

EFETOS DE DIFERENTES PROPORÇÕES DE ROCHAS MOÍDAS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Effects of rock dust's proportions in the process of compost making

Pedro Höfig¹, Éder de Souza Martins², Tiago Broetto³, Elvio Giasson⁴, Bernardo Santos Arantes⁵

¹Agricultor, MSc. em Ciência do Solo e doutorando pelo Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais da UnB, Planaltina, Brasil. Orcid 0000-0003-4200-6382 e e-mail pedro.hofig@ah.agr.br

²Geólogo, Dsc., Pesquisador, Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - CPAC/Embrapa, Planaltina-DF, Brasil. Orcid 0000-0003-2881-683X e e-mail eder.martins@embrapa.br

³Doutor em Ciência do Solo, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, Brasil, Orcid 0000-0002-8240-9074 e e-mail tiagobroetto@gmail.com

⁴Engenheiro Agrônomo. Professor Dr. do Departamento de Solos da UFRGS. Porto Alegre, Brasil. Orcid 0000-0003-3659-6873 e e-mail giasson@ufrgs.br

⁵Engenheiro Agrônomo. Uberlândia, Brasil, e-mail bernardo@agrolibertas.com.br

RESUMO

Os fatores operacionais e econômicos geralmente determinam a dose máxima de composto aplicado por hectare, sendo que o uso de remineralizadores implica em uma diminuição da parte orgânica do adubo aplicado. Esse trabalho avaliou cinco tratamentos de compostagem e a qualidade de seus respectivos produtos finais. Para verificar a influência que os pós de rochas possuem no processo de compostagem e no fertilizante final, foram realizados tratamentos com proporções de rochas moídas de 15%, 30%, 45% e 60%, além de um tratamento testemunha sem parte mineral. Foram analisadas características químicas, biológicas, orgânicas e sanitárias do composto. Considerando todos os atributos avaliados pelo trabalho, a proporção de 30% de remineralizador foi a que apresentou os melhores benefícios no composto final.

Palavras chaves: Fertilizante Orgânico, Agromineral Silicático, Resíduos, Recursos Locais.

ABSTRACT

Operational and economic factors normally define the maximum doses of compost that are used per hectare, and the use of remineralizer implies a decrease of the organic part of the applied compost. This paperwork analyzes five compost treatments and the quality of their respective final products. To verify the influence that rock dust has on the composting process and on final fertilizer, treatments were performed with rock dust proportions of 15%, 30%, 45% and 60%, in addition to a control treatment without mineral part. Chemical, biological, organic and sanitary characteristics of the compost were analysed. Considering all the attributes analysed in this study, the proportion of 30% was the one that presented the best benefits to the final compost.

Keywords: Organic Fertilizer, Silicate Agromineral, Waste, Local Resources

INTRODUÇÃO

A agricultura convencional moderna está ligada à dependência completa dos agricultores de insumos importados na forma de *commodities*, envolvendo principalmente grandes máquinas, sementes, agrotóxicos e fertilizantes (CLEMENT, 1999). Contudo, uma alternativa para que o protagonismo seja principalmente do agricultor é a ênfase na adoção da tecnologia intermediária em vez das tecnologias capital-intensivas, na qual seja privilegiado o uso de mais mão de obra local e seja potencializado o uso dos recursos locais e regionais (COSTA, 2017). Neste sentido, produzir seu próprio adubo demonstra a evolução, a consciência e o sucesso da resistência e empoderamento dos agricultores e da agricultura na construção de uma nova realidade, superando as vontades do mercado e da ciência submissa (PINHEIRO, 2018).

A compostagem é um procedimento que visa acelerar e direcionar o processo de decomposição de materiais orgânicos que ocorre espontaneamente na natureza (BERTON et al., 2021). Com isso, os sólidos biodegradáveis da matéria orgânica são convertidos para um estado estável que pode ser manejado, estocado e utilizado como adubo orgânico sem efeitos nocivos ao ambiente (ORRICO et al., 2007). Ademais, a técnica de inserir rochas moídas na compostagem aumenta a concentração de nutrientes do produto e acelera a solubilização dos minerais, aumentando o potencial nutricional do adubo (ISHIMURA et al., 2006).

Muito embora a compostagem conjunta de pós de rochas e materiais orgânicos possa ser benéfica para o intemperismo biológico dos minerais das rochas e para a qualidade final do produto (ISHIMURA et al., 2006; THEODORO, 2020), a literatura aponta que existem mais estudos tratando a aplicação dos compostos orgânicos e rochas moídas como dois produtos diferentes, ainda que aplicados de forma concomitante (BASAK, et al., 2020; CAMPBELL, 2009; HALLER, 2011; JONES et al., 2009; LI et al., 2020; O'BRIEN et al., 1999; ROCHA, 2006; SWOBODA, 2016; TAVARES et al. 2018; THEODORO et al., 2012). Percebe-se, com isso, que mais pesquisas são necessárias para determinar quais são os melhores tipos de rochas moídas a serem adicionadas, seu percentual na mistura com o composto orgânico na

leira de compostagem e o seu efeito na qualidade do composto (SZMIDT e FERGUSON, 2004).

Os fatores operacionais e econômicos geralmente determinam a dose máxima de composto aplicado por hectare, sendo que o uso de farinhas de rochas implica em uma diminuição da parte orgânica do composto aplicado. Sendo assim, é essencial estudos que avaliem a qualidade de fertilizantes produzidos em compostagem conjunta de agrominerais silicáticos e resíduos orgânicos. Neste sentido, esse trabalho avaliou cinco tratamentos de compostagem com diferentes proporções de remineralizadores e a qualidade de seus respectivos produtos finais.

METODOLOGIA

O experimento foi realizado no Noroeste de Minas Gerais, em Unaí, coordenadas 47°17'49,107"W 16°35'42,603"S na Fazenda Ouro Verde, produtora de café. A área situa-se em clima classificado por Köppen como clima Aw, caracterizado como clima tropical com estação seca no inverno (AYOADE, 2003).

Para montagem das leiras, foram construídos montes com o uso de uma pá carregadeira com concha de 2 m³. Cada tratamento formou uma leira de 40 m, com aproximadamente 1,5 m de altura e 2 m de largura. Os ingredientes orgânicos utilizados foram provenientes da fazenda, enquanto, a parte mineral, tem origem regional. Os componentes utilizados para a produção do composto foram cama de bovino, cavaco de cafeeiro, casca de café, agromineral calcixisto e gesso agrícola (Tabela 1), além de 5% de composto maduro, como inoculante. A cama de bovino foi constituída de casca de café e dejetos de bovinos. A casca de café foi colocada em um confinamento sem cobertura, com espessura média inicial de 10 cm. Os bovinos ficaram por cerca de 90 dias excretando seus resíduos sobre este material. Todos os materiais foram analisados separadamente em laboratório antes do início do processo compostagem e, considerando a relação C:N de cada uma das matérias primas, obteve-se uma média de relação C:N inicial de 45.

