



Avaliação da qualidade de um fertilizante produzido por compostagem conjunta de materiais orgânicos e rochas moídas

Evaluation of quality of fertilizer produced with compostage comprising organic materials and ground rock

Pedro Höfig¹, Eder de Souza Martins², Tiago Broetto³, Elvio Giasson⁴, Glauco Marighella Ferreira da Silva⁵

RESUMO: Ao longo de milhares de anos, diferentes povos realizaram uma agricultura baseada no manejo dos materiais disponíveis nas propriedades rurais. Uma das formas para se atingir essa condição é a produção e uso de compostos orgânicos. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do composto orgânico produzido com fontes de nutrientes de origem regional em uma propriedade rural. As matérias-primas utilizadas para a produção do fertilizante foram cama de bovino, serragem, casca de café e pó de rochas. A compostagem foi iniciada com relação C:N entre 25 e 35 e terminada com relação C:N menor que 15. A realização da aeração do condicionador foi feita com um compostador e, a umidificação, com um tanque pipa. As análises química, orgânica, biológica e sanitária indicam que o processo de compostagem foi realizado de forma correta. Com isso, o composto exibiu a maioria das garantias mínimas para ser enquadrado como fertilizante orgânico composto classe A, o que pode melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo, aumentando a autonomia do agricultor e diminuindo sua dependência dos combustíveis fósseis.

Palavras-chave: Adubo. Agrominerais regionais. Autossuficiência. Sustentabilidade agrícola.

ABSTRACT: For thousands of years different peoples managed an agriculture based on material available on rural sites. One method was the production and use of organic compounds. Current research evaluates the quality of organic compounds produced from nutrients found in a rural property. Prime matters used for the production of fertilizers were bovine dung, sawdust, coffee bean husks and rock powder. Compost started by ratio C:N between 25 and 35 and ended with C:N less than 15. Aeration of conditioner required a composter, whilst the humidifier was a water tank. Chemical, organic, biological and sanitary analyses show that the compost process occurred correctly. Compost had most minimum guarantees for being a Class A organic fertilizer compost which may improve the soil's physical, chemical and biological conditions with an increase of autonomy for the farmer and lessening of his dependence on fossil fuel.

Keywords: Agricultural sustainability. Local fertilizer. Regional agrominerals. Self-sufficiency.

Autor correspondente:

Pedro Höfig: pedro.hofig@ah.agr.br

Recebido em: 16/02/2021

Aceito em: 21/05/2021

¹ Mestre em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Doutorando em Ciências Ambientais pela Universidade de Brasília (UnB), Brasília (DF), Brasil.

² Doutor em Geologia pela Universidade de Brasília (UnB). Pesquisador A da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária na Embrapa Cerrados, Brasília (DF), Brasil.

³ Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e consultor licenciado Libertas. Brasil.

⁴ Doutor em Soil Science pela Cornell University. Professor Titular do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Brasil.

⁵ *In memoriam*. Geógrafo pela Universidade Estadual de Londrina. Especialista em Gestão Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Brasilândia (MS), Brasil.

INTRODUÇÃO

Ao longo de milhares de anos, diferentes povos realizaram uma agricultura baseada no manejo dos materiais disponíveis nas propriedades rurais (ESPÍNDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 1997). Buscava-se otimizar o uso dos recursos locais na condução dos agroecossistemas, no manejo do solo e na condução da produção por meio dos métodos biológico-vegetativos, sem o uso de agroquímicos, que até então eram desconhecidos dos agricultores (COSTA, 2017).

Contudo, o livro de Justus von Liebig, de 1840, “Química como Suplemento a Agricultura e Fisiologia”, provocou uma mudança radical na nutrição das plantas, por meio de suas teorias de fertilização para manter as condições produtivas do solo, além de fornecer as leis básicas da agronomia industrial. Esse trabalho provocou uma grande alteração no conhecimento e na prática sobre a nutrição das plantas. Nele se fazia uma crítica arrasadora à teoria do húmus e foi formulada a teoria mineral de nutrição das plantas (PINHEIRO; AURVALLE; GUAZELLI, 1985; PINHEIRO, 2018). Com isso, já no final do século XIX, na Europa, a agricultura foi transformada por descobertas científicas que abriram caminho para o uso de fertilizantes solúveis. Os aumentos de produtividade decorrentes da utilização de tais produtos fizeram com que vários agricultores abandonassem as práticas de adubação com fontes locais ou regionais de nutrientes, aderindo a um modelo de agricultura cada vez mais dependente de insumos externos às propriedades (JESUS, 1985).

