Ca que sobrou em relação ao colocado no início da pesquisa. Os resultados obtidos indicam que a fonte acidulada super simples na dose de 6 kg ⁻¹ não é indicada para os processos de compostagem e vermicompostagem. Nos vermicompostos, o fosfato natural de Itafós garantiu maiores valores de C-BM. A compostagem foi eficiente na disponibilização de nutrientes. Adição das fontes de fósforo após o processo de vermicompostagem elevou a solubilidade de fósforo em ácido cítrico e em água para os fosfatos naturais de Araxá e Itafós.

Palavras-chave: vermicomposto, composto, fosfato natural.

¹ Orientadora: Prof^a. Dra. Virgínia Damin. EA-UFG.

Co-Orientador: Prof. Dr. Paulo Marçal Fernandes. EA-UFG

ABSTRACT

GUIMARÃES, R. N. Bioavailability of nutrients in the process of vermicomposting with added phosphorus sources. 2013. 62 f. Dissertação (Master in Agronomy: Crop Production) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.¹

Produce biofertilizers enriched with natural phosphates may increase the solubility of phosphorus minimizing the dependence of acidulated phosphate fertilizers. The objective of this research was to evaluate the bioavailability of nutrients due to the processes of composting and vermicomposting. The experimental design was completely randomized in a factorial 4 x 3 with 5 repetitions, the factors being the sources of P (1 - ammoniated superphosphate, 2 - rock phosphate Itafós 3 - Araxá rock phosphate and 4 - thermophosphate Yoorin) and the method of incorporating phosphorus sources with the organic fraction : 1 - worm compost with addition of P sources at the beginning of the process of vermicomposting (VPI) 2 - worm compost with addition of P sources at the end of vermicomposting process (VPF) and 3 - Compound earthworms with no addition of P sources at the beginning of the composting process (CP) . Were evaluated: weight of earthworms, microbial biomass dry weight, total carbon, N, C / N ratio, pH, Q water, citric acid, total S, K, Ca, Mg. In addition to percentage of N, P, water, citric acid, total S and Ca is left in place in relation to the start of the research. The results indicate that the source acidulated super simple at a dose of 6 kg⁻¹ is not indicated for the processes of composting and vermicomposting. In vermicomposting, the rock phosphate Itafós secured higher values of C-BM. The compost was effective in providing nutrients. Addition of phosphorus sources after the vermicomposting process increased the solubility of phosphorus in citric acid and water for phosphates and Araxá Itafós.

Key words: vermicompost, compost, rock phosphate.

¹ Adviser: Prof^a. Dra. Virgínia Damin. EA-UFG.

Co-Adviser: Prof. Dr. Paulo Marçal Fernandes. EA-UFG

1 INTRODUÇÃO

As florestas nativas do cerrado se adaptaram e desenvolveram estratégias para absorção de fósforo ciclando este nutriente da fitomassa independente da ação antrópica. Com a derrubada da mata nativa, foram implantados cultivos comerciais importando insumos e tecnologias, visando retorno imediato, o que resultou na exploração do solo de forma predatória.

Dentre os insumos necessários para garantir adequada produção agrícola no Cerrado, pode-se destacar os fertilizantes fosfatados, devido à deficiência natural do fósforo (P) nos solos do bioma como também a alta capacidade destes solos de adsorção do fósforo, sendo requeridas doses muito elevadas do nutriente na adubação, embora seja consumido em baixas quantidades pelas culturas (Malavolta, 1989). As fontes mundiais de P são finitas e não renováveis, sendo os fertilizantes solúveis produzidos pelo ataque ácido da rocha fosfática. No Brasil, cerca de 50% dos fertilizantes fosfatados utilizados são importados e, para produção desses fertilizante no país, importa-se enxofre. Dessa forma, o sucesso da agricultura nacional, no modelo que está estabelecido, é dependente de insumos externos.

Além dos problemas políticos e econômicos associados ao uso de fertilizantes fosfatados acidulados, resíduos ambientais são gerados durante a produção destes fertilizantes, ocasionando problemas ambientais relacionados ao descarte incorreto dos resíduos produzidos. Considerando que o atual modelo agrícola comercial preconiza a elevação de doses de adubos fosfatados, como solução para limitação de P nos solos, espera-se a intensificação dos problemas descritos. Neste cenário, o investimento do Brasil em pesquisas relacionadas a compreensão da dinâmica do fósforo nos agroecossistemas e as alternativas ao uso de ácidos inorgânicos na fabricação destes fertilizantes é relevante e estratégico, quando se vislumbra a independência do país por insumos externos e a produção agrícola sustentável.

Buscar fontes alternativas de adubação fosfatada se faz necessário, pois a utilização dos fosfatos naturais reduz o custo de produção (Braga et al., 1991). No entanto necessita de condições específicas para sua solubilização.

Uma alternativa que tem sido preconizada, visando aumentar a solubilidade da rocha fosfática e, concomitantemente, reduzir a fixação de P no solo, é a produção de

fertilizantes organominerais. Associar os processos da compostagem e vermicompostagem aos fosfatos naturais resulta em fertilizantes organominerais com elevado potencial agronômico. O processo da vermicompostagem utiliza ação fragmentadora das minhocas e micro-organismos alojados no seu trato intestinal, decompondo a matéria orgânica, solubilizando nutrientes em ciclos menores, ao contrário do processo de compostagem que possui ciclo mais longo de decomposição da matéria orgânica. Grande parte dos estudos envolvendo vermicompostagem se desenvolveu em pesquisas laboratoriais, utilizando baixos teores de resíduos (Suthar, 2010).

A biosolubilização de fosfatos natural é uma técnica que necessita de aprimoramento, podendo ser desenvolvida utilizando resíduos orgânicos que possibilitem o desenvolvimento e proliferação de micro-organismos, que produzirão excrementos (enzimas, ácidos orgânicos) que auxiliam no processo de solubilização de P (Vassileva et al., 2010).

Nesse contexto, objetivou-se avaliar a biodisponibilização de nutrientes decorrentes dos processos da compostagem e vermicompostagem, verificando se a passagem de fontes de fosfatos naturais pelo trato digestivo de minhocas aumenta a sua solubilidade e disponibilização de P.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FÓSFORO EM SOLOS DO CERRADO

Na década de 1970, o governo federal promoveu a abertura de áreas agrícolas fomentando a exploração agrícola dos cerrados, e consequentemente elevando a demanda por adubos fosfatados (Lopes & Guilherme, 2009). Com a modernização agrícola, a vegetação nativa bem adaptada a baixos níveis de P disponível foi substituída por cultivares com altas demandas nutricionais.

Cultivos foram implantados nestes solos com limitações nutricionais, reduzindo a produtividade e necessitando de fontes externas de fósforo. Cada cultura possui uma particularidade para absorção de P. Portanto manejar corretamente o solo e implantar culturas eficientes na ciclagem de nutrientes são algumas estratégias que podem ser adotadas visando a sustentabilidade agrícola (Tiecher et al., 2012).

Diversos fatores estão envolvidos na dinâmica do fósforo no solo, entre eles pode-se citar o teor de argila, labilidade do P, pH, matéria orgânica, além inúmeras reações químicas do P com minerais do solo deixando este mineral indisponível para as culturas. Para Raij (1991) em solos ácidos os minerais de fósforo mais abundantes são, strengita $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e variscita $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. A forma predominante de P é o íon H_2PO_4^- , porém este elemento realiza fortes ligações na fase sólida do solo com óxidos de ferro, alumínio, caulinita e matéria orgânica, que são influenciadas pelo pH e minerais existentes na fração argila. Em decorrência destas reações o P pode ser classificado como fósforo em solução, P lábil ou não lábil, sendo este último mais abundante, porém de lenta e complexa solubilização. As plantas absorvem o P da solução do solo, na qual se encontra em concentrações muito baixas (Creste, 2004).

Solos que possuem abundância de óxidos de Fe e Al, associado a baixos teores de pH favorecem reações formando cargas positivas atraindo íons fosfatos, adsorvendo-os e indisponibilizando P (Morais Sá, 2004). Podendo ainda ocorrer reações do P com outros íons ou moléculas em ligações monodentadas, bidentadas e bionucleadas (Parfitt, 1978).

Nos latossolos do cerrado para reduzir a elevada adsorção do íon fosfato, o pH se torna um fator determinante, podendo minimizar as interações do P com solo. Para compreender a dinâmica do fósforo faz-se necessário analisar as características

mineralógicas do solo ajustando os teores de pH que auxiliam na disponibilização de P. Sato & Comerford (2005), em estudo sobre a influência do pH do solo na adsorção e dessorção de fósforo, evidenciaram que práticas simples como a calagem podem elevar a disponibilidade de fósforo para regiões que possuem reduzida disponibilidade de P. Verificaram que o fenômeno da dessorção pode contribuir para liberação de P para diversas culturas. Neste estudo quando o pH do solo foi elevado de 4,7 para 5,9 e 7,0, adsorção de fósforo reduziu em até 34 %.

Souza et al. (2007) consideram que a fosfatagem é comprometida quando Fe e Al estão presentes na fase líquida do solo, sendo que estes metais podem precipitar o fósforo que foi adicionado. A elevação do pH por meio da calagem aumenta o pH do solo, produzindo hidroxilas que precipitam Fe e Al e assim a precipitação de fósforo com estes dois elementos será reduzida.

A escassez de fósforo nos solos associado aos baixos teores de umidade e sistemas radiculares limitados contribuem para os excessos na adubação fosfatada, portanto deve-se atentar para estruturação química e física do solo permitindo maior desenvolvimento radicular e absorção eficiente de P.

Em decorrência dos reduzidos teores de P nos solos e baixa mobilidade dos íons fosfato, necessita-se estimular o desenvolvimento radicular, aumentar o volume de pelos absorventes elevando a absorção de P (Fernandes, 2006).

A difusão é o principal mecanismo de absorção de P, e para que este fenômeno ocorra de forma satisfatória é essencial a manutenção da umidade do solo. A água participa no processo de difusão, não solubilizando fosfatos, função que é desempenhada por micro-organismos e raízes, estes solubilizam o fosfato liberando ácido orgânico no solo, dissolvendo elementos químicos que nutrem e participam de processos vitais no desenvolvimento e produção das culturas (Fernandes et al., 2010).

Costa (2008) verificou por meio de estudo do fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo, que se faz necessário conhecer os mecanismos envolvidos na interação solo-planta, que determinam a absorção do nutriente pela planta, para adoção de práticas de adubação em função das doses que serão aplicadas. A morfologia, a fisiologia do sistema radicular, estrutura do solo, a microbiota da rizosfera, transporte de nutrientes são fatores diretamente relacionados à absorção de fósforo pela planta. Para o referido autor a difusão é o mecanismo mais expressivo do transporte do

fósforo no solo e depende de vários fatores, como distância do mineral às raízes, interação fósforo-colóide, conteúdo volumétrico de água e temperatura.

Um outro fator observado em regiões de elevadas precipitações é o escoamento superficial e a formação de processos erosivos, sério problema que deve ser solucionado, evitando-se o carreamento de P. Altas doses de fertilizantes fosfatados e investimentos são perdidos em solos mal manejados, causando prejuízos com a contaminação de importantes recursos hídricos (Parfitt et al., 2008).

Para entender a dinâmica do fósforo nos solos do cerrado é necessário conduzir ensaios de longa duração, visto que a busca por resultados imediatistas fornece conclusões limitadas. Um conjunto de fatores deve estar associado na busca da eficiência da adubação fosfatada e do uso do P, tais como: práticas com o manejo adequado da fonte de P, modo de aplicação, recomendações adequadas de adubação fosfatada, sistema de preparo do solo, espécies de plantas cultivadas, rotação de culturas, acidez do solo, efeito residual. Poranto, é necessário um planejamento como um todo (Martinhão et al., 2004).

2.2 EQUILÍBRIO DA MATÉRIA ORGÂNICA NA DINÂMICA DO FÓSFORO

De acordo com Martinhão & Lobato (2004), todos os seres vivos necessitam de fósforo para suas atividades metabólicas, porém este é um recurso natural finito e para encontrar formas eficientes para sua utilização necessita-se de estudos aprofundados. Este nutriente exerce funções vitais nas células vegetais e está presente nas atividades fotossintéticas e respiratórias, intermediadas por fosfato açúcares e constituindo membranas vegetais com fosfolipídios. Compõe os ácidos nucléicos e nucleotídeos em reações que abrangem o ATP (Taiz & Zeiger, 2006).

Elevadas quantidades de H_2PO_4^- estão presente no vacúolo vegetal, componente que perfaz 90% do conteúdo celular. O rompimento do vacúolo celular disponibilizará o fósforo presente na matéria orgânica e a solubilização gradativa deste nutriente favorece o desenvolvimento de culturas posteriores em cultivos como plantio direto (Giacomini et al., 2003).

Quando se eleva a matéria orgânica do solo novas reações químicas são produzidas com P, melhorando sua assimilação para os vegetais além de deixá-lo protegido reduzindo o contado direto do fósforo com os metais do solo (Kiehl, 2008). O fósforo se encontra presente no solo nas formas inorgânicas e orgânicas. De 30 a 70% do P total se

encontra como fósforo orgânico. Os micro-organismos dependem do P da matéria orgânica para respirar e posteriormente mineralizar o fósforo orgânico reduzindo a sua imobilização e disponibilizando P para as culturas. A contribuição do fósforo orgânico em solos de cerrado pode ser de grande valia, por estes serem considerados como dreno. Assim, a intensa destruição da matéria orgânica tornará estes solos dependentes de doses crescentes de insumos fosfatados externos (Novais et al., 2007).

As formas mais comuns de P orgânico são os fosfatos de inositol correspondendo 30 a 50% do P orgânico total, ácidos nucleicos e nucleotídeos 3 a 5%, além do fosfolipídio, podendo estar disponíveis para as culturas (Siqueira et al., 2004).

A fosfatase é uma das principais enzimas responsáveis pelo processo de mineralização do P orgânico que atua hidrolisando ésteres fosfatos. Fatores como teores de fósforo, matéria orgânica, e pH do solo podem interferir na atividade enzimática (Siqueira et al., 2004).

Taiz & Zeiger (2006) afirmam que a mineralização, degradação da matéria orgânica por micro-organismos são dependentes de um ambiente favorável. O solo ou substrato deverá ter quantidades suficientes de umidade, aeração, para o desenvolvimento e ação de micro-organismos específicos.

A imobilização do P é outro fenômeno importante para o armazenamento do fósforo e sua posterior liberação para as culturas. Os restos culturais ricos em carbono e escassos em fósforo fornecem energia para atividades vitais e multiplicação de micro-organismos. Sendo que, nestes restos orgânicos a deficiência em P induzirá a imobilização de P da solução do solo pela microbiota do solo (Novais & Smith, 2007).