Tabela 1: Relação C:N, densidade e teores de nutrientes totais das matérias primas utilizadas na compostagem. Legenda: LQ (limite de quantificação).

Parâmetro	LQ	Incerteza	Cama de bovino	Cavaco de cafeeiro	Casca de café	Calcixisto	Gesso agrícola
Relação C:N			22,8	80	35		
Densidade (g/cm ³)	0,1	0,02	0,51	0,4	0,3	1,2	0,9
Umidade (%)			22	27	30	7	18
Matéria orgânica (%)	3,1	6	53,8	71	64,3		
Carbono orgânico (%)	1,8	1,1	31,23	41,2	37,3		
Nitrogênio (%)	0,5	0,02	1,37	0,52	0,63		
Fósforo (P) (%)	1	0,02	0,48	<1	<1		
Potássio (K) (%)	1	0,02	2,91	<1	1,66	2,2	
Cálcio (Ca) (%)	0,5	0,03	2,14	0,67	<0,5	9,3	19,3
Magnésio (Mg) (%)	0,05	0,02	0,6	<0,5	<0,5	4,3	
Enxofre (S) (%)	1	0,784	<1	<1	<1		15,6
Silício (Si)	0,05	0,3				20,47	

Fonte: Höfig et al. (2022).

Para avaliar a influência que os pós de rochas possuem no processo de compostagem e no produto final, foram realizados quatro tratamentos com diferentes proporções de rochas moídas (Tabela 2), além de um tratamento testemunha sem material de origem mineral.

Tabela 2. Tratamentos contendo diferentes proporções de matérias primas para a produção de composto enriquecido com remineralizador.

Tratamento	Calcixisto	Gesso	Cama de bovino	Casca de café	Cavaco de cafeeiro
% em massa					
T0	0	0	45	20	35
T1	10	5	40	15	30
T2	25	5	35	10	25
T3	40	5	25	10	20
T4	55	5	20	5	15

Fonte: Höfig et al. (2022).

No T0, foram utilizadas 4 conchas de cama de bovino, 3,5 conchas de palha de café e 4,5 conchas de cavaco de café. No T1, 4 conchas de cama de bovino, 3 conchas de palha de café

e 4,5 conchas de cavaco de café. Como estão em pequenas quantidades, após a formação da leira, foi adicionado 58 kg/m de leira de gesso agrícola e 102 kg/m de leira de calcixisto. Já no T2, foram usadas 4,5 conchas de cama de bovino, 2 de palha de café, 3,5 de cavaco de café e 1 de calcixisto. Ainda foi adicionado 68 kg/m de gesso agrícola com a leira formada. No T3, usou-se 2,5 conchas de cama de bovino, 2 de palha de café, 3 de cavaco de café e 1,5 de calcixisto, com 76 kg/m de leira de gesso agrícola. No T4, foram 3 conchas de cama de bovino, 1,5 de palha de café, 3,5 de cavaco de café e 3 de calcixisto, além de 94 kg de gesso/m de leira.

A compostagem aconteceu entre 14 de agosto de 2021 e 16 de outubro de 2021. Foram registrados diariamente a temperatura das leiras, a umidade, o cheiro, bem como as atividades realizadas para manutenção da aeração e do umedecimento. A temperatura foi medida com termômetro digital tipo espeto e a umidade do composto foi avaliada pelo tato. A realização da aeração do adubo foi feita com o compostador Jaguar JC 4000 e, a umidificação, com um tanque pipa de 20 mil litros rebocável, de acordo com os dados obtidos no monitoramento diário.

O manejo foi realizado em pátio aberto sobre piso de terra compactado, mantendo as leiras com umidade entre 50 e 60% até a fase de maturação. Com o composto pronto, foram coletadas subamostras em diversos pontos da leira, a uma profundidade de 30 cm, totalizando 20 kg de material coletado. Esse material foi misturado para formar uma amostra composta homogênea, da qual uma amostra de 1 kg foi enviada para análise no Laboratório Andrios, onde foram analisadas características químicas e biológicas do composto orgânico, consistindo de avaliação dos nutrientes totais, composição orgânica (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003), análise sanitária (uso do kit COLItest® e testes de germinação conduzido em casa de vegetação) e biológica (TABATABAI, 1994; DÖBEREINER et al., 1995; KASANA et al., 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o percentual correto da parte orgânica e mineral, não se interfere negativamente na atividade microbiana do composto e se possibilita o aproveitamento das temperaturas e os ácidos formados durante o processo de compostagem para propiciar e acelerar reações entre as duas porções. Assim, parte desses minerais ficam disponíveis e ao mesmo tempo protegidos, ligados à parte orgânica, de perdas por volatilização, lixiviação e adsorção. A presença de calor nas leiras representa a primeira indicação de que o processo de compostagem está se desenvolvendo, e que a matéria prima a ser compostada tem microrganismos que decompõe a matéria orgânica, havendo umidade adequada e oxigênio (CALDEIRA et al., 2012). O monitoramento diário da temperatura das leiras demonstra que houve o processo de compostagem em todos tratamentos. Notou-se a ocorrência das fases inicial, termófila, e o início da fase de maturação (INÁCIO e MILLER, 2009).

A temperatura de todas leiras durante o processo de compostagem ficou por, pelo menos, 14 dias maior que 55°C ou três dias maior 65°C, atendendo o período de tempo e temperatura necessários para higienização dos resíduos sólidos orgânicos determinado pela Resolução nº 481, de 3 de outubro de 2017 (BRASIL, 2017). No entanto, os tratamentos T3 e T4 se mostraram menos quentes (Figura 1). Mukhtar et al. (2004) e Paiva et al. (2011) relataram que a temperatura máxima citada em trabalhos apresentados na literatura para material orgânico submetido a compostagem está em torno de 71°C. Com a temperatura acima de 65°C, a atividade microbiana foi diminuída; já em temperaturas acima de 71°C, foi interrompida.

Diferente de nosso estudo, Sikora (2004) não encontrou benefícios nas fases iniciais de compostagem e ganhos pequenos e insignificantes de temperatura durante a fase de maturação, em compostagem com o uso de pó de basalto. Em contrapartida, Graham (2001) e Szmids (2004) constataram aumentos significativos na temperatura da compostagem envolvendo uma mistura de basalto moído com sedimento fino de origem glacial (*glacial silt*) e carcaças de aves. Garcia-Gomez, Szmids e Roig (2002) observaram o aumento dos

indicadores de atividade biológica e da temperatura na fase mesofílica com uso de uma mistura de *glacial silt* e quartzo dolerito em compostagem envolvendo cogumelos.

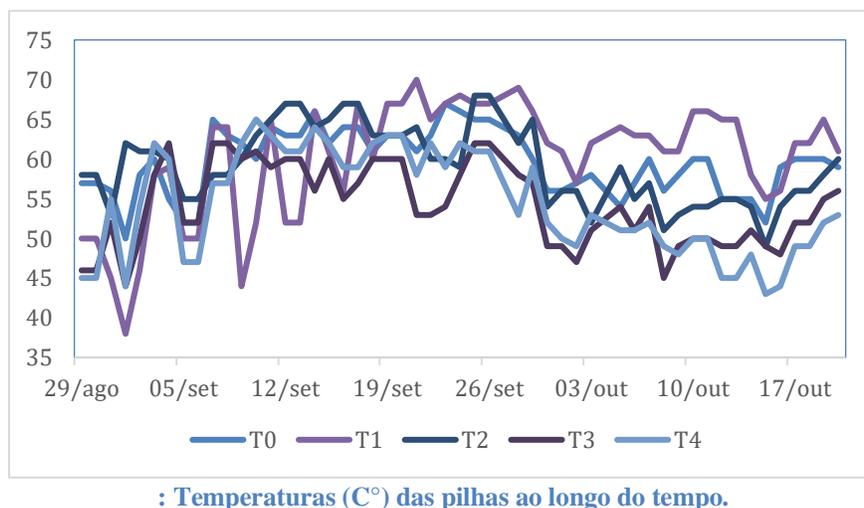


Figura 1: Temperatura (C°) das leiras de compostagem ao longo do tempo.

Os tratamentos T3 e T4 apresentaram maior dificuldade no manejo que os T0, T1 e T2. Devido a maior densidade, os compostos T3 e T4 compactaram com maior frequência, o que gerou dificuldade para que a leira chegasse na umidade ideal de 60%, já que a água não penetrava na leira e escorria. Após ter chegado na umidade pretendida, o material apresentou um ambiente anaeróbico, o que criou cheiro de enxofre. Esses tratamentos demonstraram ter predominância de uma camada de atividade biológica denominada como fria central, com menor atividade biológica devido à falta de oxigênio (KHATOUNIAN, 2001). Com isso, essas leiras demandaram um manejo mais intenso, necessitando de mais revolvimentos para aeração e exigindo mais potência do trator, devido a maior densidade. Ademais, notou-se que o processo de compostagem desses tratamentos foi mais rápido, já que havia menos matéria orgânica e, portanto, menos alimento para os microrganismos, apresentando menor atividade após o décimo quarto dia.

Já os tratamentos T0, T1 e T2 demandaram um manejo mais simples, uma vez que a água penetrava com mais facilidade no material. Isso fez com a leira chegasse na umidade de 60%

mais rapidamente. Além disso, como o produto não compactava com tanta facilidade, o ambiente não ficou predominantemente anaeróbico em nenhum momento e o composto não apresentou cheiro de enxofre, necessitando de menos revolvimento. Notou-se, portanto, diferenças no comportamento da compostagem e no manejo na leira entre os tratamentos T0, T1 e T2 com os tratamentos T3 e T4, sendo, com isso, o limite de 30% de material mineral como divisor de características. Koepf et al. (1986) apontaram que é vantajoso ter-se um mínimo de 5-10% de pó de basalto em qualquer composto, mas não mais que 30%. Curtis et al. (2023) também encontraram vantagens no uso de 30% de pó de basalto na mistura com cama de frango.

Os tratamentos T1 e T2 apresentaram picos de temperaturas mais altas que o tratamento T0, o que demonstra que a existência de agrominerais silicáticos estimula a atividade biológica. Tavares et al. (2018) constataram que o uso de fonolito como componente inicial na compostagem potencializou a biorrelação de nutrientes da fonte mineral. Lima e Gomes (2011) concluíram que o enriquecimento mineral com pós de rochas de serpentinito e micaxisto favoreceu a atividade biológica e acelerou o processo de compostagem tanto nos compostos à base de borra de vinhaça quanto naqueles à base de cama de galinha.

No que tange à análise sanitária, todos tratamentos do presente trabalho apresentaram ausência de coliformes totais e de germinação de plantas espontâneas. Isso demonstra que a compostagem foi bem realizada e aqueceu até uma temperatura entre 60 a 70° C por um período mínimo e suficiente para eliminar microrganismos patogênicos e sementes viáveis de plantas daninhas (LEPESTEUR, 2021) (Tabela 3). Alguns estudos demonstram que o aumento da temperatura da leira do composto devido à proliferação de microrganismos exotérmicos é essencial na eliminação de transmissores de doenças e de sementes de plantas indesejadas (PEREIRA-NETO, 1998; ZHU, 2007; ORRICO JÚNIOR et al., 2009; ORRICO-JÚNIOR et al., 2010; HECK et al., 2013). Neste sentido, diversos trabalhos demonstram que o não aquecimento da leira até a temperatura ideal por alguns dias gera compostos com presença de patógenos (ARAÚJO, 2011; LEITE et al., 2011; CALDEIRA et al., 2012).

Em relação à caracterização química dos compostos, o pH final de todos os adubos foi alcalino, o que é considerado ideal (RODRIGUES et al., 2006), de forma semelhante aos valores encontrados em outros estudos (ABID e SAYADI, 2006; DEON et al., 2007; JAHNEL et al., 1999).

Tabela 3 - Caracterização química, física, orgânica e biológica dos compostos orgânicos produzidos com os diferentes tratamentos. PNF (Paranitrofenil fosfato). PNG (p-nitrofenil- β -D-glicosídeo). NMP (Número mais provável). T0 (Tratamento sem pó de rocha). T1 (Tratamento com 10% de pó de rocha). T2 (Tratamento com 25% de pó de rocha). T3 (Tratamento com 40% de pó de rocha). T4 (Tratamento com 55% de pó de rocha).

Determinação	Unidade	Base	Tratamento					
			T0	T1	T2	T3	T4	
pH CaCl ₂		Úmida	8,9	8,3	8,3	8,3	8,2	
Relação C:N			16	13	13	11	10	
Densidade	g.cm ⁻³		0,45	0,54	0,55	0,64	0,64	
Umidade			40,55	42,57	35,27	35,13	22,67	
Nitrogênio (N) Total	%	Seca	1,21	1,53	1	0,94	0,78	
Fósforo (P) Total			1,21	0,92	0,83	0,57	0,52	
Potássio (K) Total			2,02	1,62	1,19	0,94	0,8	
Cálcio (Ca) Total			4,66	4,68	7,94	8,8	9,97	
Magnésio (Mg) Total			0,93	1,04	1,85	2,14	2,69	
Enxofre (S) Total			0,4	0,96	0,8	1,2	1,2	
Silício (Si) Total			12	10	13,6	14,8	17,2	
CTC			mmol.c.kg ⁻¹	380	380	220	150	140
Matéria orgânica total			%	35,38	34,46	23,27	19,33	14,13
Carbono orgânico				19,76	19,14	12,93	10,74	7,85
Ácido húmico (AH)	g.kg ⁻¹ C orgânico		24,8	7,86	21,64	13,09	14,38	
Ácido fúlvico (AF)			14,96	18,86	15,97	14,79	11,19	
Relação AH/AF			1,66	0,42	1,36	0,89	1,29	
Fosfatase ácida	$\mu\text{g PNF.g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	Úmida	708	849	818	985	655	
Beta-glicosidase	$\mu\text{g PNG.g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$		183	160	189	167	89	
Microrganismos celulolíticos	NMP.g ⁻¹		2,40E+08	4,62E+07	4,62E+07	7,36E+04	2,40E+08	
Microrganismos diazotróficos			2,31E+02	3,57E+01	9,17E+01	3,57E+01	3,57E+01	
Taxa de germinação P.I. – areia	%			50	50	50	50	50
Taxa de germinação P.I. – 1%				70	80	60	80	50
Germinação de plantas espontâneas	Presença ou ausência			Ausência				
Coliformes totais								

Fonte: Höfig et al. (2022).