Carneiro et al. (2004) estudando indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional, verificaram que no cerrado nativo a biomassa microbiana derivada da serrapilheira acumula P disponível, com elevada atividade da fosfatase ácida reciclando P para as plantas, indicando a importância da manutenção da matéria orgânica. O plantio direto quando bem conduzido, elevou a matéria orgânica, reduzindo a desestruturação do solo elevando o estoque e mobilidade de fósforo por meio da biomassa microbiana.

A biomassa microbiana é uma importante reserva de P proveniente da matéria orgânica, tornando-se uma fonte alternativa de fósforo para os vegetais e o solo. Em uma floresta tropical existem aproximadamente 240 kg ha⁻¹ de fósforo, com 80% do P presente nos resíduos vegetais, mineralizados e acumulado em micro-organismos que

posteriormente são disponibilizados para vegetação. O fósforo depois do carbono é o nutriente mais encontrado na matéria orgânica do solo, em consequência da alta porcentagem de fósforo presente nos micro-organismos, constituindo 2% da matéria seca das bactérias (Siqueira et al., 2004).

2.3 FERTILIZANTES FOSFATADOS

No Brasil, os fertilizantes fosfatados acidulados predominam no processo agrícola convencional com elevada tecnologia. Os fosfatos naturais, termofosfatos, adubação orgânica possuem uso restrito, ocupando espaços crescentes em cultivos orgânicos.

O modelo agrícola implantado nos países europeus e América do Norte influenciaram a agricultura brasileira assim como as indústrias produtoras de adubos fosfatados. Os fosfatos naturais de origem magmáticas são predominantes no território nacional, ao contrário das fontes sedimentares de maior abundância em países de clima temperado. A falta de planejamento e a prioridade em produzir fontes fosfatadas aciduladas, além de onerar os custos da logística industrial, traz consequências ambientais graves com os resíduos gerados (Oba, 2009).

As fontes mundiais de P são recursos finitos. Estima-se que as reservas de P mineral do mundo são suficientes para cerca de mais 80 a 100 anos, enquanto o P retido nos solos agrícolas seria suficiente para 100 anos de cultivo, se fosse possível mobilizar esta reserva para uso das plantas (Siqueira et al., 2004).

Para Silva & Giulietti (2010), com o super fosfato simples deu-se início a produção de fertilizantes fosfatados no Brasil, no início dos anos 50. Para a produção deste adubo acidulado, a rocha fosfática recebe o ataque de ácido sulfúrico. A crescente demanda de ácido fosfórico causa impactos na produção agrícola, pois doses maciças estão sendo utilizadas e a importação de fertilizantes eleva o custo de produção. Outro fator importante são os resíduos gerados na produção destes fosfatos causando sérios impactos ambientais.

Para caracterizar os fertilizantes fosfatados deve se considerar a quantidade de P_2O_5 total além de sua solubilidade em ácido cítrico (2%), água e citrato neutro de amônia. A solubilidade em água e ácido cítrico indica a disponibilidade de P_2O_5 , e a forma que pode ser prontamente assimilável pelas culturas (Raji, 1991).

Os fertilizantes fosfatados acidulados super simples (SSP) e o fosfato parcialmente acidulado (SPA) são caracterizados como fertilizantes solúveis de reduzida concentração obtidos mediante longos processos químicos do ácido sulfúrico adicionado a estrutura mineral rica em fósforo. Há também outra classe de fertilizantes fosfatados de elevada solubilidade e concentração, resultantes de reações químicas entre a rocha fosfática e o ácido fosfórico, sendo o produto resultante rico em P_2O_5 , estes fertilizantes são: Monoamônio Fosfato (MAP), Super Fosfato Triplo (TSP), Triamônio Fosfato (TAP) (Chaves, 2010).

Ao se aplicar no solo 100 kg de um adubo fosfatado de elevada solubilidade, apenas 5 kg podem ser absorvidos pelos vegetais, pois as reações com Al, Fe e Mn tornam o P insolúvel (Kiel, 2008).

O ácido sulfúrico empregado com objetivo de elevar a solubilidade do fósforo é produzido a partir do enxofre, que na maior parte dos casos é importado, havendo dependência quase integral do enxofre importado. No Brasil as reservas de rocha fosfática se concentram em sua maioria nos Estados de Minas Gerais com 67,9% e Goiás com 13,8%. Portanto, há um oligopólio que domina a produção de fosfato no Brasil, controlando a oferta do produto (Luz et al., 2010).

Fernandes (2006), avaliando fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado, verificou-se a necessidade do uso eficiente de fertilizantes fosfatados. Culturas exigentes em P requerem elevadas doses de adubo, aumentando os custos na aquisição de insumos. As principais fontes de adubos fosfatados no Brasil possuem alta solubilidade como superfosfato triplo, havendo assim uma necessidade de associar o manejo com fontes de adubação para minimizar os custos de produção.

Para preconizar o uso de fontes alternativas de fósforo é necessário estudos de longa duração, pois há diferenças entre os fosfatos naturais importados (fosfatos reativos, de origem sedimentar) e os nacionais (fosfatos de baixa reatividade, de origem ígnea ou metamórfica). Algumas fontes de fosfatos naturais podem ter resultados similares a fontes solúveis.

No Brasil a formação geológica predominante de rochas fosfatadas são de origem ígneas e restritas áreas com formações fosfatadas sedimentares. As rochas fosfatadas são constituídas por apatitas e fosforitas, as primeiras originadas de erupções vulcânicas, de ocorrência no Brasil central, são fosfatos de cálcio constituídos por OH, F,

Cl. As fosforitas, fosfatos de cálcio provenientes de deposições sedimentares são comuns nas regiões da África, Estados Unidos, Oriente Médio. Nestas os compostos de CO_3^{2-} substituem parcialmente os composto de PO_4^{3-} (Lopes et al., 2004).

Vários fatores colaboram para crescente demanda na utilização dos fosfatos naturais como expansão agrícola, escassez de P nos solos agricultáveis, exploração de jazidas em diversos Estados. Para melhor eficiência agrônômica dos fosfatos naturais diversas estratégias podem ser adotadas como: cultivos em ambientes ácidos com fornecimento de H^+ , revolvimento do solo com deslocamento dos fosfatos, período de reatividade com solo, culturas de ciclo longo, além da acidificação da rizosfera por diversas culturas (Souza et al., 2007).

Os fosfatos de rocha contrapondo as fontes aciduladas possuem valores acessíveis aos agricultores. Porém devem se intensificar as pesquisas diagnosticando fontes mais eficientes, modos de aplicação e solubilização destas rochas de elevada potencialidade (Pacheco et al., 2012).

Um fator que deve ser observado para utilização e disponibilização do uso de fosfatos naturais é a escolha da cultura a ser implantada. As Fabáceas são mais exigentes em cálcio e possuem a capacidade de acidificar a rizosfera, sendo, portanto plantas eficientes no aproveitamento de fósforo proveniente de fosfato natural (Novais & Smith, 1999).

Faria (2006), estudando produção orgânica, verificou que cucurbitáceas calcíferas como o meloeiro possuem características de acidificação da rizosfera colaborando para absorção de fosfatos naturais. Em cultivos orgânicos onde não são permitidos a utilização de fosfatos acidulados é promissora a utilização de fontes alternativas de fosfatos.

Guedes et al. (2009) verificaram que aplicação do fosfato natural de Arad em *Brachiaria brizantha*, aumentou a produção de massa seca, parte aérea, raízes e perfilhamento. A maior eficiência do fosfato natural ao longo do período experimental comprova o efeito residual benéfico a médio e longo prazo e a sua importância para as gramíneas. Os fosfatos naturais de baixa reatividade como os apatíticos brasileiros podem ser manejados próximo ao sistema radicular imobilizando o fosfato, reduzindo seu contato com o solo e consequentemente a adsorção (Novais, 1999).

De acordo com Loureiro & Neto (2009), nos latossolos, diferentes estratégias de manejo podem ser adotadas buscando a eficiência na adubação fosfatada. Os fosfatos

naturais quando aplicados em área total podem suprir parcialmente a necessidade de fósforo das culturas, com efeito gradativo. Para um arranque inicial das plantas, fontes de fosfato aciduladas são recomendadas para os sulcos de cultivo. Os mesmos autores ressaltam que a solubilização de fosfatos naturais pode ser mais eficiente em solos ácidos.

Outra alternativa de fertilização fosfatada refere-se ao uso de termofosfatos, adubos fosfatados de elevada eficiência agronômica, obtidos industrialmente por meio da fusão do fosfato natural e silicatos de magnésio. O superaquecimento da rocha fosfática é a forma utilizada para deixar o P mais solúvel, facilitando sua absorção pelo sistema radicular. Os termofosfatos se tornam mais eficientes quando adicionados em solos com pH reduzido, resíduo vegetal, estrutura granulométrica em forma de pó. São insolúveis em água e apresenta elevada solubilidade em ácido cítrico a 2%. O termofosfato Yoorin possui 18% de P_2O_5 total, destes 92% estão disponíveis, se tornando importante fonte de P em curto e longo prazo (Souza & Yasuda, 2009).

2.4 FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS

Conforme Kiehl (2008), associar adubos minerais a fontes orgânicas é uma prática comum na produção agrícola e tem como denominação adubação organomineral. Esta técnica agrega o húmus resultante da decomposição da matéria orgânica aos minerais, produzindo adubo com elevada eficiência agronômica.

Organominerais são adubos menos concentrados em macronutrientes primários, produzidos em conjunto com adubos orgânicos, fato que contribui para disponibilização dos nutrientes para as culturas. O material orgânico presente nestes adubos eleva estruturação física, química e biológica do solo, proporcionando eficiente retenção mineral e crescimento vegetal (Melo Junior et al., 2012).

Benedito et al. (2010) atestaram a eficiência agronômica de compostos organominerais obtidos pelo processo Humifert. Neste processo associa-se turfa, matéria orgânica de elevada capacidade de retenção de água aos resíduos de fosfatos ricos em P, produzindo um adubo organomineral. Este material tem um alto potencial como fonte de adubação fosfatada de liberação gradativa, de menor custo e baixo impacto ambiental.

Outra alternativa é potencializar a utilização de resíduos animais pela vermicompostagem e compostagem. Esta adubação organomineral pode biosolubilizar nutrientes essenciais para o desenvolvimento das culturas.

A compostagem se caracteriza pela ação aeróbia dos microorganismos em fases distintas sobre os resíduos orgânicos. A etapa termofílica ocorre em temperaturas variando de 45 a 70 °C, possibilitando assim uma sanitização de resíduos orgânicos e degradação de estruturas orgânicas simples. A estabilização da compostagem ocorre na etapa mesofílica, sendo um processo longo, havendo degradação de estruturas orgânicas complexas, extinguindo a fitotoxidade do composto. A vermicompostagem necessita de temperaturas entre 25 e 40 °C, pH neutro e umidade entre 70 a 90% (Fornes et al., 2012).

Vermicompostagem e compostagem são processos de biodegradação da matéria orgânica porém com fases distintas. Associar os processos de compostagem com posterior vermicompostagem pode reduzir o período de estabilização da matéria orgânica, além de sanitizar o material vermicompostado (Lazcano et al., 2008).

Para Suthar (2008), durante a vermicompostagem as minhocas agem como fragmentadoras de matéria orgânica, triturando os resíduos que passam por seu trato digestivo, provocando alterações físicas, químicas e biológicas. Ao contrário da compostagem em que ocorre uma degradação bioquímica da matéria orgânica, por meio de micro-organismos específicos e processos enzimáticos. Na produção do vermicomposto há uma relação mutualística entre as minhocas e os microorganismos. E estes anelídeos trituram e homogeneizam o substrato, criando condições favoráveis para colonização de fungos e bactérias, finalizando o processo da vermicompostagem, reduzindo paulatinamente a relação carbono nitrogênio (C:N).

O processo de vermicompostagem possui ciclos mais curtos comparando-se a compostagem e a biodisponibilização de nutrientes pode ser potencializada pelas minhocas. As minhocas são dotadas de um sistema digestivo eficiente, o seu muco intestinal possui enzimas digestivas e micro-organismos que atuam sobre a mineralização do P tornando este macronutriente disponível para as plantas. Além disso, sua pele excreta substâncias que associadas ao material dejetado enriquecem os vermicompostos (Bayon & Binet, 2006).

Em estudo de crescimento de plantas de milho pela adição de vermicomposto enriquecido ou não com fosfatos e gesso, Alvarez et al. (2004) observaram que a vermicompostagem do esterco de curral não resulta em resíduo orgânico de melhor qualidade fertilizante. Porém, a adição de fosfato de Araxá e gesso ao esterco de curral, no momento da vermicompostagem, proporcionaram um resíduo de melhor qualidade fertilizante, aumentando a disponibilidade de fósforo para a cultura do milho.

Wei (2012) obteve bons resultados na produção de vermicomposto enriquecido com esterco de gado, fosfatos naturais e palha de arroz. A adição de fosfato de rochas durante a vermicompostagem solubilizou parte do P, elevando teores de N, K e Mg, reduzindo a relação C:N. Acréscimos de nutrientes não ocorreu em tratamento em que não foram adicionadas minhocas. Segundo o autor a maior concentração de P disponível foi encontrada em vermicompostagem com a adição de fosfato natural.

Fontes alternativas de adubação fosfatadas devem ser mais pesquisadas. O fósforo é um dos nutrientes que merecem mais atenção para a produção agrícola nos solos da região do cerrado onde a disponibilidade desse elemento, em condições naturais, é muito baixa. Esse é um dos investimentos mais altos para prática da agricultura comercial nesses solos (Sousa & Lobato 2004). O fósforo é um nutriente essencial para todos os seres vivos, sendo os fosfatos, sua fonte na natureza, um recurso natural não renovável (Lopes, 1998). Os organominerais produzidos por processos da vermicompostagem e compostagem nutrem o solo quimicamente além de contribuir para estruturação físicas e biológicas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Centro de Formação Agroecológico de Hidrolândia-GO (16°35'47"S e 49°16'47"W, 730 m). Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 3, sendo quatro fontes de P (1- superfosfato simples amoniado, 2- fosfato natural de Itafós, 3- fosfato natural de Araxá e 4- termofosfato Yoorin) e três modos de incorporação das fontes de P no processo de produção dos fertilizantes organominerais: 1- Vermicomposto produzido com a adição das fontes de P no início do processo da vermicompostagem (VPI), 2- Vermicomposto produzido com a adição das fontes de P no final do processo de vermicompostagem (VPF) e 3- Composto, não vermicompostado, produzido com adição das fontes de P no início do processo da compostagem (CP). Cada tratamento constou de cinco repetições, totalizando sessenta parcelas.