O tratamento T1, com a presença de gesso, foi o material que apresentou maior teor de nitrogênio, já que este produto atenua a perda deste elemento por volatilização (TUBAIL et al., 2008) e ainda havia 85% de produtos orgânicos, fonte de N, na receita. O T0, com maior teor de materiais orgânicos, apresentou o segundo maior teor de nitrogênio, sendo que nos outros tratamentos o teor de nitrogênio reduziu com o aumento do teor mineral na mistura inicial do composto. Em relação ao fósforo, como sua fonte principal era o material orgânico, seu percentual diminuiu de acordo com o aumento da quantidade mineral na mistura inicial do composto. Os teores de potássio também reduziram com o aumento do teor mineral na mistura inicial do composto: ainda que o calcixisto apresente este elemento em sua constituição, a cama de bovino e a casca de café apresentam teores maiores e, por isso, o teor desse elemento no composto produzido reduziu-se à medida que se aumentou o percentual de mineral na mistura inicial do composto.

Já os valores de Ca e Mg aumentaram de acordo com o aumento do teor do remineralizador na mistura inicial do composto, já que estes elementos se encontram em maiores valores no calcixisto, além da existência de cálcio no gesso. Goedert (1989) aponta que a pequena quantidade de cálcio é uma grande limitação dos solos do Cerrado e Scheller (2000) destaca os teores baixos de magnésio nos Latossolos dos trópicos, o que reforça a importância desses nutrientes nos fertilizantes utilizados nessas regiões. O teor de enxofre no composto final também subiu com o aumento de percentual de rochas moídas na mistura inicial do composto, o que indica que o aumento do teor mineral pode inibir a emissão de gases que contêm esse elemento. Graham (2001) e Szmids (2004) perceberam a diminuição da presença de amônia e maior retenção de nitrogênio nos compostos produzidos com pó de rocha. No tocante ao silício, seu teor no fertilizante produzido foi crescente do T2 ao T4, pois o teor do agromineral era maior na mistura inicial do composto. No entanto, o T0 apresentou teor maior desse elemento do que o T1, ainda que não tenha sido utilizado este remineralizador na mistura inicial do no primeiro tratamento. Isso demonstra a existência de silício nos materiais orgânicos que, todavia, não foram considerados nas análises químicas.

No que tange à relação C:N, com exceção do tratamento T0, todos tratamentos apresentaram valores menores que 15, o que demonstra a bioestabilização do material (HAYNES, 1986). Já a relação C:N do T0 é um indicativo de que o material ainda estava compostando quando foi coletado para a análise final e de que o pó de rocha acelera o processo de compostagem. Jimenez e Garcia (1989) ressaltam, contudo, que, devido às diferenças de materiais em cada compostagem, uma relação C:N entre 20 e 10 não indica necessariamente que o composto já esteja bioestabilizado.

Sobre a CTC, valores maiores que $100 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ são considerados bons (KIEHL, 2004). No presente estudo, o valor da CTC do composto produzido decresceu de acordo com o aumento do teor de remineralizador na receita, acompanhando a queda no teor de matéria orgânica, embora ainda alcançando valores superiores que $100 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. O alto valor de CTC também demonstra o grau de maturação dos compostos, já que isso está relacionado com o processo de humificação da matéria orgânica (CEGARRA et al., 1983).

As substâncias húmicas possuem relação direta com o grau de maturação do composto. Os ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF) são formados pela ação de microorganismos especializados que transformam os restos orgânicos em material humificado. O húmus possui propriedades físico-químicas inteiramente diferentes do material original e a predominância de ácidos húmicos sobre os fúlvicos no final da compostagem é um indicativo de humificação adequada dos resíduos avaliados conforme desejado, já que os ácidos fúlvicos contém elementos facilmente degradáveis (SILVA et al., 2009).

A relação AH/AF é tida como referência para o grau de humificação de compostos orgânicos e, quanto maior a relação AH/AF, mais humificado é o composto (IGLESIAS-JIMENEZ e PEREZ-GARCIA, 1992; RIFFALDI et al, 1992). Desta forma, nota-se que os tratamentos T0 e T2 foram mais maturados, apresentando valores da relação AH/AF de, respectivamente, 1,66 e 1,36, e também indicadores de humificação melhores que Höfig et al. (2022) obtiveram em trabalho de compostagem com materiais semelhantes. Ko et al. (2008) afirmam que um composto bem humificado deve apresentar relação AH/AF maior que 1,6.

Contudo, Bernal et al. (1996) constatam que não é possível estabelecer um valor universal para descrever e prever o grau de maturação de compostos de composições distintas. Garcia-Gómez et al. (2005) encontram valor da relação AH/AF que variam 0,5 e 2,0 de acordo com o composto avaliado. Já Francou et al. (2005) diagnosticaram variações entre 1,2 e 4,3 em diferentes materiais compostados. Contudo, considerando o efeito, em clima tropical, da matéria orgânica não decomposta na melhora da atividade biológica e estrutura do solo (PRIMAVESI, 2021), em alguns locais no Brasil, tem-se terminado o manejo da compostagem antes da fase de maturação, para que essa fase ocorra na lavoura. Magalhães et al. (2021), por exemplo, consideraram o composto feito com resíduos da agroindústria do palmito pronto com 45 dias, assim como Höfig et al (2022).

Neste sentido, a análise biológica avalia a sua atividade e os processos derivados dela, como a ciclagem de nutrientes e a formação e decomposição da matéria orgânica do solo (MENDES et al., 2021). Os resultados biológicos mostraram que o composto apresenta característica de um inoculante, isto é, contém microrganismos com atuação favorável ao crescimento das plantas (Tabela 3). Os microrganismos diazotróficos de vida livre, que são fixadores de nitrogênio atmosférico (SOUSA et al., 2020), justificam o aumento deste nutriente existente nos compostos finais em relação aos valores das matérias primas. A fixação desse nutriente por organismos especializados se dá principalmente quando o composto está curado, quase seco e não contém nitrogênio amoniacal (COTTA et al., 2015). Já os microrganismos celulolíticos, que estão vinculados ao ciclo do carbono, decomposição da matéria orgânica e disponibilização de nutrientes (CERRI et al., 1992), explicam a diminuição no teor de matéria orgânica dos fertilizantes finais em relação aos valores dos materiais iniciais.