Para produção dos vermicompostos, foram utilizadas minhocas vermelhas da Califórnia *Eisenia foetida*, as quais foram escolhidas por possuírem alta capacidade de procriação e de conversão de esterco em vermicomposto. O esterco utilizado para produção do vermicomposto e composto foi proveniente de curral de vacas leiteiras criadas semi-extensivamente.

Antes de iniciar os processos de vermicompostagem e compostagem, foi necessário pré-compostar o esterco. Para tanto, distribuiu-se o esterco em galpão concretado (Figura. 1A), procedendo-se a homogeneização, com auxílio de enxada, e o umedecimento a 100 % da máxima capacidade de retenção de água, retirando todo excesso de chorume. A pilha de esterco foi revirada semanalmente para oxigenação, até a estabilização do esterco pré-compostado (Figura. 1B), que ocorreu 28 dias após o início da pré-compostagem, quando o material se encontrava sem odor e com coloração escura.

O esterco pré-compostado foi homogeneizado e passado em peneira com malha de 2 mm (Figura 1C). Antes da adição das fontes de P, sub-amostras foram coletadas para análise química (Tabela 1). Os fosfatos de Itafós, fosfatos de Araxá, e termofosfato Yoorin foram peneirados, em peneira de malha de 1 mm (Figura 1D) e pesados em seguida (Figura 1E). O adubo super simples amoniado foi moído em desintegrador e posteriormente peneirado, conforme descrito para as demais fontes de P.

Realizou-se a análise química dos fertilizantes fosfatados para quantificação dos teores totais e disponíveis de P (Tabela 2), segundo metodologia descrita por Alcarde et al., (2009). Para a homogeneização das fontes de fósforo com o esterco pré-compostado, utilizou-se um tambor rotativo de eixo descentralizado de 80 kg. Neste foram colocados 20 kg⁻¹ do esterco pré-compostado e 6 kg⁻¹ das respectivas fontes de fosfatos (Figura. 1F). A adição de 2% a 5% de fosfato natural é recomendada para reduzir as perdas de nitrogênio e aumentar o nível de fósforo (P₂O₅) de compostos orgânicos (Campos et al., 2004).

Após a homogeneização, o material foi distribuído em parcelas retangulares, feitas em alvenaria, com altura de 0,80 m, comprimento de 1 metro e largura de 0,70 m cada. Cada parcela teve o piso forrado com placas de isopor e coberto com lona plástica, visando formar barreira isolante. Cada parcela recebeu 20 kg⁻¹ (VPF) ou 26 kg⁻¹ (VPI e CP) do material, dependendo do tratamento. No dia 13/06/2012, as parcelas dos tratamentos com vermicompostagem foram colonizadas com as minhocas vermelhas da Califórnia (*E. foetida*). Em cada parcela foram colocadas 1 kg de minhocas (Figura. 1G), sendo aproximadamente 1.690 minhocas por kg⁻¹. As minhocas foram inoculadas nos tratamentos, com sombrites 50%, com tamanho 70 cm x 70 cm, contendo 2 kg⁻¹ de esterco pré-compostado (Figura 1H) para proporcionar a adaptação ao organomineral.



Figura 1. A. Distribuição do esterco para pré-compostagem; B. Homogeneização e oxigenação do esterco; C. Peneiração do esterco pré-compostado; D. Peneiração dos fertilizantes fosfatados; E. Pesagem dos fertilizantes fosfatados; F. Homogeneização dos tratamentos; G. Contagem das minhocas para inoculação; H. Inoculação das minhocas (Goiânia, 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 IMPACTO DOS TRATAMENTOS NA BIOTA DOS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS

O peso das minhocas está apresentado na (Tabela 3). Não houve interação entre os fatores avaliados. No vermicomposto isento das fontes de P, o peso das minhocas foi maior do que nos tratamentos contendo as fontes de P. As minhocas do tratamento contendo o adubo super simples amoniado se adaptaram menos ao ambiente da vermicompostagem. Isto pode ser explicado pelo excesso de sal e ácidos que compõe esta fonte de P, evidenciando que a quantidade de 6 kg de fonte acidulada super simples amoniado não é indicada para o processo de vermicompostagem. Adubos contendo excesso de sais provocam desidratação celular por meio de processos osmóticos, ocasionando plasmólise celular (Kiehl, 2008).

Tabela 3. Peso das minhocas nos processos de vermicompostagem. UFG, Goiânia, 2013.

Tratamentos	Peso das minhocas (g)		
	VPI	VPF	Média
Super simples amoniado	197,0	352,0	274,5 b
Fosfato natural de Itafós	313,0	363,0	338,0 a
Fosfato natural de Araxá	354,0	386,0	370,0 a
Termofosfato Yoorin	312,0	359,0	335,5 a
Média	294,0 b	365,0 a	V% = 22,6
Valores de F	F _{fonte de P} = 2,8***	F _{manejo} = 9,1*	F _{interação} = 1,4 ns

VPI - Vermicomposto com adição de fontes de P no início da vermicompostagem, VPF - Vermicomposto com adição de fontes de P no final da vermicompostagem.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si - pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Com relação ao Carbono da Biomassa Microbiana (C-BM) houve interação entre os fatores estudados. Maiores valores de C-BM foram observados no composto em relação aos vermicompostos, com exceção dos tratamentos com a adição de super simples amoniado, nos quais não houve diferença entre os processos de compostagem (Tabela 4). Nos vermicompostos, o Itafós foi a fonte de P que garantiu os maiores valores de C-BM. No composto, somente o super simples amoniado reduziu o C-BM, sendo que os demais

tratamentos não diferiram entre si. No processo de compostagem, menor C-BM foi observado com a utilização do super simples amoniado.

Tabela 4. Carbono da Biomassa microbiana (C-BM) nos fertilizantes organominerais. UFG, Goiânia, 2013.

Tratamentos	C-BM mg kg ⁻¹			
	VPI	VPF	CP	Média
Super simples amoniado	125,9 dA	206,7 dA	125,0 bA	152,6
Fosfato natural de Itafós	750,2 aB	642,9 aB	952,2 aA	781,8
Fosfato natural de Araxá	535,0 bB	385,2 cB	808,6 aA	576,3
Termofosfato Yoorin	350,8 cB	463,0 bB	842,3 aA	552,0
Média	440,5	424,4	682,0	CV = 24,71
Valores de F	F _{fonte de P} = 63,3**	F _{manejo} = 25,6**	F _{interação} = 5,7**	

VPI - Vermicomposto com adição de fontes de P no início da vermicompostagem. VPF - Vermicomposto com adição de fontes de P no final da vermicompostagem. CP - composto com adição de fontes de P no início da compostagem.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si - pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Resultado semelhante, com maior proporção de biomassa microbiana durante o processo de compostagem foi verificado por Lascano et al. (2008), comparando-se a compostagem e vermicompostagem. Os autores destacam duas fases da compostagem uma termófila de intensa ação microbiana, e outra mesófila de estabilização do resíduo orgânico de forma gradual, com elevada biomassa microbiana no processo de compostagem em comparação com vermicompostagem e pré compostagem seguida de vermicompostagem. Aira & Domínguez (2009) estudando a estabilização microbiológica e nutricional do esterco de suínos e de gado, também verificaram que, após a ingestão dos resíduos orgânicos pela minhoca *Eisenia fetida*, houve redução da biomassa microbiana nas duas fontes de esterco.

Tognetti et al. (2005) estudando o reaproveitamento de resíduos de podas urbanas, por meio dos processos de compostagem e vermicompostagem, verificaram que durante o processo de vermicompostagem as minhocas produziram compostos nutricionais mais ricos. No entanto, a biomassa microbiana do vermicomposto foi menor em relação ao composto no final do processo.

Sen & Chandra (2009), avaliando os processos de compostagem e vermicompostagem em detritos de cana de açúcar observaram que as minhocas trituram a matéria orgânica facilitando a colonização dos micro-organismos pois a comunidade microbiana não consegue decompor partículas recalcitrantes de resíduos orgânicos de forma direta. Para degradar substâncias de difícil solubilidade em fragmentos assimiláveis

estes micro-organismos excretam enzimas que irão hidrolizar detritos orgânicos por meio da ação da desidrogenase, sendo este um dos critérios adotados para monitorar o desempenho da comunidade microbiana, a função das minhocas pode estar relacionado mais com a diversificação da biomassa microbiana.

Minhocas e micro-organismos podem estabelecer uma relação de simbiose na decomposição da matéria orgânica. Rajasekar et al. (2012), em estudo de enriquecimento do vermicomposto com micro-organismos, adicionaram ao processo de vermicompostagem *Azospirillum brasilense* e *Rhizobium leguminosarum* e verificaram que a biodegradação dos nutrientes pelas minhocas aumenta com ação dos micro-organismos atuantes no processo.

Entretanto, Aira & Domínguez (2011), em estudo com dejetos de suínos e três espécies de minhocas (*E. andrei*, *E. fétida* e *E. eugeniae*), relatam que a interação das minhocas com os micro-organismos necessitam de estudos de longa duração, visto que cada espécie de minhoca possui uma interação com os micro-organismos e a fonte de matéria orgânica.

A biomassa microbiana armazena reduzida quantidade de P, porém possui elevada dinâmica de reciclagem do nutriente, que é encontrado nos ácidos nucléicos e fosfolípidios dos micro-organismos. Assim, a biomassa é uma importante fonte de reserva de P de liberação gradativa no solo (Moreira & Siqueira, 2006). Durante o processo de compostagem Khan & Joergensen (2009), relatam que a biomassa microbiana imobilizou cerca de 5% do superfosfato triplo adicionado ao processo. Durante um ano pode ser reciclado 70 vezes mais fósforo por meio dos micro-organismos em relação a fitomassa (Siqueira et al., 2004).

4.2 MASSA SECA DOS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS

A massa seca dos fertilizantes organominerais foi afetada pelas fontes de P e pelo processo de produção do composto. Das fontes de P, a menor MS foi observada com a utilização do super simples amoniado. Menor MS foi observada no VPI em relação ao VPF e CP (Tabela 5). Um dos fatores que contribui para redução do peso dos adubos foi o decréscimo gradativo do teor de carbono orgânico total. Durante o processo de vermicompostagem as minhocas e micro-organismos, utilizam o carbono do substrato como fonte de energia, havendo consumo e liberação de CO₂ mediante processos

oxidativos ocorridos durante a respiração (Rajpal et al., 2012). A decomposição do carbobo por minhocas e micro-organismos indica a perda de massa seca.

Tabela 5. Massa seca nos fertilizantes organominerais. UFG, Goiânia, 2013.

Tratamentos	VPI	VPF	CP	Média
	MS dos fertilizantes organominerais - kg ⁻¹			
Super simples amoniado	9,8	12,3	12,4	11,5 b
Fosfato natural de Itafós	11,4	12,5	12,8	12,2 a
Fosfato natural de Araxá	10,8	13,2	13,2	12,4 a
Termofosfato Yoorin	12,5	13,3	13,2	13,0 a
Média	11,1 b	12,8 a	12,9 a	CV= 8,74
Valores de F	F _{fonte de P} = 5,0**	F _{manejo} = 17,6**	F _{interação} = 1,1 ns	

VPI - Vermicomposto com adição de fontes de P no início da vermicompostagem. VPF - Vermicomposto com adição de fontes de P no final da vermicompostagem. CP - composto com adição de fontes de P no início da compostagem.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si - pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

4.3 TEORES DE CARBONO, NITROGÊNIO, MO, RELAÇÃO C/N DOS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS E PORCENTAGEM DE N QUE SOBROU EM RELAÇÃO AO COLOCADO NO INÍCIO DA PESQUISA

Para os teores de carbono houve interação entre os fatores estudados. Nos vermicompostos VPI e VPF, maiores teores foram encontrados no super simples amoniado e os menores teores no Yoorin, enquanto os fosfatos de Itafós e de Araxá apresentaram valores intermediários (Tabela 6). No CP, assim como nos vermicompostos, o maior teor de C foi observado com a adição de super simples amoniado e os menores teores foram observados com a adição de termofosfato Yoorin e Araxá, os quais não diferiram entre si (Tabela 6).

A ação dos micro-organismos e minhocas reduziu a quantidade de carbono em todos os tratamentos, contribuindo para redução do peso final do vermicomposto e composto. O carbono é um dos nutrientes responsáveis pelo desenvolvimento das minhocas e micro-organismos. Na fase inicial da pesquisa, o esterco de gado pré compostado continha 13,2% de carbono. Após 129 dias de vermicompostagem, o teor de carbono foi reduzido em todos os tratamentos. As maiores taxas de mineralização de carbono ocorreu nos tratamentos contendo o termofosfato Yoorin. A redução de C com a

adição de fontes não aciduladas demonstra maior adaptação e palatabilidade das minhocas em associação com micro-organismos.

Tabela 6. Teor de carbono, MO, N e C/N nos fertilizantes organominerais. UFG, Goiânia, 2013.

Tratamentos	VPI	VPF	CP	Média
Teor de C - g kg ⁻¹				
Super simples amoniado	11,8 aB	12,8 aA	12,1 aB	12,2 a
Fosfato natural de Itafós	10,2 bA	10,0 bA	10,7 bA	10,3 b
Fosfato natural de Araxá	10,1 bA	10,0 bA	9,9 cA	10,0 b
Termofosfato Yoorin	9,3 cA	9,2 cA	9,4 cA	9,3 c
Média	10,3 a	10,5 a	10,5 a	CV = 4,22
Valores de F	F _{fonte de P} = 118,5*	F _{manejo} = 0,8 ns	F _{interação} = 3,2*	
Teor de MO - g kg ⁻¹				
Super simples amoniado	174 aB	196 aB	182 aB	184 a
Fosfato natural de Itafós	158 bB	154 bB	170 aA	160 b
Fosfato natural de Araxá	158 bA	158 bA	158 bA	158 b
Termofosfato Yoorin	142 cA	148 bA	152 bA	147 c
Média	158 a	164 a	165 a	CV = 5,89
Valores de F	F _{fonte de P} = 39,0**	F _{manejo} = 3,4*	F _{interação} = 2,8*	
Teor de N - g kg ⁻¹				
Super simples amoniado	13,8 aC	21,6 Aa	18,1aB	17,8 a
Fosfato natural de Itafós	10,6 bA	10,2 bA	10,8 bA	10,5 b
Fosfato natural de Araxá	10,1 bA	9,4 bA	9,2 cA	9,5 b
Termofosfato Yoorin	10,1 bA	9,9 bA	9,6 cA	9,9 a
Média	11,1 c	12,8 a	11,9 b	CV = 7,23
Valores de F	F _{fonte de P} = 312,0*	F _{manejo} = 18,4*	F _{interação} = 28,33*	
Relação C/N				
Super simples amoniado	11,0 bA	7,7 cB	8,4 cB	9,0 c
Fosfato natural de Itafós	12,3 aB	12,2 bA	12,6 bA	12,4 b
Fosfato natural de Araxá	12,8 aB	13,5 aA	13,7 aA	13,3 a
Termofosfato Yoorin	11,4 bB	11,7 bB	12,7 bA	11,9 b
Média	11,9 a	11,3 b	11,8 a	CV = 7,07
Valores de F	F _{fonte de P} = 76,*	F _{manejo} = 2,91 ns	F _{interação} = 7,8*	

VPI - Vermicomposto com adição de fontes de P no início da vermicompostagem. VPF - Vermicomposto com adição de fontes de P no final da vermicompostagem. CP - composto com adição de fontes de P no início da compostagem.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si - pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A redução do carbono orgânico total pode ser um dos parâmetros que indicam a estabilização do vermicomposto. Macci et al. (2011) produziram vermicomposto com águas residuais de azeite, produto com elevado teor de matéria orgânica, associado a

material ligno-celulósico e verificaram redução de 35% de carbono orgânico total durante um período de 13 semanas.

Trabalhando com lodo de esgoto adicionado em diferentes fontes de matéria orgânica, Sinha et al. (2010) verificaram que no tratamento contendo somente lodo-de-esgoto havia 64,15% de C, associando esterco de gado ao lodo e vermicompostando os valores de carbono orgânico reduziram para 41,36%. Após 12 semanas de pesquisa, os autores constataram a eficiência da minhoca vermelha da califórnia mineralizando nutrientes em associação com micro-organismos, diminuindo os teores de carbono orgânico total.

Sem & Chandra (2009) compararam os sistemas de vermicompostagem utilizando minhocas gigante africana (*Eudrilus eugeniae*) e compostagem, utilizando como matéria prima resíduos de indústria de cana-de-açúcar, esterco de gado e lixo doméstico. O carbono orgânico total no início da pesquisa era de 38,19% no composto e 38,49% para o vermicomposto. Após 60 dias os valores foram de 32,47% para o composto e 32,83% no vermicomposto, verificando uma baixa atividade das minhocas em relação ao consumo de carbono orgânico. Concluíram que a vermicultura pode estar relacionada a transformação de polímeros recalcitrantes em estruturas mais simples, comparando-se com a compostagem. Os autores verificaram também que a atividade dos micro-organismos foi eficiente nos dois processos até mesmo com temperaturas adversas.

Para os teores de matéria orgânica houve interação dos fatores estudados (Tabela 6). No VPI os menores teores de MO foram observados com a adição do termofosfato Yoorin, diferindo dos demais tratamentos. A fonte acidulada super simples amoniado obteve os maiores teores de MO em VPI, VPF e CP, indicando menor ação de minhocas e micro-organismos. Ação de mineralização do carbono orgânico em VPI, VPF, CP aponta termofosfato Yoorin como a fonte que proporcionou maiores taxas de mineralização do carbono, contribuindo para redução da matéria orgânica. Comparando-se CP e VPI, processos que receberam as fontes de P no início da pesquisa, observa-se que em VPI apenas o FN de Araxá obteve teores de MO similar a CP. Os demais tratamentos em CP foram superiores ao processo VPI (Tabela 6).

Para o nitrogênio (N), houve interação entre os fatores estudados (Tabela 6). Em todos os processos de produção de fertilizante organomineral, maiores teores de N foram observados com a adição de super simples amoniado, enquanto os demais

tratamentos não diferiram entre si no VPI e VPF. No CP, maiores teores de N foram observados no Itafós em relação ao Araxá e Yoorin. Os maiores teores de N com a adição de super simples amoniado pode ser justificado por esta fonte de P conter 3% de N, aumentando os teores de N em todos os tratamentos. Além disso, a interação do P com NH_4^+ reduzem as perdas de N por volatilização e, nesta fonte, os teores iniciais de P disponível são maiores. Observou-se que, no super simples amoniado, maiores teores de N foram observados no VPF, seguido do CP, com menores teores do nutriente no VPI. O N é um elemento muito reativo, sujeito a diversas vias de perda tanto químicas como bioquímicas, mediadas pela microbiota. Assim, no VPF, o elemento permaneceu menor tempo sujeito a processos de transformação, o que justifica os teores mais elevados de N nesse tratamento. Comparando o VPI com o CP, nota-se que a atividade das minhocas resultou em aumento das perdas de N para super simples amoniado e FN de Itafós (Tabela 6).

Resultados semelhantes foram obtidos por Fornes et al. (2012) ao comparar compostagem, vermicompostagem e compostagem seguida de vermicompostagem, em detritos de tomate, verificaram que houve perda do N total na seguinte ordem: vermicompostagem > compostagem > compostagem e vermicompostagem. Segundo o MAPA (2005), o vermicomposto deve conter 1% de N para ser indicado como fertilizante orgânico.

Para a relação C/N, houve interação dos fatores estudados. Na fonte acidulada super simples amoniado obteve as menores relação C/N nos três processos em decorrência da sua formulação com 3% de N. Para os tratamentos VPF de fontes não aciduladas, o termofosfato Yoorin obteve menor relação C/N, diferindo de FN de Itafós com 12,2 e FN de Araxá com 13,5 respectivamente. Entre os tratamentos não acidulados (fosfato de Itafós, Araxá e termofosfato Yoorin) 11,4 diferiu significativamente do tratamento com FN de Itafós 12,3 e FN de Araxá 12,8. Dos tratamentos CP não acidulados (fosfato de Itafós, Araxá e termofosfato Yoorin) a menor relação C/N foi observada no fosfato natural de Itafós com 12,6.

A relação C/N é um dos principais critérios adotados para indicar a maturação de um composto e vermicomposto. Segundo Edwards et al. (2011), o vermicomposto é considerado estável quando a sua relação C/N esta entre 12/1 e 11/1, os demais materiais atingem sua estabilização quando a relação C/N atinge valores menores que 20/1 e 22/1,

sendo os valores ideais para compostos entre 18/1 e 14/1. Todos os tratamentos atenderam estes critérios.

Tabela 7. Porcentagem de Nitrogênio que sobrou em relação ao colocado no início da pesquisa. UFG, Goiânia, 2013.

Tratamentos	VPI	VPF	CP	Média
	% de N			
Super simples amoniado	45,4bC	71,1aA	60,0bB	58,8
Fosfato natural de Itafós	65,8aA	63,4bA	67,5aA	65,5
Fosfatonatural de Araxá	62,1aA	58,8bA	57,2bA	59,4
Termofosfato Yoorin	62,8aA	61,9bA	58,9bA	61,2
Média	59,0	63,8	60,9	CV = 6,65
Valores de F	F _{fonte de P} = 8,3**	F _{manejo} = 7,0**	F _{interação} = 15,8**	

VPI - Vermicomposto com adição de fontes de P no início da vermicompostagem. VPF - Vermicomposto com adição de fontes de P no final da vermicompostagem. CP - composto com adição de fontes de P no início da compostagem.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si - pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Para o Nitrogênio houve interação dos fatores estudados (Tabela 7). A fonte acidulada super simples amoniado diferiu entre os processos avaliados. Esta fonte obteve as maiores perdas de N no processo VPI. No processo VPI contendo fosfato natural de Itafós ocorreram as menores perdas de N 34,2%, enquanto para fonte acidulada super simples amoniado perdeu-se 54,6%. No processo CP o fosfato natural de Itafós diferiu das demais fontes, neste processo a fonte acidulada super simples amoniado obteve perdas de 40% de N enquanto o fosfato natural de Itafós perdeu 32,5%. Na (Tabela 7) verifica-se que o fosfato natural de Itafós obteve ligeira superioridade nas concentrações de N entre as demais fontes de fosfatos naturais, fato também observado na (Tabela 6). No processo VPF a maior concentração de N foi para a fonte acidulada super simples amoniado diferindo das demais fontes. Esta fonte possui 3% de N e foi adicionada no final da pesquisa.

Observa-se na (Tabela 7) que ocorreram reduções nas concentrações de N para todos os processos e fontes. Fomes et al. (2012), comparando os processos de compostagem, vermicompostagem e compostagem seguida de vermicompostagem, verificaram redução nos teores de N mineral de 75,5% após 261 dias de vermicompostagem e uma perda total de 30% de N no processo de compostagem, fato que pode estar relacionado ao processo de lixiviação do N durante o processo de

umedecimento dos materiais. Mitchell (1997), também verificou após o processo de vermicompostagem decréscimo nos teores de N de 18% em relação ao início da pesquisa.

Singh & Suthar (2012) em estudo de reaproveitamento de produtos a indústria farmaceutica associado com esterco de gado verificaram que as minhocas contribuem para disponibilização de N durante o processo da vermicompostagem, estes vermes liberam diversos produtos contendo nitrogênio, tais como: enzimas, excrementos de sua alimentação além de substâncias viscosas excretadas por sua epiderme que contém macromoléculas de monossarídeos ricos em N, sendo esta uma importante estratégia para evitar o ressecamento de sua epiderme. Porém durante os processos de vermicompostagem e compostagem as constantes irrigações para manter a umidade destes processos contribuem para lixiviação de N, justificando as reduções deste nutriente nos processos VPI, VPF e CP.

Nishanth & Biswas (2008), em estudo do processo de compostagem utilizando materiais orgânicos, resíduos de mica, fosfatos naturais e fungos *Aspergillus awamori* verificaram após 120 dias de compostagem redução nos teores de N com adição do fosfato natural. Os autores mencionam a utilização de fosfatos naturais com teores desprezíveis de N, e utilização de fontes com elevada razão C/N.

Durante a pesquisa a fonte super simples amoniada apresentou no processo VPI uma redução significativa de N, fato que pode estar relacionado a lixiviação de N neste processo, baixa afinidade deste elemento associado a matéria orgânica, além de menor atividade das minhocas nesta fonte acidulada sobre a qual as minhocas não se adaptaram. Gomes-Brandón et al. (2013) comparando compostagem e vermicompostagem verificaram que as minhocas excretam NH_4 . Durante o processo de vermicompostagem, podem ter ocorrido interações de fósforo com NH_4 , reações que evitam perdas de N por volatilização, evidenciando que as maiores perdas de N ocorreram por lixiviação.

4.4 VALORES DE pH DOS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS

Para os valores de pH, houve interação entre os fatores estudados. Em todos os tratamentos onde havia a presença de minhocas (VPI e VPF) nas fontes fosfatadas não aciduladas (FN de Itafós, FN de Araxá e termofosfato Yoorin) o pH foi menor. Comparando as fontes de P, maiores valores de pH foram observados com a utilização de

Yoorin, seguida de Itafós e Araxá, sendo os menores valores observados com a adição de super simples amoniado (Tabela 8).

Tabela 8. pH dos fertilizantes organominerais. UFG, Goiânia, 2013

Tratamentos	Teor de pH			
	VPI	VPF	CP	Média
Super simples amoniado	4,7 cC	5,5 dA	5,1 cB	5,1 d
Fosfato natural de Itafós	6,8 bB	6,8 cB	7,2 bA	6,9 c
Fosfato natural de Araxá	6,9 bB	6,9 bB	7,3 bA	7,1 b
Termofosfato Yoorin	7,4 aC	7,7 aB	7,9 aA	7,7 a
Média	6,4 c	6,7 b	6,9 a	CV = 1,48
Valores de F	F _{fonte de P} = 1872,3**		F _{manejo} = 106,6**	F _{interação} = 23,53**

VPI - Vermicomposto com adição de fontes de P no início da vermicompostagem. VPF - Vermicomposto com adição de fontes de P no final da vermicompostagem. CP - composto com adição de fontes de P no início da compostagem.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si - pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Aira et al. (2007) também verificaram redução de pH durante o processo de vermicompostagem com dejetos de suínos, que na ausência de minhocas era de 8,3 e após quatro meses reduziu para 7,2. As fontes de matéria orgânica, composições e a relação de cargas contrárias influenciam a dinâmica do pH em vermicompostos, como observaram Yadav & Gargen (2011). Estes autores trabalhando com vermicompostagem utilizando esterco de gado, lodo de esgoto e esterco de aves, verificaram redução de pH para todos os tratamentos, com valores de pH variando de 7,2 a 8,1 no início dos trabalhos, após a maturação (13 semanas) ficaram entre 6,4 a 6,8.

A redução do pH nos vermicompostos sugerem que a presença das minhocas reduz o pH do composto formado, pelo fato de excretarem substâncias como NH_4^+ e CO_2 que influenciam a dinâmica do pH. Suthar et al. (2012) observaram alteração nos valores de pH ao trabalharem com lodo de indústria de leite, esterco de gado, palha de cana, palha de trigo, e que o pH dos tratamentos no início dos estudos variaram de 7,9 a 8,5 e após 90 dias foram de 7,4 a 7,1. Fornes et al. (2012) também verificaram redução do pH no processo de vermicompostagem, quando comparava os processos de compostagem.

Como mencionado, as minhocas e micro-organismos podem interferir na dinâmica do N alterando o pH. Segundo Kiel (1985), os valores de pH variam de 0 a 14, pH < 7 ácido, = 7 neutro e > 7 básico.

Para os tratamentos de fontes fosfatadas não aciduladas (fosfato de Itafós, Araxá e termofosfato yoorin) em VPF, VPI e CP o pH variou de 6,8 a 7,9. O pH ligeiramente ácido dos tratamentos de FN de Araxá e FN de Itafós em VPI e VPF pode favorecer a solubilização do fósforo presente nos fertilizantes organominerais (Horowitz & Meurer, 2004). Os maiores valores de pH observados com a utilização de Yoorin podem ser atribuídos aos elevados teores de Ca neste fertilizante que contém 20% Ca (Viana & Vasconcelos, 2008).

4.5 TEORES DE FÓSFORO NOS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS. E PORCENTAGEM DE FÓSFORO QUE SOBROU EM RELAÇÃO AO COLOCADO NO INÍCIO DA PESQUISA

Para os teores de fósforo solúvel em água, houve interação dos fatores estudados. Como as fontes adicionadas de P continham teores variáveis do nutriente, o que resulta em variações óbvias dos teores de P em água, P em ácido cítrico e P-total, são discutidas somente as variações entre processos de obtenção do fertilizante organomineral. Para os teores de P solúvel em ácido cítrico houve interação dos fatores estudados. Os menores teores de P solúvel em ácido cítrico foram observados no VPI, no VPF com adição de super simples amoniado e no CP com adição de termofosfato Yoorin (Tabela 9).