Notou-se, ainda, um estímulo dos microrganismos celulolíticos com aumento do percentual de rochas moídas, até o tratamento T3 e, para os diazotróficos, em todos tratamentos, com destaque para o T2. É natural que os minerais estimulem a atividade biológica, pois o pó de rocha serve como alimento para os fungos e bactérias (UROZ et al., 2015). Esse é um processo natural de intemperismo biológico para formação dos solos, um mecanismo que a

natureza utiliza ao longo do processo de transformação das rochas em solos (THEODORO, 2020).

Em relação às enzimas, a funcionalidade destes grupos microbianos afeta diretamente a qualidade e a fertilidade do solo e contribui para o funcionamento dos ecossistemas (BROOKES, 1995). A presença da β -glicosidade, indicadora de qualidade biológica do solo (PAZUTTI e CHAER, 2012) e relacionada com a ciclagem de carbono (PINHEIRO, 2011), também afetou na decomposição da matéria orgânica dos compostos, ainda que no tratamento T4 tenha se notado queda acentuada no valor desta enzima (Tabela 3). Já a presença da enzima fosfatase ácida, associada ao ciclo do fósforo e reveladora da alta atividade de microrganismos mineralizadores de fósforo (DICK e TABATABAI, 1993), explica o aumento percentual no teor de fósforo dos produtos finais em relação às matérias primas. Pinheiro (2011) afirma que tais enzimas são indicadores de saúde do solo e são produtos de altíssima rentabilidade comercial para as empresas de biotecnologia. Höfig et al. (2022), em estudo de compostagem com materiais semelhantes ao deste estudo e com teor de remineralizador próximo ao do tratamento T2, apresentou valores mais altos de β – glicosidase. Para a fosfatase ácida, apenas o T3 alcançou números maiores (Tabela 3).

Melo (2007) constatou que, de um modo geral, o uso do lodo de esgoto compostado aumenta a atividade enzimática do solo. Vinhal-Freitas et al. (2010) analisaram a atividade enzimática e microbiana em solo tratado com composto orgânico oriundo de resíduos domésticos e relataram que as enzimas β -glicosidase e a fosfatase ácida foram fortemente influenciadas pela adição do adubo, aumentando significativamente, assim como a atividade microbiana. Esse conjunto de inoculantes, acoplado a substâncias orgânicas complexas, altera para melhor a eficiência de absorção dos elementos minerais no solo, na medida em que favorecem a ativação biológica do mesmo.

Entretanto, Tíquia e Tan (1998) apontam que o índice de germinação de sementes deve ser maior que 80%. A avaliação de germinação realizada com sementes de plantas indicadoras mostrou que todos os testes que receberam compostos não apresentaram fitotoxidez. Estudos

apontam que o material é considerado fitotóxico quando o índice de germinação é menor do que 80% em relação ao controle (ARSAND et al., 2022), o que demonstra os fertilizantes produzidos não apresentam fitotoxidez. Da mesma forma, Aquino (2003) também não encontrou fitotoxidez em teste de germinação com material oriundo de compostagem de resíduos domésticos, assim como Höfig et al. (2022).

No tocante aos macronutrientes, grande parte de suas concentrações no composto é determinada pelo teor dos mesmos em cada ingrediente utilizado na compostagem. Não obstante, a comparação entre os componentes das matérias primas e seu percentual na mistura inicial do composto em relação ao produto final demonstra que existem variações consideráveis (Tabela 4), mas ressalta-se também a heterogeneidade existente dentro dos próprios materiais originários, bem como as limitações laboratoriais.

Tabela 4 – Variação dos teores dos elementos químicos na matéria prima inicial e nos produtos finais.

Elemento (total) %	T0		T1		T2		T3		T4	
	Inicial	Final								
Nitrogênio (N)	0,92	1,21	0,80	1,53	0,67	1	0,51	0,94	0,78	0,38
Fósforo (P)	0,22	0,53	0,19	0,40	0,17	0,36	0,12	0,25	0,23	0,10
Potássio (K)	1,64	1,68	1,64	1,34	1,74	0,99	1,79	0,78	0,66	1,90
Cálcio (Ca)	1,20	4,66	2,96	4,68	4,22	7,94	5,37	8,8	9,97	6,64
Magnésio (Mg)	0,27	0,93	0,67	1,04	1,30	1,85	1,89	2,14	2,69	2,51
Enxofre (S)	0	0,4	0,78	0,96	0,78	0,8	0,78	1,2	1,2	0,78
Silício (Si)	N.D.	12	4,38	10	10,51	13,6	17,52	14,8	17,2	24,09
MO	61,92	35,38	52,47	34,46	43,01	23,27	34,08	19,33	14,13	24,63

Fonte: Höfig et al. (2022). Legenda: ND (Não Determinada)

No tratamento testemunha (T0), nota-se que, considerando as matérias primas e o produto final, o teor de todos nutrientes aumentou. Importante destacar o teor de silício neste composto, já que não houve adição de materiais minerais além do presente no composto maduro utilizado como inoculante, o que demonstra a existência de quantidades consideráveis de silício nos materiais orgânicos utilizados. Já os teores de silício nos compostos produzidos pelos outros tratamentos estão relacionados com a adição de

calcixisto. O silício é um dos elementos que tem tido seu potencial confirmado como redutor da incidência e severidade de doenças em diversas culturas (CARVALHO et al., 2012), estando diretamente ligado à resistência mecânica das plantas e a estrutura anatômica e flexibilidade dos vegetais (RESTREPO e PINHEIRO, 2010). Existem estudos que demonstram sua importância para a eficiência fotossintética (KHAN et al., 2018) e de uso da água (HATTORI et al., 2015).

Nos outros tratamentos, apenas o teor de potássio diminuiu, além dos teores de silício nos tratamentos T3 e T4. Este fato demonstra que não foi possível intemperizar grande parte do silício da rocha, sendo o teor deste elemento na fração orgânica o mais predominante. Em relação ao potássio, revela-se a pouca disponibilidade imediata deste nutriente na rocha, a importância da cama de bovino e casca de café para a existência deste elemento prontamente disponível no composto final, além da ocorrência de sua lixiviação. Ademais, ressalta-se o grande aumento de Ca e Mg em todos tratamentos, já que estes elementos apresentam maior disponibilidade na forma de carbonatos e de silicatos na rocha. O grande aumento relativo destes dois elementos na comparação entre os materiais utilizados na compostagem e o produto final no tratamento T0 pode ser proveniente do composto maduro utilizado como inoculante.