Tabela 9. Teor de fósforo solúvel em água, em ácido cítrico e P-total nos fertilizantes organominerais. UFG, Goiânia, 2013.

Tratamentos	VPI	VPF	CP	Média
P solúvel em água - g kg ⁻¹				
Super simples amoniado	26,8 aB	32,8 aA	28,2 aB	29,2
Fosfato natural de Itafós	7,8 bB	12,6 bA	11,2 bA	10,5
Fosfato natural de Araxá	7,2 bB	10,6 cA	9,8 bA	9,2
Termofosfato Yoorin	8,8 bA	9,4 cA	9,2 bA	9,1
Média	12,6	16,3	14,6	CV = 9,67
Valores de F	F fonte de P = 735,8**	F manejo = 34,6**	F interação = 4,6**	
P solúvel em ácido cítrico - g kg ⁻¹				
Super simples amoniado	74,0 bB	77,2 bB	83,8 bA	78,3
Fosfato natural Itafós	41,2 dB	61,2 cA	61,8 cA	54,7
Fosfato natural de Araxá	49,2 cB	57,0 cA	58,6 cA	54,9
Termofosfato Yoorin	84,0 aB	95,6 aA	94,4 aB	91,3
Média	62,1	72,7	74,6	CV = 6,22
Valores de F	F fonte de P = 261,2*	F manejo = 48,5*	F interação = 4,0*	

	P total - g kg ⁻¹			
Super simples amoniado	92,2	104,6	105,0	100,6 c
Fosfato natural de Itafós	92,6	106,4	108,6	102,5 c
Fosfato natural de Araxá	120,0	124,8	134,2	126,3 a
Termofosfato Yoorin	101,0	113,0	124,8	109,6 b
Média	101,4 b	112,2 a	115,6 a	CV = 7,91
Valores de F	F _{fonte de P} 27,2**	F _{manejo} = 14,5**	F _{interação} = 0,3 ns	

VPI - Vermicomposto com adição de fontes de P no início da vermicompostagem. VPF - Vermicomposto com adição de fontes de P no final da vermicompostagem. CP - composto com adição de fontes de P no início da compostagem.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si - pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O P total também foi menor no VPI em relação ao CP e VPF. Estes resultados evidenciam que a passagem das fontes fosfatadas pelo trato digestivo da minhoca reduziu a quantidade de P presente no material. Como não são conhecidas perdas voláteis do nutriente e trabalhou-se em parcela forrada com lona plástica, evitando-se com isso, perdas por lixiviação. Acredita-se que este resultado possa estar relacionado primeiramente devido a retirada de P pela minhoca, sendo necessária a análise química da minhoca para verificar a ocorrência de tal fato. E secundariamente a problemas relacionados a extração do P-total nas amostras.

De acordo com Pereira (1997), o corpo da minhoca possui de 0,6 a 1% de fósforo do seu peso seco. O peso médio de minhocas no VPI foi de 294 g. Considerando que 1% do peso de minhocas no VPI era P, foram retirados 2,94 g de P com as minhocas. No entanto, a diferença no teor de P total, no VPI, em relação ao CP foi de 14,6 g kg⁻¹ de vermicomposto. Considerando uma massa seca do VPI de 11,5 kg, ao final do processo de vermicompostagem no VPI foram perdidos, em relação ao CP, 167,9 g de P total. Portanto, não é possível atribuir a perda de P a retirada da minhoca do vermicomposto. Deste modo, é possível que o P tenha sido convertido a formas de baixa disponibilidade no vermicompostos, que não foram extraídas pelo método utilizado.

As perdas de P citadas a cima podem estar relacionadas com reações químicas e biológicas, como relata Subramanian et al. (2010). Portanto, lixiviação e volatilização de fósforo em processos de vermicompostagem e compostagem são remotas. Assim, menor recuperação de P pode ocorrer por reações com a matéria orgânica e interação com outros nutrientes, como relatam os trabalhos destes autores. Busato et al. (2012), avaliando a biodisponibilização de FN de Araxá com inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfatos em vermicompostos, constataram nos vermicompostos inoculados ação das

enzimas fosfatase alcalina e ácida, auxiliando no processo de solubilização de P, contribuindo para aumento de 106% de fósforo em água nos vermicompostos inoculados em decorrência dos ácidos produzidos. Porém segundo os autores, houve redução nos teores de P em resina para os tratamentos inoculados e não inoculados e redução nos teores de P em água no tratamento não inoculado. As reduções do P em água podem ter ocorrido por interações da matéria orgânica com o fósforo, formando moléculas de menor solubilidade em água.

Biswas & Narayanasamy (2006) compararam compostos de palhas de arroz associados a fosfatos naturais, inoculados ou não com fungos *Aspergillus awamori* e compostos isentos de FN e fungos. Nos tratamentos compostados com FN não inoculados com fungos: ocorreu elevação nos teores de P total (2,20% P) e P ácido cítrico (0,72% P), reduzindo significativamente os teores de P em água, em decorrência de reações com CaCO_3 . Estes acréscimos de P foram atribuídos a produção de ácidos orgânicos por micro-organismos, favorecendo a solubilização de P, no tratamento inoculado com *A. awamori* elevou-se os teores de P total (2,35% P), P ácido cítrico (0,85% P), ligeiro aumento de P em água e significativa imobilização de P orgânico, fato associado a intensa atividade da fosfatase ácida.

Minerais de fósforo que não foram utilizados nos processos metabólicos das minhocas podem ser excretados e imobilizados por micro-organismos presentes nas fontes organominerais, elevando os teores de P orgânico, importante fonte de P para as culturas, em solos com elevada escassez deste nutriente. P orgânico é um reservatório de liberação gradativa se tornando fundamental para nutrição vegetal (Gatiboni, 2007).

A vermicompostagem com adição de fosfatos naturais pode minimizar as intensas reações do fósforo no solo. Pramanick et al. (2009), comparando compostagem e vermicompostagem com adição de fosfato natural e sua liberação em solos ácidos, notaram que nas adubações com vermicomposto associados a fosfato natural, elevou-se a biosolubilização de P e houve disponibilização gradativa de P. Os vermicompostos revestiram o P, reduzindo reações diretas deste nutriente com o solo, em comparação com os tratamentos compostados. As partículas de húmus revestem os sesquióxido, deste modo os fosfatos se tornam protegidos, este revestimento pode impedir a fixação do P no solo (Tisdale & Nelson, 1966). Para os organominerais a legislação brasileira recomenda ter no mínimo 10% de P, ou soma (NP, PK, NPK) igual a 10% (Brasil, 2007).

Tabela 10. Porcentagem de P em água, ácido cítrico e total que sobrou em relação ao colocado no início da pesquisa. UFG, Goiânia, 2013.

Tratamentos	VPI	VPF	CP	Média
% P solúvel em água				
Super simples amoniado	33,8	41,4	35,9	37,0d
Fosfato natural de Itafós	81,6	131,2	117,9	110,2c
Fosfatonatural de Araxá	157,1	234,0	214,9	202,0b
Termofosfato Yoorin	11606,8	12415,9	11997,0	12006,5a
Média	2969,8a	3205,6a	3091,4a	CV = 22,79
Valores de F	F _{fonte de P} = 1070,2**	F _{manejo} = 0,5 ns	F _{interação} = 0,3ns	
% P solúvel em ácido cítrico				
Super simples amoniado	97,4 cA	101,8 dA	111,3 cA	103,5
Fosfato natural de Itafós	192,9 bB	284,6 bA	290,8 bA	256,1
Fosfatonatural de Araxá	447,1 aB	524,4 aA	534,7 aA	502,1
Termofosfato Yoorin	115,3 cA	131,1 cA	128,1 cA	124,8
Média	213,2	260,5	266,2	CV = 7,38
Valores de F	F _{fonte de P} = 1516,9 **	F _{manejo} = 51,0**	F _{interação} = 10,2**	
% P total				
Super simples amoniado	70,3	80,5	78,6	76,4 c
Fosfato natural de Itafós	88,5	96,7	100,4	95,2 b
Fosfatonatural de Araxá	126,5	131,4	142,1	133,3 a
Termofosfato Yoorin	92,7	97,5	105,4	98,5 b
Média	94,5 c	101,5 b	106,6 a	CV = 7,58
Valores de F	F _{fonte de P} = 144,0 **	F _{manejo} = 12,6 **	F _{interação} = 0,6 ns	

VPI - Vermicomposto com adição de fontes de P no início da vermicompostagem VPF - Vermicomposto com adição de fontes de P depois da vermicompostagem CP - composto com adição de fontes de P no início da compostagem.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si - pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Para as porcentagens de P em água que sobrou em relação ao colocado no início da pesquisa não houve interação dos fatores avaliados (Tabela 10). Os teores iniciais de P em água da fonte acidulada super simples amoniado em VPI, VPF e CP eram de 1020 g kg⁻¹, no decorrer do experimento foram perdidos em média 642,6 g kg⁻¹ finalizando a pesquisa com teores médios de 377,4 g kg⁻¹ de P em água restando o equivalente a 37%. O termofosfato Yoorin diferiu dos demais tratamentos obtendo a maior porcentagem de recuperação de P em água (12006,5%). Esta elevada porcentagem se justifica, pois o termofosfato Yoorin é insolúvel em água e qualquer incremento em sua solubilidade é significativo para esta fonte. Os teores iniciais de P em água para o termofosfato yoorin em VPI, VPF e CP eram de 1 g kg⁻¹ no final da pesquisa foram acrescidos em média 120 g kg

⁻¹. Entre os fosfatos naturais o fosfato natural de Araxá diferiu do fosfato natural de Itafós. Foram adicionados na fase inicial da pesquisa 60 g kg⁻¹ de P em água do fosfato natural de Araxá, no decorrer do estudo ocorreu um aumento médio de 61,2 g kg⁻¹ finalizando a pesquisa com 121,2 g kg⁻¹ de P em água, equivalendo um aumento de 102%, diferindo dos fosfatos de Itafós e superfosfato simples amoniado. Para o P em água mesmo não havendo diferença significativa entre os processos, VPF obteve ligeiro aumento em relação a CP e VPI, fato também verificado na (Tabela 9). Indicando que adição das fontes de P após o processo de vermicompostagem proporcionaram maior concentração de P em água, fato que pode ser atribuído ação dos microorganismos e ácidos húmicos presentes na matéria orgânica após a retirada das minhocas. Verifica-se na (Tabela 8) que o pH ligeiramente ácido em VPF pode ter contribuído para solubilização de fosfatos naturais de Araxá e Itafós.

Verifica-se na tabela (Tabela 10) que houve interação dos fatores avaliados para o fósforo solúvel em ácido cítrico que sobrou em relação ao colocado no início da pesquisa. A fonte acidulada super simples amoniado no processo VPI diferiu das demais fontes, reduzindo os teores de P em ácido cítrico em 2,6 % no processo VPI em relação ao início da pesquisa, não sendo recomendado para o processo de vermicompostagem. Em relação ao início da pesquisa as porcentagens de P solúvel em ácido cítrico aumentaram em todos os tratamentos contendo fosfatos de Araxá e Itafós que possuem menor solubilidade. Porém os processos CP e VPF foram mais eficientes, iguais entre si estatisticamente e diferindo de VPI, fato também verificado na (Tabela 9). Para o fosfato natural de Itafós havia no início da pesquisa 282 g kg⁻¹ de fósforo solúvel em ácido cítrico, no final da pesquisa o processo CP elevou a porcentagem de P cítrico nesta fonte em 190,8%, e no processo VPF em 184,6%, diferindo de VPI que elevou os teores de P cítrico em 92,9%. Para o fosfato natural de Araxá fonte que iniciou a pesquisa com os menores teores de P cítrico 144 g kg⁻¹. O processo CP elevou a porcentagem de fósforo em ácido cítrico, aumentando sua concentração em 434,7% equivalendo a 625,9 g kg⁻¹ e VPF em 424,4% correspondendo a 611,1 g kg⁻¹ diferindo de VPI com aumento de 347,1% equivalendo a 499,8g kg⁻¹. O processo CP mesmo não diferindo de VPF aumentou ligeiramente a concentração de fósforo em ácido cítrico diferindo de VPI. Como mostra na (Tabela 4) o processo CP proporcionou os maiores aumentos no carbono da biomassa microbiana (C-BM) exceto para fonte acidulada super simples amoniado indicando que ação dos microorganismos associadas à matéria orgânica contribuiu de forma eficiente para

solubilização de fósforo em ácido cítrico. VPI foi o processo que apresentou as menores porcentagens de fósforo em ácido cítrico, a (Tabela 10) evidencia estes resultados. Esta redução de fósforo em ácido cítrico em VPI pode ter ocorrido em decorrência da passagem das fontes de fósforo pelo trato intestinal da minhoca.

Portanto o trabalho das minhocas está relacionado com a estruturação física e biológica do substrato orgânico, criando condições favoráveis para colonização de micro-organismos que contribuem para solubilização de fosfatos naturais. Assim o processo de vermicompostagem terá eficiência quando as fontes de fósforo forem utilizadas no final do processo, sem a presença das minhocas, com ação exclusiva de micro-organismos como foi verificado em VPF (Tabela 10). Os processos CP e VPF não diferiram entre si, resultado semelhante a (Tabela 9), sendo os dois processos indicados para solubilização de fósforo em ácido cítrico com o fosfato natural de Araxá e Itafós.

Não houve interação dos fatores avaliados para as porcentagens de P total que sobrou em relação ao colocado no início da pesquisa (Tabela 10). A fonte acidulada super simples amoniado iniciou a pesquisa com $1534,3 \text{ g kg}^{-1}$ de P total perdeu 23,6 % finalizando a pesquisa com 76,4% de P total obtendo as maiores perdas entre as fontes estudadas. O fosfato natural de Itafós e termofosfato Yoorin perderam 4,8% e 1,5% de P total respectivamente finalizando a pesquisa com 95,2 e 98,5 % de P total. Porém o fosfato natural de Araxá aumentou o P total em 33% em média diferindo dos demais tratamentos. O processo CP proporcionou 6,6% de aumento no P total, diferindo de VPF que aumentou 1,5%. O processo VPI diferiu significativamente dos demais processos sendo o único que reduziu os teores do P total perdendo 5,5% em relação ao início da pesquisa, circunstância que também foi verificada na (Tabela 9) no processo VPI, com as maiores reduções do P total. Este resultado mostram que as minhocas podem consumir o fósforo durante o processo de vermicompostagem contribuindo para redução deste nutriente. Os processos de compostagem CP e vermicompostagem com adição das fontes de P no final do processo VPF contribuem para maior concentração de fósforo no final do processo.