No tocante ao nitrogênio, infere-se que ocorreu a fixação do nitrogênio durante o processo de compostagem, diferente do encontrado por Sena et al. (2019), além de ressaltar a importância do valor ideal de relação C:N no início do processo, para que o processo de imobilização de N predomine em relação à mineralização deste nutriente e não ocorra perdas em um processo de compostagem adequado (BERTON et al., 2021). Destaca-se, ainda, que o limite aceitável de perda de nitrogênio na compostagem é de 20% (KOEPPF et al., 1983). Já a diminuição relativa dos teores de matéria orgânica indica sua oxidação pelos microrganismos, que liberam CO₂ com sua respiração. A diminuição da matéria orgânica é um indicativo de que o processo foi conduzido de forma correta (BERTON et al., 2021).

CONCLUSÕES

Ocorreu uma compostagem eficiente em todos tratamentos, demonstrado pela caracterização da fase termofílica e pela ausência de coliformes totais e de germinação de plantas espontâneas reveladas na análise sanitária.

O monitoramento da temperatura das pilhas indicou que o uso de rochas moídas, não ultrapassando 30% da receita, estimula a atividade biológica da compostagem.

A condução da compostagem e o manejo das pilhas foi dificultado com o percentual de pó de rocha maior que 30% da receita.

Os fertilizantes produzidos não apresentaram características fitotóxicas para as plantas.

Os maiores teores de nitrogênio nos produtos finais em relação aos valores existentes nas matérias primas indicaram que, em um compostagem bem conduzida, os microrganismos diazotróficos conseguem absorver nitrogênio da atmosfera. Nesse mesmo sentido, a compostagem disponibilizou Ca e Mg que estavam retidos em forma de silicatos e carbonatos, ao contrário do que aconteceu com o K.

Considerando todos os atributos avaliados pelo trabalho, a proporção de 30% de material de origem mineral foi a que apresentou os melhores benefícios no composto final.

REFERÊNCIAS

ABID, Nozha; SAYADI, Sami. Detrimental effects of olive mill wastewater on the composting process for agricultural wastes. *Waste Manage*, n. 26, p. 1099-1107, 2006.

AQUINO, Felipe, T. **Estudo do processo de compostagem de resíduos sólidos domésticos: identificação e quantificação de ácidos orgânicos**. 2003. 64 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química, Araraquara, 2003.

ARAÚJO, Maria, das G. C. de. **Controle microbiológico e atividade enzimática em compostagem de resíduos de poda de árvores e lodo de esgoto**. 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2011.

ARSAND, D.; ANTUNES, M.; MARTINS, G.; GERBER, M.; CORRÊA, E. Avaliação do potencial fitotóxico, citotóxico e genotóxico de efluente hemodialítico. *Engenharia sanitária e ambiental*, v. 27, p. 269-277, 2022.

- AYOADE, John, O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. 14^a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 350 p.
- BASAK, Biraj; SARKAR, Binoy; NAIDU, Ravi. Environmentally safe release of plant available potassium and micronutrients from organically amended rock mineral powder. **Environ Geochem Health**, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00677-1>
- BENITES, Vinícius, M.; MADARI, Beáta; MACHADO, Pedro, L. O. de A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003.
- BERNAL, Maria. P.; NAVARRO, Antonio, F.; ROIG, Asunción; CEGARRA, Juan; GARCIA, Diego, E. Carbon and nitrogen transformations during composting of sweet sorghum bagasse. **Biology and Fertility Soils**. v.22, p.141-148, 1996.
- BERTON, Ronaldo, S.; CHIBA, Márcio, K.; COSCIONE, Aline, R., ABREU, Mônica, F. da; NASCIMENTO, Altina L. **Compostagem para fins agrícolas**. Campinas/SP: Instituto Agronômico de Campinas, 2021. 116 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 481, de 3 de Outubro de 2017**. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=728>
- BROOKES, Philip, C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, p. 269-279, 1995.
- CALDEIRA, Marcos V. W.; HARB, Rosita, M. P.; TAVARES, Lorena, B. B.; SPERANDIO, Huezer V.; PILON, Lucas, C. Maturidade de composto orgânico de resíduos de abatedouro de frangos, **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 2, p 149-155, abr-jun, 2012
- CAMPBELL, Nicola, S. **The use of rock dust and composted materials as soil fertility amendments**. 2009. 402 f. Ph.D. thesis submitted to the Faculty of Physical Sciences, Department of Chemistry, University of Glasgow, 2009.
- CARVALHO, Vicente, L. de; CUNHA, Rodrigo, L. da; SILVA, Nathan, R. N. Alternativas de controle de doenças do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 42-49, jan./abr. 2012.
- CEGARRA, Juan, L., HERNÁNDEZ, M.T.; LAX, A.; COSTA, F. Adición de resíduos vegetales a suelos calizos: influencia sobre la capacidad de cambio catiónico. **An. Edafol. Agrobiol.**, v. 42, p. 235-244, 1983.
- CERRI, Carlos, C.; ANDREUX, Francis.; EDUARDO, Brigitte, P. O ciclo do carbono no solo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, p.73-90, 1992.
- CLEMENT, Charles, R. 1492 and the loss of Amazonian crop genetic resources. I. The relation between domestication and human population decline. **Economic Botany**, 53(2):188-202. 1999
- COSTA, Manoel, B. B. da. **Agroecologia no Brasil: histórias, princípios e práticas**. São Paulo: Expressão Popular, 2017. 144 p.
- COTTA, Jussara, A. de O; CARVALHO, Nayhana, L. C.; BRUM, Túlio, da S.; REZENDE, Maria, O. de O. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 65-78, Mar. 2015.
- CURTIS, J. C. D.; LUCHESE, A. V.; MISSIO, R. F. Evaluation of microbial activity, N-NH₃ and CO₂ losses in poultry litter treated with basalt rock powder. **International journal of recycling of organic waste in agriculture**, v. 12, p. 25-35, 2023.
- DEON, Mauro.; MATTIAS, Jorge, L; NESI, Cristiano, N.; KOLLING, Daniel, F.; SCHRÄGLE, Edevandro, G. Avaliação da qualidade de composto orgânico na Universidade Comunitária Regional de Chapecó. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, p. 1441- 1444, 2007.

DICK, Warren, A.; TABATABAI, M., Ali. Significance and potential uses of soil enzymes. In: METTING JUNIOR, F.B. (Ed.). **Soil microbial ecology applications in agricultural and environmental management**. New York: M. Dekker, 1993. p.95-127.

DÖBEREINER, Johanna; BALDANI, Vera, L. D.; BALDANI, José. I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não leguminosas**. Brasília: Embrapa SPI, 1995. 60p.

FRANCOU, Cédric; POITRENAUD, Maelenn.; HOUOT, Sabine. Stabilization of organic matter during composting: influence of process and feedstocks. **Compost. Sci. Util.**, v. 13, p. 72-83, 2005.

GARCIA-GOMEZ, Antonio; SZMIDT, Robin, A. K.; ROIG, Asunción. Enhancing of the composting rate of spent mushroom substrate by Rock Dust. **Compost Science & Utilization**. 10, 99-104, 2002.

GOEDERT, Wenceslau. J. Região dos Cerrados: potencial agrícola e política para seu desenvolvimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 24, n. 1, p. 1-17, jan. 1989.

GRAHAM, John. **Investigation into the composting of poultry carcasses and the use of rock dust as a compost enhancer**. BSc thesis. University of Glasgow, 2001.

HALLER, Henrik. **Efficacy, sustainability and diffusion potential of rock dust for soil remediation in Chontales, Nicaragua**. 2011. 38 f. Mid Sweden University, Faculty of Science, Technology and Media, Department of Engineering and Sustainable Development, 2011.

HATTORI, Taiichiro; INANAGA, Shinobu; ARAKI, Hideki; AN, Ping; MORITA, Shigenori; LUXOVA, Miroslava; LUX, Alexander Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. **Physiologia Plantarum**, v.123, p.459- 466, 2005. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00481.x>

HAYNES, R. J. The decomposition process: Mineralization, immobilization, humus formation and degradation. In: HAYNES, R. J., ed. **Mineral nitrogen in the plant soil system**. Orlando: Academic Press, 1986. p.52-176.

HECK, Karina; MARCO, Évilin G. de; HAHN, Ana B. B.; KLUGE, Mariana; SPILKI, F. R.; SAND, Sueli T. V. D. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.17, n.1, p. 54–59, 2013.

HÖFIG, Pedro.; MARTINS, Éder, de S.; BROETTO, Tiago.; GIASSON, Elvio; SILVA, Glauco M. F. da. Avaliação da qualidade de um fertilizante produzido por compostagem conjunta de materiais orgânicos e rochas moídas, **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente – RAMA** ISSN 2176-9168 (On-line), v. 15, n. 3. No prelo.

IGLESIAS-JIMENEZ, Emeterio; PEREZ-GARCIA, Victor. Determination or maturity índices for city refuse composts. *Agr. Ecosyst. Environ.*,v. 38: p. 331-343, 1992.

INÁCIO, Caio, de T.; MILLER, Paul, R. M. **Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Embrapa Solos: Rio de Janeiro, 2009. 154 p.

ISHIMURA, Issao; YAMAMOTO, Sônia, M.; SANTOS, Celso, dos; OLIVEIRA, Marco, A. de. **Olericultura orgânica: compostagem**. São Paulo: SENAR/SP, 2006. 4 p.

JAHNEL, Marcelo, C.; MELLONI, Rogério; CARDOSO, Elke, J. B. N. Maturidade de composto de lixo urbano. **Sci. agric.**, Piracicaba, v. 56, n. 2, p. 301-304, 1999.

JIMENEZ, Emeterio, I; GARCIA, Victor, P. Evaluation of City Refuse Compost Maturity: a review. **Biological Wastes**, n 27, p. 115-142, 1989.

JONES, Davey. L.; CHESWORTH, Savanna.; KHALID, Muhammad.; IQBAL, Zafar. Assessing the addition of mineral processing waste to green waste-derived compost: An agronomic, environmental and economic appraisal. **Bioresource technology**, v. 100, n. 2, p. 770-777, 2009.

KALTEH, Manizheh; ALIPOUR, Zarrin, T.; ASHRAF, Shahram; ALIABADI, MARYAM, M.; NOSRATABADI, Alireza, A. Effect of silica Nanoparticles on Basil (*Ocimum basilicum*) Under Salinity Stress. **Journal of Chemical Health Risks**, n. 4, v. 3, 2018.

KASANA, Ramesh, C.; SALWAN, Richa; DHAR, Hena; DUTT, Som; GULATI, Arvind. A rapid and easy method for the detection of microbial cellulases on agar plates using gram's iodine. **Current Microbiology**, London, v. 57, p. 503-507, 2008.

LESPESTEUR, Muriel. Human and livestock pathogens and their control during composting. **Critical reviews in environmental science and technology**, 2021. DOI: [10.1080/10643389.2020.1862550](https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1862550)

KHATOUNIAN, Carlos, A. A reconstrução ecológica da agricultura. Botucatu: Agroecológica. 2001. 348p.

KIEHL, Edmar, J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4ª ed. E. J. Kiehl: Piracicaba, 2004. 173 p.

KOEPF, Herbert, H.; PETTERSSON, Bo, D.; SCHAUMANN, Wolfgang. **Agricultura biodinâmica**. São Paulo: Nobel, 1983.

KO, Han, J.; KIM, Ki, Y.; KIM, Hyeon, T.; KIM, Chi, N.; UMEDA, M. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure. **Waste Management**, v. 28, n. 5, p. 813-820, 2008.

LEITE, Sabrina, T.; TEIXEIRA, Luciano, J. Q.; SARTORI, Marcio, A.; GARCIA, Giovanni.; LIMA FILHO, Tarcísio. A compostagem como alternativa para aproveitamento da borra de café. **Enciclopédia biosfera**, v. 7, p. 1068-1075, 2011.

LI, Jiangang.; MAVRODI, Dmitri. V.; DONG, Yuanhua. Effect of rock dust-amended compost on the soil properties, soil microbial activity, and fruit production in an apple orchard from the Jiangsu province of China. **Archives of Agronomy and Soil Science**, p. 1-14, 2020.

LIMA, Claudiván, C. de; GOMES, Tâmara, C., de A. Concentração de nutrientes em compostos orgânicos influenciada pela adição de pós de rochas silicatadas. **Educte**, v. 1, p. 33-39, 2011.

MAGALHÃES, W. L. E.; SÁ, F. P.; BELNIAKI, A. C.; LIMA, E. A. de. **Composto produzido com resíduos da agroindústria do palmito pupunha**. Embrapa Florestas, 2021.

MELO, Wanderley, J. de. Uso de resíduos na agricultura e qualidade ambiental. In: In: SILVEIRA, A. P. D. da; FREITAS, S. dos. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agronômico, 2007. 312 p.

MENDES, Ieda, C.; SOUSA, Djalma, M. G.; DANTAS, Ozanival, D.; LOPES, André, A. C.; REIS JUNIOR, Fábio, B. R.; OLIVEIRA, Maria, I.; CHAER, Guilherme. M. Soil quality and grain yield: A win-win combination in clayey tropical Oxisols, **Geoderma**, Volume 388, 2021.

MOREIRA, Fátima, M. S.; SIQUEIRA, José, O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2006. 626 p.

MUKHTAR, Saqib; KALBASI Ahmad; AHMED Anindit. Composting: In: KASTNER, Curtis. **Carcass Disposal: A Comprehensive Review**. National Agricultural Biosecurity Center Consortium, USDA APHIS Cooperative Agreement Project, Carcass Disposal Working Group, Kansas State University. Kansas, 2004.

O'BRIEN, Tara, A.; BARKER, Allen, V.; CAMPE, Joanna. Container production of tomato with food by-product compost and mineral fines. **Journal of plant nutrition**, v. 22, n. 3, p. 445-457, 1999.