Como foi verificado na pesquisa e demonstrado nas (Tabelas 9 e 10) no processo VPI onde as minhocas estavam presentes ocorreram reduções significativas nas concentrações de fósforo em ácido cítrico para os fosfatos de Araxá e Itafós que são menos solúveis, além de menor concentração do fósforo em água e total em relação aos processos VPF e CP. Wang et al. (2013), em pesquisa de fosfatos de rocha associados a fontes orgânicas verificaram que além da nutrição pode ocorrer assimilação de nutrientes através

da epiderme das minhocas, contribuindo para reduções de P. Gosh (1999) verificou que durante o processo de vermicompostagem as minhocas conseguem transformar formas de P orgânico em formas minerais promovendo incremento nos teores de fósforo prontamente extraível em até 209% indicando este processo para solubilização de fósforo. Estes resultados contradizem os resultados obtidos durante a pesquisa nos quais o processo de vermicompostagem VPI apresentou as menores porcentagens de solubilização de fósforo em ácido cítrico e água.

Segundo Dominguez (2004) a função essencial das minhocas esta relacionada a fragmentação do material orgânico promovendo o condicionamento do substrato para colonização de micro-organismos, alterando a estrutura química, física e biológica do substrato. Assim as minhocas criam ambiente favorável para o desenvolvimento de micro-organismos que irão degradar bioquimicamente a matéria orgânica. O processo VPF com a retirada das minhocas e a adição das fontes de P após o processo da vermicompostagem ficou sob ação exclusiva de micro-organismos que contribuíram para solubilização de fósforo em ácido cítrico para os fosfatos naturais de Araxá e Itafós. De acordo com Praminick (2010) as minhocas durante o processo de vermicompostagem ingerem o material orgânico reduzindo os teores de carbono orgânico e a relação C/N elevando a concentração de nutrientes, porém o principal mecanismo para solubilização de fósforo insolúvel é a excreção de ácidos orgânicos promovido por micro-organismos. Os autores relatam que durante o processo de vermicompostagem as minhocas consomem fungos para suprir sua necessidade de N, estes micro-organismos são eficientes na solubilização de fosfatos. Deste modo o processo de vermicompostagem será eficiente com adição das fontes de P no final do processo de vermicompostagem, após a retirada das minhocas com ação exclusiva de micro-organismos, como foi verificado no processo VPF que elevou a solubilidade de fósforo em ácido cítrico e água para as fontes menos solúveis fosfato natural de Araxá e Itafós não diferindo de CP e diferindo de VPI (Tabela 10).

De acordo com Kumar & Shing (2001) o enriquecimento de compostos orgânicos e vermicompostos com fosfatos naturais podem elevar os teores de P solúvel através da excreção de ácidos orgânicos produzidos por micro-organismos solubilizadores de fósforo, fato que pode contribuir para melhor absorção de P pelas culturas. Pramanick et al. (2009), verificaram que adição de fosfatos naturais após o processo de vermicompostagem produz um adubo orgânico de elevada eficiência agrônômica. Os autores observaram que aplicação no solo de fosfatos naturais associados ao

vermicomposto foi mais eficiente do que aplicação isolada de fosfato natural. Os mesmos relatam que aplicação isolada dos fosfatos naturais podem aumentar as complexações entre o P/Al e P/Fe reduzido assimilação de fósforo pelas plantas. Segundo Kiehl (1985), ação fundamental da matéria orgânica é o recobrimento do fósforo solúvel evitando reações diretas com outros minerais que tornam os fosfatos insolúveis. O autor relata que associação entre húmus e fósforo permite que o fósforo mantenha-se protegido e disponível por muito tempo, e que micro-organismos e ácidos orgânicos originados da matéria orgânica elevam a solubilidade de fosfatos naturais.

No processo CP havia ação exclusiva de micro-organismos que contribuirão para solubilização de fósforo em ácido cítrico para os fosfatos naturais de Araxá e Itafós diferindo de VPI (Tabela 10). Shrivastava et al.(2011) relatam que excreção de ácidos orgânicos por fungos e outros micro-organismos que colonizavam o substrato contribuem para solubilização de P em água, além de verificarem menor relação C/P nos tratamentos inoculados com fungos. Fornes et al. (2012) comparando processos de vermicompostagem e compostagem verificaram um aumento de 39,7 % do P total no final do processo de compostagem em relação ao início do processo. Deka et al. (2011) trabalhando com resíduos orgânicos no processo de compostagem e vermicompostagem durante 105 dias, verificaram que os níveis finais de P disponível nos processos de compostagem foram maiores 16,7% em relação ao início da pesquisa. Suthar & Singh (2008) verificaram aumento de até 107,9% em P disponível, devido à mineralização de fósforo em resíduos orgânicos. Bangar et al. (1985), associando fosfato natural e resíduos orgânicos durante o processo de compostagem verificou aumento do fósforo solúvel em ácido cítrico durante o processo. Segundo autor no tratamento contendo 25% de fosfato natural houve maior solubilização de fósforo em ácido cítrico.

4.6 TEOR DE ENXOFRE NOS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS E PORCENTAGEM DE ENXOFRE QUE SOBROU EM RELAÇÃO AO COLOCADO NO INÍCIO DA PESQUISA

Para os teores de enxofre dos organominerais houve interação dos fatores estudados (Tabela 11). Os maiores teores de enxofre estão relacionados com a fonte acidulada super simples amoniado diferindo dos demais tratamentos. Os teores de S em VPI, VPF e CP não sofreram alterações significativas. Comparando-se os processos VPI e

CP para as fontes não aciduladas (fosfato natural de Itafós e Araxá, termofosfato Yoorin), no fosfato natural de Itafós obteve maior teor de S em CP em relação a VPI. Em VPI o fosfato natural de Itafós foi ligeiramente superior aos demais tratamentos não acidulados fosfato natural de Araxá e termofosfato Yoorin. Os maiores teores de enxofre para todos os tratamentos com super simples amoniado pode ser justificado pelo alto teor de S nesta fonte.

Tabela 11. Teor de enxofre nos fertilizantes organominerais. UFG, Goiânia, 2013.

Tratamentos	Teor de S g kg ⁻¹			
	VPI	VPF	CP	Médias
Super simples amoniado	24,2 aC	30,8 Aa	28,0 aB	27,7
Fosfato natural de Itafós	1,8 bA	3,2 Ba	2,3 bA	75,5
Fosfato natural de Araxá	1,2 bA	1,8 bA	1,4 bA	88,3
Termofosfato Yoorin	1,5 bA	1,4 Ba	1,5 bA	66,0
Médias	7,2	9,3	8,3	CV = 16,95
Valor de F	F _{fonte de P} = 270,1*	F _{manejo} = 11,5*	F _{da interação} = 6,0*	

VPI - Vermicomposto com adição de fontes de P no início da vermicompostagem VPF - Vermicomposto com adição de fontes de P depois da vermicompostagem CP - composto com adição de fontes de P no início da compostagem.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si - pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Vitti et al. (2004) relatam que esta fonte acidulada possui de 10 a 12% de enxofre. Subramaniana et al. (2010), em estudo de compostagem e vermicompostagem com resíduos de indústria de mandioca, esterco-de- gado e aves obtiveram acréscimo nos teores de enxofre durante o processo de compostagem e decréscimo de S para vermicompostagem. Após 45 dias de vermicompostagem o tratamento contendo 1: 1: 1 de resíduos de indústria de mandioca esterco de gado e aves reduziu os teores de S de 78 mg kg⁻¹ para 53 mg kg⁻¹, decréscimo que pode ter sido ocasionado em decorrência da ação das minhocas e micro-organismos.

Aria et al. (2010), pesquisando métodos para elevar a solubilidade de fosfatos naturais associaram enxofre, vermicomposto e bactérias *Thiobacillus thiooxidans* solubilizadoras de enxofre e notaram durante a pesquisa que o tratamento inoculado com enxofre e bactérias *T. thiooxidans* proporcionou maior solubilização de P, elevando o P solúvel em 9 vezes, comparando-se com os tratamentos não inoculados. Os autores observaram que atividade biológica na oxidação do S foi determinante para elevar a solubilidade de P.

Conforme Pereira (1997), a minhoca *E. foetida* possui 0,8% de S do seu peso seco. O enxofre é um elemento vital, participando da síntese de aminoácidos, constituinte dos micro-organismos que bioacumulam este nutriente e são responsáveis pelo acúmulo de 1 a 3% do enxofre orgânico presente no solo Moreira & Siqueira (2006).

Tabela 12. Porcentagem de Enxofre que sobrou em relação ao colocado no início da pesquisa. UFG, Goiânia, 2013.

Tratamentos	VPI	VPF	CP	Média
	% de Enxofre			
Super simples amoniado	61,8cA	78,9cA	72,3bA	71,0
Fosfato natural de Itafós	101,3aC	179,3aA	130,4aB	137,0
Fosfatonatural de Araxá	69,7cB	102,6bA	81,1bB	84,5
Termofosfato Yoorin	82,3bA	76,9cA	81,5bA	80,2
Média	78,8	109,4	91,3	CV =14,42
Valores de F	F _{fonte de P} = 73,4**	F _{manejo} = 6,3**	F _{interação} = 8,9**	

VPI - Vermicomposto com adição de fontes de P no início da vermicompostagem VPF - Vermicomposto com adição de fontes de P depois da vermicompostagem CP - composto com adição de fontes de P no início da compostagem.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si - pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Para o enxofre houve interação entre os fatores avaliados (Tabela 12). A fonte acidulada super simples amoniado reduziu os teores de S em todos os processos avaliados. No processo VPI, VPF e CP o fosfato natural de Itafós diferiu das demais fontes com maiores teores de S elevando as porcentagens de S em 1,3%, 79,3% e 30,4% respectivamente. As menores porcentagens de S no processo VPI foram verificadas na fonte acidulada super simples amoniado, fosfato natural de Itafós e Araxá indicando consumo de S pelas minhocas durante o processo de vermicompostagem. O processo VPF obteve as maiores porcentagens de S, neste as fontes de P foram adicionadas no final da pesquisa. As fontes de fósforo utilizadas na pesquisa possuem S em sua constituição justificando os maiores teores de S em VPF, exceto para o termofosfato Yoorin. O processo CP obteve maiores porcentagens de S em relação ao processo VPI, exceto para o termofosfato Yoorin, diferindo significativamente para o fosfato natural de Itafós evidenciando ação eficiente de micro-organismos na solubilização de S. O processo VPI reduziu os teores de S em todas as fontes.

Mitchell (1997), estudando o processo de vermicompostagem verificou decréscimo nos teores de S em 7% em relação aos teores iniciais, segundo o autor o aumento da biomassa das minhocas durante o processo contribuiu para extração de S no

processo. Redução também verificada por Fornes et al. (2012) ao comparar os processo de vermicompostagem e compostagem. Durante a vermicompostagem os autores observaram um decréscimo de 88,8% de S no final do processo, porém a compostagem apresentou um acréscimo de 4,2% no final da pesquisa. Decréscimo também verificado por Subramaniana et al. (2010), em estudo de compostagem e vermicompostagem com resíduos de indústria de mandioca esterco de gado e aves, obtendo acréscimo nos teores de enxofre no processo de compostagem comparando-se com a vermicompostagem. Segundo os autores o processo de vermicompostagem reduziu em até 25 mg kg^{-1} os teores de S. Os mesmos afirmam que a intensa atividade microbiana pode ter contribuído para maior disponibilização de S no processo de compostagem.

4.7 TEORES DE POTÁSSIO, CÁLCIO, MAGNÉSIO NOS FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS, E PORCENTAGEM DE CÁLCIO QUE SOBROU EM RELAÇÃO AO COLOCADO NO INÍCIO DA PESQUISA

Com relação ao potássio não houve interação dos fatores avaliados (Tabela 13). Os resultados mostram que os maiores teores de K ocorreram no CP (Tabela 13). Não houve diferença dos teores de K entre as fontes fosfatadas. Resultados semelhantes foram obtidos por Shafiq & Ahmed (2010), comparando três modos de compostagem, os autores observaram que após a estabilização do processo de compostagem houve aumento nos teores de K total.

Tabela 13. Teor de potássio, cálcio e magnésio nos fertilizantes organominerais. UFG, Goiânia, 2013.

Tratamentos	VPI	VPF	CP	Média
Teor de K - g kg^{-1}				
Super simples amoniado	6,1	5,3	8,0	6,5
Fosfato natural de Itafós	6,4	5,9	9,2	7,2
Fosfato natural de Araxá	5,1	5,3	7,6	6,0
Termofosfato Yoorin	5,6	5,8	8,6	6,6
Média	5,8 b	5,6 b	8,3 a	CV = 7,2
Valor de F	F fonte de P =16,0*	F manejo 203,8*	F interação = 2,075 ns	

Teor de Ca - g kg^{-1}			
Super simples amoniado	64,0 bB	75,0 bA	66,2 bB
Fosfato natural de Itafós	60,8 bA	60,2 cA	60,8 cA

Fosfatonatural de Araxá	104,6 aB	108,2 aB	124,6 aA	
Termofosfato Yoorin	49,6 cB	51,8 dB	58,0 cA	
Média	69,7	73,8	77,4	CV = 5,28
Valores de F	F _{fonte de P} = 702,2**	F _{manejo} = 19,3**	F _{interação} = 11,8**	
Teor de Mg - g kg ⁻¹				
Super simples amoniado	2,2 cB	3,3 aA	3,1 aA	
Fosfato natural de Itafós	2,6 bA	2,6 bA	2,7 bA	
Fosfatonatural de Araxá	3,7 aA	3,3 aB	3,3 aB	
Termofosfato Yoorin	2,5 bA	2,6 bA	2,8 bA	
Média	2,8	2,9	2,9	CV = 7,25
Valores de F	F _{fonte de P} = 43,9*	F _{manejo} = 5,19*	F _{interação} = 12,0*	

VPI - Vermicomposto com adição de fontes de P no início da vermicompostagem VPF - Vermicomposto com adição de fontes de P depois da vermicompostagem CP - composto com adição de fontes de P no início da compostagem.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si - pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

De acordo com Moreira & Siqueira (2006) o potássio é encontrado na forma K⁺ ou em forma divalente em resíduos orgânicos, formas mais livres em resíduos, estando sujeitos a processos de lixiviação. O potássio é um nutriente de elevada solubilidade em água sendo que somente 1/3 do K presente nos resíduos orgânicos necessitam de ação de micro-organismos que possuem em seu conteúdo celular de 10 a 20 mg kg⁻¹ de K.

Fornes et al. (2012) verificaram maiores teores de K após o processo de compostagem em relação a vermicompostagem, as perdas de K no processo de vermicompostagem foram relacionados a lixiviação. Sommer (2001), estudando a perda de nutrientes durante a compostagem verificou uma redução nos teores de K de 8 a 18 % em relação aos teores iniciais de fosfato que pode estar relacionado à lixiviação do nutriente.