ORRICO, Ana, C. A.; LUCAS-JÚNIOR, Jorge, de; ORRICO-JÚNIOR, Marco, A. P. Alterações físicas e microbiológicas durante a compostagem dos dejetos de cabras. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.3, p.764-772, set./dez. 2007.

ORRICO-JÚNIOR, Marco, A. P.; ORRICO, Ana, C. A.; LUCAS-JÚNIOR, Jorge, de. Compostagem da fração sólida da água residuária de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.3, p.483-491, jul./set. 2009.

ORRICO-JÚNIOR, Marco, A. P.; ORRICO, Ana, C. A.; LUCAS-JÚNIOR, Jorge de. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 538-545, 2010.

PAIVA, Ed, C. R., MATOS, Antônio, T., SARMENTO, Antover, P., PAULA, Heber, M., JUSTINO, A. Eliane. Avaliação de sistema de tratamento de carcaças de frangos pelo método da composteira-windrow. **Revista eletrônica de Engenharia Civil**. Goiânia, v. 1, n.3, p. 19-27. 2011.

PAZUTTI, Leronardo, V. B.; CHAER, Guilherme, M. **Desenvolvimento de metodologia de baixo custo para análise de B-glicosidase em solos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2012. 92 p.

PEREIRA-NETO, João, T. Monitoramento da eliminação de organismos patogênicos durante a compostagem de resíduos urbanos e lodo de esgoto pelo sistema de pilhas estáticas aeradas. **Engenh. Sanit.**, v. 27, p. 148-152, abr./jun. 1988.

PINHEIRO, Sebastião. **Agroecologia 7.0**. Porto Alegre: Juquira Candiru Satyagraha, 2018. 663 p.

PINHEIRO, Sebastião. **Cartilha da saúde do solo e inocuidade dos alimentos (Cromatografia de Pfeiffer)**. Porto Alegre: Sales Editora, 2011. 122 p.

PRIMAVESI, Ana. **Cartilha do solo**. Fundação Mokiti Okada, 2006, 1ed., p. 8-7

RESTREPO, Jairo, R.; PINHEIRO, Sebastião. **Agricultura Orgânica: La remineralización de los alimentos y la salud a partir de la regeneración mineral del suelo**. Carmina editores, Tegucigalpa Honduras, 2010. 3º Ed. 125p.

RICI, Marta, dos S. F.; NEVES, Maria, C. P. **Cultivo do café orgânico**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 95 p.

RIFFALDI, Riccardo; LEVI-MINZI, Renato; SAVIOZZI, Ale; CAPURRO, M. Evaluating garbage compost. **Biocycle**, 33, 66- 69, 1992.

ROCHA, Eduardo, J. P. L. **Agroflorestas sucessionais no assentamento Fruto D'anta/MG: potenciais e limitações para a transição agroecológica**. 2006. 142 p. Dissertação de mestrado – Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília/DF, 2006.

RODRIGUES, M. S.; SILVA, F. C. da; BARREIRA, L. P.; KOVACS, A. Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. In: SPADOTTO, C.A.; RIBEIRO, W. **Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria**. FEPAF. Botucatu. p. 63-94, 2006.

SCHELLER, Edwin. **Fundamentos científicos da nutrição vegetal na agricultura ecológica**. Botucatu: Associação Brasileira de Agricultura Biodinâmica, 2000. 94.

SIKORA, Lawrence. J. Effects of basaltic mineral fines on composting. **Waste management**, v. 24, n. 2, p. 139-142, 2004.

SILVA, Francisca. A. de M.; GUERRERO LOPEZ, Francisca; VILLAS BOAS, Roberto, L.; SILVA, Reginaldo, B. da. Transformação da matéria orgânica em substâncias húmicas durante a compostagem de resíduos vegetais, **Revista Brasileira de Agroecologia** v. 4, n.1, p.59-66, 2009.

SOUSA, Lusiene, B.; FREITAS, Marta, C.; MARTINS, Marlon, dos S.; SILVA, Cíntia, C. G. da; SILVA, Emmanuella, V. N. da; SILVA, Vinícius, S. G. da; SILVA, Aleksandro, F. da. Caracterização morfofisiológica de diazotróficas de vida livre provenientes de solos sob diferentes coberturas vegetais do nordeste brasileiro, **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 9424-9430, feb. 2020.

SZMIDT, Robin, A. K.; FERGUSON, John. **Co-utilization of rockdust, mineral fines and compost: working towards integrated resource recycling and use**, 2004. 36 p.

SZMIDT, Robin, A. K. Scope for co-utilization of compost and mineral rockdusts. In: **Biodegradable and Residual Waste Management**. Papadimitriou E.K. & E.I. Stentiford (Edits), 2004.

SWOBODA, Phillip. **Rock dust as agricultural soil amendment: a review**. Graz: AV Akademikerverlag, 2016. 96 p.

TABATABAI, M. Ali. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W. et al. (ed.). **Methods of soil analysis**. Part 2. Microbiological and biochemical properties. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison. p. 778–833, 1994.

TAVARES, Laene, F., de CARVALHO, André, M. X., CAMARGO, Luís, G. B.; PEREIRA, Samarina, G. de F.; CARDOSO, Irene, M. Nutrients release from powder phonolite mediated by bioweathering actions. **Int J Recycl Org Waste Agricult**, 7,89–98, 2018. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0194-x>

THEODORO, Suzi, H. **Cartilha da rochagem**. Brasília: Gráfica e Editora Ideal, 2020. 32 p.

THEODORO, Suzi, H.; TCHOUANKOUE, Jean, P.; GONÇALVES, António, O.; LEONARDOS, Othon; HARPER, Julia. A Importância de uma Rede Tecnológica de Rochagem para a Sustentabilidade em Países Tropicais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n.6 p.1390-1407, 2012.

TUBAIL, Khalil; CHEN, Liming; MICHEL-JR., Frederick, C.; KEENER, Harold, M.; RIGOT, Jerome, F.; KLINGMAN, M.; KOST, D.; DICK, Warren. A. Gypsum additions reduce ammonia nitrogen losses during composting of dairy manure and biosolids. **Compost Science & Utilization**, v.16, n.4, p.285-293, 2008.

UROZ, Stephane; KELLY, Laura, C.; TURPAULT, Marrie-Pierre.; LEPLEUX, Cendrella; FREY-KLETT, Pascale. The mineralosphere concept: mineralogical control of the distribution and function of mineral-associated bacterial communities. **Trends Micro-biol.**, 2015; 23:751–62.

VINHAL-FREITAS, Isabel, C.; WANGEN, Dalcimar, R. B.; FERREIRA, Adão, S.; CORRÊA, Gilberto, F.; WENDLING, Beno. Microbial and enzymatic activity in soil after organic composting. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 34, n. 3, p. 757-764, 2010.

ZHU, Nengwu. Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. **Bioresource Technol.**, v. 98, p. 9-13, 2007.