Para os teores de cálcio houve interação dos fatores estudados (Tabela 13). No decorrer da pesquisa os teores totais de Ca nos processos VPI, VPF e CP para as fontes de P foram: FN Araxá > super simples amoniado > FN Itafós > termofosfato Yoorin, esses teores indicam que as fontes utilizadas influenciaram nos resultados obtidos. Comparando-se VPI e CP verificam-se que os teores de Ca para FN Araxá, super simples amoniado, termofosfato Yoorin foram superiores em CP, indicando ação eficiente dos microorganismo, havendo diferença significativa para o fosfato de Araxá com teor de 104,6 g kg⁻¹ em VPI e 124, 6 g kg⁻¹ em CP e para o termofosfato Yoorin com 49,6 g kg⁻¹ em VPI e 58,00 g kg⁻¹ em CP.

A constituição dos nutrientes e sua formação mineralógica influenciaram nos teores de cálcio dos tratamentos investigados. Segundo Melo et al. (2005), o fosfato de

Araxá possui de 23 a 27% de Ca na sua constituição, fator que contribuiu para sua superioridade de Ca em relação aos demais tratamentos. Super simples amoniado contém na sua formulação de 14 a 19% de Ca (Khiehl, 2008). FN de Itafós possui aproximadamente 13% de Ca (Santos et al., 2012). O termofosfato Yoorin contendo 20% de Ca (Viana & Vasconcelos, 2008), foi a fonte de P que disponibilizou os menores teores de Ca.

Os maiores teores de Ca em CP podem ser atribuídos a ação eficiente e a adaptação dos micro-organismos na mineralização de Ca. Deka et al. (2011), comparando os processos de compostagem e vermicompostagem com resíduos vegetais e esterco bovino obteve resultados semelhantes, com maiores teores de Ca obtidos durante o processo de compostagem e redução de Ca durante a vermicompostagem.

Chuang et al. (2007), trabalhando com fungos *Aspergillus niger* na solubilização de fosfatos Ca-P, Fe-P, Al-P, verificaram que excretas de ácido glucônico produzidas por *A. niger* auxiliam na solubilização de formas recalcitrantes de Ca-P. Solubilização também realizada por minhocas que durante o processo de vermicompostagem podem reduzir as ligações entre Ca-P (Ghosh et al., 1999).

Durante o processo de vermicompostagem pode ocorrer assimilação de cálcio pelas minhocas como complemento nutricional, ou formas livres de Ca podem sofrer processos de lixiviação ocorrendo redução de Ca em vermicompostos (Suthar, 2008). Para Pereira (2000), as minhocas *Eusemia foetida* possuem em de 0,2 a 0,8% de Ca em porcentagem de peso seco.

Segundo Khiehl (1985), se fertilizantes fosfatados solúveis em água reagirem com cálcio livre ou combinável podem se tornarem insolúveis ocorrendo o fenômeno denominado retrogradação, reduzindo a eficiência agrônômica dos organominerais.

Para os teores de magnésio houve interação dos fatores estudados. Nos processos de VPI, VPF e CP o FN de Araxá diferiu significativamente dos demais tratamentos sendo a fonte de P com os maiores teores de Mg (Tabela 13). Comparando-se os processos VPI com CP apenas o FN de Araxá obteve valores superiores $3,7 \text{ g kg}^{-1}$ em VPI, no entanto todos os valores de Mg em CP foram ligeiramente superiores aos teores de Mg em VPI. Em VPF a fonte super simples amoniado foi a fonte de P que obteve maiores teores de Mg em relação a CP.

Fornes et al. (2012), comparando os processos de vermicompostagem e compostagem também verificaram reduções de magnésio durante o processo de vermicompostagem, no entanto esta redução de Mg no processo de vermicompostagem

pode ter ocorrido em decorrência dos maiores volumes de água recebido neste processo lixiviando Mg. Suthar (2009), estudando associação de bagaço de cana-de-açúcar e lodo de esgoto e minhocas *E. foetida* verificou que ação das minhocas e micro-organismos contribuem para reações de dissociação de Mg, além de ser um nutriente que pode fazer parte da nutrição das minhocas. Segundo Pereira (2000) as minhocas *Eusenia foetida* possuem em % de peso seco composição média de 0,13 a 0,3% de Mg.

Tabela 14. Porcentagem de Cálcio que sobrou em relação ao colocado no início da pesquisa. UFG, Goiânia, 2013.

Tratamentos	VPI	VPF	CP	Média
	% de cálcio			
Super simples amoniado	68,0bB	79,9cA	71,1cB	73,0
Fosfato natural de Itafós	88,1aA	86,8bA	88,6bA	87,8
Fosfatonatural de Araxá	90,6aB	94,9aB	108,5aA	98,0
Termofosfato Yoorin	49,2cB	51,3dB	56,8dA	52,4
Média	74,0	78,2	81,2	CV = 5,36
Valores de F	F _{fonte de P} = 337,9**	F _{manejo} = 15,2**	F _{interação} = 8,4**	

VPI - Vermicomposto com adição de fontes de P no início da vermicompostagem. VPF - Vermicomposto com adição de fontes de P no final da vermicompostagem. CP - composto com adição de fontes de P no início da compostagem.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si - pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Para o cálcio houve interação entre os fatores avaliados (Tabela 14). A fonte acidulada super simples amoniado nos processos VPI e CP obteve as maiores perdas de Ca diferindo de VPF, neste processo onde as fontes de P foram adicionadas no final da pesquisa o fosfato natural de Araxá diferiu significativamente das demais fontes obtendo as menores perdas de Ca. No processo VPI os fosfatos naturais de Araxá e Itafós obtiveram as menores perdas de Ca, estas fontes no decorrer da pesquisa reduziram os teores de Ca em 9,4 e 11,9% respectivamente, em VPI as maiores perdas de Ca foram para o termofosfato Yoorin e super simples amoniado 50,8 e 32% respectivamente. O processo CP associado ao fosfato natural de Araxá aumentou os teores de Ca em 8,5%, indicando intensa atividade dos microorganismos (Tabela 4), diferindo significativamente das demais fontes. Neste processo o termofosfato Yoorin obteve perdas de 43,2%. O termofosfato Yoorin nos processos VPI e CP obteve as maiores perdas de Ca.

Como foi verificado na (Tabela 14) as porcentagens de cálcio nos processos pesquisados para fontes de fósforo foram: FN Araxá > FN Itafós > super simples amoniado > termofosfato Yoorin. A formação mineralógica das fontes de fósforo e suas

características químicas influenciaram nos teores de cálcio dos tratamentos pesquisados. O fosfato de Araxá possui de 23 a 27% de Ca na sua constituição, contribuindo para sua superioridade de Ca em relação aos demais tratamentos (Melo et al., 2005). O super simples amoniado possui na sua formulação de 14 a 19% de Ca (Khiehl, 2008). FN de Itafós possui aproximadamente 13% de (Ca) (Santos et al., 2012). Segundo Viana & Vasconcelos (2008), o termofosfato Yoorin possui 20% de Ca, porém apresentou as menores porcentagens de Ca em relação o início da pesquisa (Tabela 14). Kaushik & Garg (2003), estudando o processo de vermicompostagem com diferentes resíduos orgânicos e minhocas *E. foetida* verificaram redução de cálcio entre 5,2 a 14,2% após 90 dias do processo, os autores relatam que a natureza química dos materiais interferem na dinâmica do Ca durante o processo de vermicompostagem, além de processos de lixiviação que podem contribuir para redução de Ca. Suthar (2008), também verificou que formas livres de Ca podem ser lixiviadas durante o processo de vermicompostagem, além de ocorrer reduções de Ca pela assimilação das minhocas como complemento nutricional. Fato também verificado durante a pesquisa no processo VPI. No entanto durante o processo de vermicompostagem as minhocas podem reduzir ligações entre Ca-P (Ghosh et al., 1999).

O processo CP obteve as maiores porcentagens de fósforo em todas as fontes de fósforo exceto para o super simples amoniado. Deka et al. (2011) comparando os processos de compostagem e vermicompostagem com resíduos vegetais e esterco de gado observou elevação nos teores de Ca durante o processo de compostagem e redução na vermicompostagem. Após 105 dias de compostagem os teores de Ca ficaram entre 5,7 e 5,9 mg/kg⁻¹ para os compostos. Entre os vermicompostos os teores foram de 3,1 mg/kg⁻¹ e 3,9 mg/kg⁻¹. As substâncias húmicas geradas durante a decomposição da matéria orgânica são capazes de absorverem íons de Ca e produzir novas substâncias ácidas que podem contribuir na solubilização de P de fosfatos naturais (Singh & Amberger, 1990).

4 CONCLUSÃO

O fertilizante super simples amoniado, na dose de 6 kg para 20 kg de esterco de gado, não é indicada para os processos de vermicompostagem e compostagem.

O Termofosfato Yoorin é a fonte que proporciona maiores taxas de mineralização do carbono, contribuindo para redução da matéria orgânica.

Nos vermicompostos, o fosfato natural de Itafós é a fonte de P que garantiu maiores valores de C-BM.

O pH ligeiramente ácido dos tratamentos de FN de Araxá e FN de Itafós em VPI e VPF favorece a solubilização do fósforo.

O processo de compostagem é mais eficiente na disponibilização de nutrientes em relação a vermicompostagem.

Adição das fontes de fósforo após o processo de vermicompostagem elevou a solubilidade de fósforo em ácido cítrico e em água para os fosfatos naturais de Araxá e Itafós.

5 REFERÊNCIAS

AIRA, M.; DOMÍNGUEZ, J. Earthworm effects without earthworms: Inoculation of raw organic matter with worm-worked substrates alters microbial community functioning. **Plos One**, Duke, v. 6, n. 1, p. 16354, 2011.

AIRA, M.; DOMÍNGUEZ. Microbial and nutrient stabilization of two animal manures after the transit through the gut of the earthworm *Eisenia fetida* (Savigny, 1826). **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 161, n. 2-3, p. 1234-1238, 2009.

AIRA, M.; MONROY, F.; DOMÍNGUEZ, J. Microbial biomass governs enzyme activity decay during aging of worm-worked substrates through vermicomposting. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 36 n. 2, p. 448-452, 2007.

ALCARDE, J. C. **Manual de análise de fertilizantes**. Piracicaba: FEALQ, 2009. 259 p.

ALVAREZ, V. H.; RUIZ, H. A.; MARTUNS FILHO, C. A. S.; GUARÇONI, A. M.; RODRIGUES, D. T. Crescimento de plantas de milho pela adição de vermicomposto enriquecido ou não com fosfatos e com gesso. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 51, n. 297, p. 635-647, 2004.

ARIA, M. M.; LAKZIAN, A.; HAGHNIA, G. H.; BERENJI, A. R.; BENSHARATI, H.; FOTOVAT, A. Effect of Thiobacillus, sulfur, and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate. **Bioresource Technology**, Essex, v. 101, n. 2, p. 551-554, 2010.

BANGAR, K. C.; YADAV, K. S.; MISHRA, M. M. Transformation of rock phosphate duringcomposting and the effect of humic acid. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 85, n. p. 259-266, 1985.

BENEDITO, D. SILVA.; PROCHNOW, L. I.; SILVEROL, A. C.; MARIA CRISTINA MOTTA DE TOLEDO, M. C. M. Eficiência agrônômica de Compostos organominerais obtidos pelo processo humifert. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 191-199, 2010.

BISWAS, D. R.; NARAYANASAMY, G. Rock phosphate enriched compost: An approach to improve low-grade Indian rock phosphate. **Bioresource Technology**, Essex, v. 97, n. 18, p. 2243-2251, 2006.

BRAGA, N. R.; MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A.; RAIJ, B.; FEITOSA, C. T.; HIROCE, R. Eficiência agrônômica de nove fosfatos em quatro cultivos consecutivos de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 315-319, 1991.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa para fertilizantes minerais, N° 5, de 23 de fevereiro de 2007**. Brasília, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados a agricultura**. Brasília: Secretaria de Fiscalização Agropecuária, 86p. 1983.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura**. Instrução Normativa nº 5, Brasília, 2007.

BUSATO, J. G.; S. LIMA, L. S.; O. AGUIAR, N. O.; CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L. Changes in labile phosphorus forms during maturation of vermicomposto enriched with phosphorus-solubilizing and diazotrophic bacteria, **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.110, n 2. p. 390-395, 2012.

CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T.; NOVAES, L. P.; PIRES, M. F. A.; CAMPOS, D. S. Instalações, ambiência e manejo dos dejetos. In: CAMPOS, O. F. (Ed.) **Gado de leite: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 220-239.

CARNEIRO, R. G.; MENDES, I. C. M.; LOVATO, P. E.; CARVALHO, A. M.; VIVALDI, L. J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 39, n. 7, p. 661-669, 2004.

CHAVES, A. P. Rotas tecnológicas Convencionais e alternativas para obtenção e fertilizantes. In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. **Agrominerais para o Brasil**. 3. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2010. v. cap. 5 p.45-60.

CHUANG, C. C.; KUO, Y. L.; CHAO, C. C.; CHAO, W. L. Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by *Aspergillus niger*. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 43, n. 5, p. 575-584, 2007.

COSTA, J. P.V.; BARROS, N. F.; ALBUQUERQUE, A. W.; FILHO, G .M.; SANTOS, J.R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 828-835, 2006.

CRESTE, J, E. Adubação fosfatada na cultura dos citros. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.) Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira. São Pedro. Fósforo na Agricultura Brasileira: **Anais**. Piracicaba: Potafos,157-200 p.2004.

DEKA, H.; DEKA, S.; BARUAH, C. K.; DAS, J.; HOQUE, S.; SARMA, N. S. Vermicomposting of distillation waste of citronella plant (*Cymbopogon winterianus* Jowitt.) employing *Eudrilus eugeniae*. **Bioresource Technology**, Essex, v. 102, n. 13, p. 6944-6950, 2011.

DOMÍNGUEZ, J. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. In: EDWARDS, C.A. (Ed.). **Earthworm Ecology**. 2. ed. Boca Raton: **CRC Press**, 2004. cap. 20, p. 401-424.

EDWARDS, C. A.; SUBLER, E.; ARANCON, N. Q. Vermiculture technology: earthworms, organic wastes, and environmental. In: EDWARDS, C. A.; ARANCON, N. Q.; SHERMAN. (Ed). **Quality criteria for vermicompost**. 1. ed. Boca Raton: Taylor and Francis, 2011. v. 1, cap. 18, p. 288-299.

FARIA, C. M. B. de; SILVA, D. J.; PINTO, J. M.; GOMES, T. C. A. Efeito de fosfatos naturais em plantas de melão cultivadas em vasos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 1083-1091, 2006.

FERNANDES, M. S.; **Nutrição mineral de plantas** (Ed.) Sociedade Brasileira de Ciência do solo. 1.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. v.1, 432p.

FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. **Agrominerais para o Brasil**. 3. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2010. v. 4, p.61- 88.

FORNES, F.; MENDOZA-HERNÁNDEZ, D.; GARCIA-DE-LA-FUENTE, R.; ABAD, M.; BELDA, R. M. Composting versus vermicomposting: a comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. **Bioresource Technology**, Essex, v.118, p. 296-305, 2012.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo, acumuladas em solos sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 691-699, 2007.

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

GUEDES, E. M. S.; FERNANDES, A. R.; LIMA, E. V.; GAMA, M. A. P.; SILVA, A. L. P. Fosfato natural de arad e calagem no crescimento de *Brachiaria brizanta* em Latossolo Amarelo sob pastagem degradada na Amazônia. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, v. 52, n. 52, p. 117-129, 2009.

GOSH, M.; CHATTOPADHAY, G. N.; BARAL, K. Transformation of phosphorus during vermicomposting. **Bioresource Technology**, Essex, v. 69, n. 2, p. 149-154, 1999.

GÓMEZ-BRANDÓN, M.; LORES, M.; DOMÍNGUES, J. Changes in chemical and microbiological properties of rabbit manure in a continuous-feeding vermicomposting system. **Bioresource Technology**, Essex, v. 128, p. 310-316, 2013.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Eds.). In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.).

Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira. 1.ed. São Pedro. Fósforo na Agricultura Brasileira: **Anais**. Piracicaba: Potafos, 2004. v. 1, cap. 24, p. 665 - 682, 2004.

IQBAL, M. K.; SHAFIQ, T.; AHMED, K. Effect of different techniques of composting on stability and maturity of municipal solid waste compost. **Environmental Technology**, Londres, v. 31, n. 2, p. 205-214, 2010.

KAUSHIK, P.; GARG, V. K. Vermicomposting of mixed solid textile mill sludge and cow dung with the epigeic earthworm *Eisenia foetida*. **Bioresource Technology**, Essex, v. 90, n. 3, p. 311-316, 2003.

KHAN, S. K.; JOERGENSEN, R. G. Changes in microbial biomass and P fractions in biogenic household waste compost amended with inorganic P fertilizers. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, n. 1, p. 303-309, 2009.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais**. Piracicaba: Ceres, 2008. 160p.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Ceres, 1985. 492 p.

KUMAR, V.; SINGH, K. P. Enriching vermicompost by nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria. **Bioresource Technology**, Essex, v. 76, n. 2, p. 173 – 175, 2001.

WEI, Y. Y.; AZIZ, N. A. A.; SHAMSUDDIN, Z. H.; MUSTAFA, M.; A. AZIZ, S. A.; KUAN, T. S. Enhancement of Plant Nutrient Contents in Rice Straw Vermicompost through the Addition of Rock Phosphate. **Acta Biologica Malaysiana**, Selangor, v. 1, n. 1, p. 41- 45, 2012.

LASCANO, C.; GÓMEZ-BRANDÓN, M.; DOMÍNGUES, J. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. **Chemosphere**, Oxford, v. 72, n. 7, p. 1013-1019, 2008.

LE BAYON, R.C.; BINET, F. Earthworms change the distribution and availability of phosphorous in organic substrates. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, n. 2, p. 235-246, 2006.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R.G. In: LOUREIRO, F. E. V. L.; MELAMED, R. (Ed.). **Fertilidade do solo e produtividade agrícola: histórico**. 3. ed. Rio de Janeiro: Fertilizantes agroindústria e sustentabilidade, 2009. Cap. 1, p. 33-79.

LOPES, A. S.; PEREIRA DA SIVA, C. A.; BASTOS, A. R. R. Reserva de Fosfatos e Produção de Fertilizantes Fosfatados no Brasil e no Mundo. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira. 1.ed. São Pedro. Fósforo na Agricultura Brasileira: **Anais**. Piracicaba: Potafos, 2004. v. 1, cap. 2, p. 13-34.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Tradução e Adaptação. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1998. 53 p.

LOUREIRO, F. E. V. L.; MELAMED, R. In: LOUREIRO, F. E. V. L.; MELAMED, R. (Ed.). **O fósforo na agroindústria brasileira**. 3. ed. Rio de Janeiro: Fertilizantes agroindústria e sustentabilidade, 2009. Cap. 8, p. 257-304.

LUZ, A. B.; LAPIDO-LOUREIRO, F.; SAMPAIO, J. A.; CASTILHOS, Z. C.; BEZERRA, M. S. Rochas minerais e rotas tecnológicas para produção de fertilizantes alternativos. In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. **Agrominerais para o Brasil**. 3. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2010. v. cap. 4 p. 61-88.

MACCI, C.; MASCIANDARO, G.; BRUNELLO, C. Vermicomposting of olive oil mill wastewaters. **Waste Management & Research**, London, v. 28, n. 8, p. 738-747, 2010

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 5 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 292 p.

MAPA. Instrução Normativa nº. 23, de 31 de agosto de 2005. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, **Diário Oficial**, Seção 1, 12 p.

MARTINHÃO, D.; SOUZA, G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.) Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira. São Pedro. Fósforo na agricultura brasileira : **Anais**. Piracicaba: Potafos, 2004. 157-200p.

MELO JÚNIOR, H. B.; BORGES, M. V.; DOMINGUES, M. A.; BORGES, E. N. Efeito da ação decompositora da minhoca Californiana (*Lumbricus rubellus*) na Composição Química de um Fertilizante Organomineral, **Biosciense Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 170-178, 2012.

MELO, de B.; MARCUZZO, K. V.; TEODORO, R. E. F.; CARVALHO, H. P. Fontes e doses de fósforo no desenvolvimento e produção do cafeeiro em um solo originalmente sob vegetação de cerrado de Patrocínio – MG. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, 2005. v. 29, n. 2, p. 315-321.

MITCHELL, A. Production of Eisenia fetida and vermicompost from feed-lot cattle manure. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 29, n. 3, p. 763-766, 1997.

MORAIS SÁ, J. C. Adubação fosfatada no sistema do plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.) Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira. São Pedro. Fósforo na Agricultura Brasileira: **Anais**. Piracicaba: Potafós, 2004. 201-222p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. In: LERNER, M. (Ed.). **Ecologia do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. v. 1 cap. 3, p. 83-161.

NISHANTH, D.; BISWAS, D. R. Kinetics of phosphorus and potassium release from rock phosphate and waste mica enriched compost and their effect on yield and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum*). **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, p. 3342-3353, 2008.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-550.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: DPS/UFV, 1999. 399 p.

OBA, C. A. I.; Influência de um fertilizante organo-fosfatado. In: LOUREIRO, F. E. V. L.; MELAMED, R. NETO, J, F. (Ed.). **Fertilizantes agroindústria e sustentabilidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2009. v. cap. 22, p. 573-584.

PACHECO, A. C.; TIRITAN, C. S.; MARQUES, P. A. A.; SILVA, A. F. Efeito da aplicação de fosfato natural em plantas de fáfia cultivadas a campo. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 175-186, 2012.

PARFITT, R. L.; BAISDEN, W.T.; ELLIOTT, A. H. Phosphorus inputs and outputs for New Zealand in 2001 at national and regional scales. **Journal of the Royal Society of New Zealand**, New Zealand, v. 38, n. 1, p. 37-50, 2008.

PARFITT, R.L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**, v. 30, p. 01-46, 1978.

PEREIRA, E. J. **Minhocas: manual prático sobre minhocultura**. São Paulo. 1997. 28p.

PRAMANICK, P. Changes in microbial properties and nutrient dynamics in bagasse and coir during vermicomposting: Quantification of fungal biomass through ergosterol estimation in vermicompost. **Waste Management**, Oxford, v. 30, n. 5, p. 787-79. 2010.

PRAMANICK, P.; BHATTACHARYA, S.; BHATTACHARYYA, P.; BANICK, P. Phosphorous solubilization from rock phosphate in presence of vermicomposts in Aqualfs, **Geoderma**, Amsterdam v. 152, n. 1-2, p. 16-22, 2009.

PRAMANICK, P.; G.K. GHOSHAL, P. K.; BANIK, P. Changes in organic – C, N, P and K and enzymatic activities in vermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants. **Bioresource Technology**, Essex, v. 98, n. 13, p. 2485-2495, 2007.

WANG, L.; ZHENG, Z.; ZHANG, Y.; CHAO J.; GAO, Y.; LUO, X.; ZHANG, Biostabilization enhancement of heavy metals during the vermiremediation of sewage sludge with passivant. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 244-245, p. 1-9, 2013.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343, p.

RAJASEKAR, K.; DANIEL, T.; KARMEGAM, N. Microbial enrichment of vermicompost. **ISRN Soil Science**, Tamil Nadu, v. 2012, p. 13, 2012.

RAJPAL, A.; BHARGAVA, R.; SASI, S. K.; CHOPRA, A. On site domestic organic waste treatment through vermitechnology using indigenous earthworm species. **Waste Management & Research**, Kuala Lumpur, v. 30 n. 3. p. 266-275, 2012.

SANTOS, G. A.; SOUSA, R. T. X; KORNDÖRFER, G. H. Lucratividade em função do uso e índice de eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados aplicados em pré plantio de cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 28, n. 6, p. 846-851, 2012.

SATO, S.; COMERFORD, N, B. Influence of soil pH on inorganic phosphorus sorption and desorption in a humid brazilian Ultisol. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 685-694. 2005.

SEM, B.; CHANDRA, T. S. Do earthworms affect dynamics of functional response and genetic structure of microbial community in a lab-scale composting system?. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, n. 2, p. 804-811, 2009.

SHRIVASTAVA, M.; KALE, S. P.; D'SOUZA, S. F. Rock phosphate enriched post-methanation bio-sludge from kitchen waste based biogas plant as P source for mungbean and its effect on rhizosphere phosphatase activity. **European Journal of Soil Biology**. Montrouge, v. 47, n. 3, p. 205-212, 2011.

SILVA, R. M.; GIULIETTI, M. Fosfogesso: geração, destino e desafios. In: FERNANDES, F. C. R.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, C. Z.; (Ed.) **Agrominerais para o Brasil**. Ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2010. p. 125-142.

SINGH, C.P.; AMBERGER, A. Humic substances in straw compost with rock phosphate. **Biological Wastes**, Barking, v. 31, n. 3, p. 165-174, 1990.

SINGH, D.; SUTHAR, S. Vermicomposting of herbal pharmaceutical industry solid wastes. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 39, n. p. 1-6, 2012.

SINHA, R. K.; HERATA, S.; BHARAMBE, G.; BRAHAMBHATT, A. Vermistabilization of sewage sludge (biosolids) by earthworms: converting a potential biohazard destined for landfill disposal into a pathogen-free, nutritive and safe biofertilizer for farms. **Waste Management & Research**, London, v. 28 n. 10, p. 872-881, 2010.

SIQUEIRA, J. O.; ANDRADE, A. T.; FAQUIN, V. O. Papel dos Micro-organismos Na Disponibilização e Aquisição de Fósforo pelas Plantas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira**. São Pedro. Fósforo na Agricultura Brasileira: **Anais**. Piracicaba: Potafos, 2004. 118-149p.

SIQUEIRA, J.; MOREIRA, F. M. S.; O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. In: LERNER, M. (Ed.). **Ecologia do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 1997. v. 1 cap. 3, p. 83-161.

SOMMER, S. G. Effect of composting on nutrient loss and nitrogen availability of cattle deep litter. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam v. 14, n. 2, p. 123-133, 2001.

SOUZA, E. C. A.; YASUDA, M. Uso agronômico do termofosfato no Brasil. In: LOUREIRO, F. E. V. L.; MELAMED, R. (Ed.). **Fertilizantes agroindústria e sustentabilidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2009. cap. 21, p. 545-573.

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; ANDRADE, A. T.; TORRES, P. R. F. Formas de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1535-1544, 2007.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 163 p.

SUBRAMANIANA, S.; SIVARAJANB, M.; SARAVANAPRIYAA, S. Chemical changes during vermicomposting of sago industry solid wastes. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 179, n. 1-3, p. 318-322, 2010.

SUTHAR, S.; MUTIYAR, P. K.; SING, S. Vermicomposting of milk processing industry sludge spiked with plant wastes. **Bioresource Technology**, Essex, v. 116, p. 214-219, 2012.

SUTHAR, S. Pilot-scale vermireactors for sewage sludge stabilization and metal remediation process: comparison with small-scale vermireactors. **Ecological Engineering**. Oxford, v. 36, n. 5, p. 703-712, 2010.

SUTHAR, S. Vermistabilization of municipal sewage sludge amended with sugarcane trash using epigeic *Eisenia fetida* (Oligochaeta). **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 163, n. 1, p. 199-206, 2009.

SUTHAR, S.; SINGH, S. Feasibility of vermicomposting in biostabilization sludge from a distillery industry. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 394, n. 2-3, p. 237-243, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Transporte de Solutos. In: SANTAREM, E. R. (Ed.). **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. v. 2, cap. 6, p. 115-136.

TIECHER, T.; SANTOS, D. R.; KAMINSKI, J.; CALEGARI, A.; Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 271-282, 2012.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**. 2.ed. NewYork; Macmilian, 1966. 694p.

TOGNETTI, C.; LAOS, F.; MAZZARINO, M, J.; HERNANDEZ, M. T. Composting vs. vermicomposting: a comparison of end product quality. **Compost Science and Utilization**. Emmaus v.13, p.6-13, 2005.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. **Soil Biology & Biochemistry**. Oxford. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VASSILEVA, M.; MERCEDES, S.; BRAVO, V.; JURADO, E.; NIKOLAEVA, L.; MARTOS, V.; VASSILEV, N. Multifunctional properties of phosphate-solubilizing microorganisms grown on agro industrial wastes in fermentation and soil conditions. **Microbiology & Biotechnology**. Berlin, v. 85, n. 5, p. 1287-1299, 2010.

VIANA, E.; M. VASCONCELOS, A. C.F. Produção de alface adubada com termofosfato e adubos orgânicos. **Ciências Agronômicas**, Fortaleza, v. 39, n. 02, p. 217-224, 2008.

VITTI, G. C.; WIT, A.; FERNANDES, B. E. P. Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos alternativos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira**. 1.ed. São Pedro. Fósforo na Agricultura Brasileira **Anais**. Piracicaba: Potafos, 2004. v. 1, cap. 25, p. 689 - 724.