No entanto, sabe-se que a matéria orgânica do solo desempenha um papel importante na manutenção da qualidade e produtividade do solo, atuando como fonte de energia, promovendo a diversidade biológica e melhorando a composição dos ecossistemas terrestres (MARTINS *et al.*, 2015). O manejo e as práticas do solo devem garantir a manutenção ou o aprimoramento das suas características biológicas, químicas e físicas, proporcionando conseqüentemente uma produção sustentável e a adequada produtividade das culturas (LOPES *et al.*, 2015). Uma das ferramentas para se atingir essas condições é a produção e uso de compostos orgânicos. O composto é oriundo do manejo humano de resíduos agrícolas na propriedade tendo em vista ganho de tempo e espaço por meio do trabalho e do saber (PINHEIRO, 2011).

A compostagem é um procedimento que visa acelerar e direcionar o processo de decomposição de materiais orgânicos, que ocorre espontaneamente na natureza. Em sua fase inicial, ocorre a expansão das colônias de micro-organismos mesófilos e a intensificação da decomposição, da liberação de calor e da elevação rápida da temperatura. Em seguida, na fase termófila, caracterizada por temperaturas acima de 45 °C, ocorre intensa decomposição do material, com formação de água metabólica e manutenção de geração de calor e vapor d’água. Posteriormente, na fase mesófila ocorre a degradação de substâncias orgânicas mais resistentes, redução da atividade microbiana e, conseqüentemente, queda da temperatura da leira e perda de umidade. Por fim, na maturação, a atividade biológica é baixa e ocorre a formação de

substâncias húmicas (INÁCIO; MILLER, 2009). Com isso, os sólidos biodegradáveis da matéria orgânica são convertidos para um estado estável que pode ser manejado, estocado e utilizado como fertilizante orgânico sem efeitos nocivos ao ambiente, desde que utilizado de forma racional (ORRICO; LUCAS-JÚNIOR; ORRICO-JÚNIOR, 2007).

Ressalta-se, ainda, que parte do composto pode ser de origem mineral. A técnica de inserir pós de rochas na compostagem enriquece o teor de nutrientes do produto e acelera a solubilização dos minerais das rochas, fatos que aumentam o potencial agrônômico do adubo (ISHIMURA *et al.*, 2006). Em muitos casos, as rochas silicáticas moídas são misturadas a compostos orgânicos e a liberação dos nutrientes pode ser acelerada por meio de mecanismos físico-biológicos controlados (ROCHA, 2006; THEODORO *et al.*, 2012). Inserir o remineralizador no processo de compostagem é uma forma de beneficiamento biológico do produto. Os micro-organismos presentes no composto aceleram, por meio dos ácidos húmicos, a quebra dos compostos químicos presentes, especialmente nos argilominerais, liberando, dessa forma, uma maior porcentagem de nutrientes para as plantas. Assim, fertilizantes de proveniência geológica local podem ser usados em conjunto com medidas biológicas (CHESWORTH; VAN STRAATEN; SEMOKA, 1989; PINHEIRO, 2018; TAVARES, 2017).

A eficiência do processo de compostagem está diretamente relacionada a fatores que proporcionam condições ótimas para que os micro-organismos aeróbios possam se multiplicar e atuar na transformação da matéria orgânica. O conjunto de fatores condicionantes para o bom desenvolvimento de um sistema biologicamente complexo como a compostagem deve ser balizado por uma série de parâmetros, sendo eles uma combinação ótima de umidade, aeração, temperatura, relação C:N, pH e altura da leira (VALENTE *et al.*, 2009).

Além da otimização do uso dos recursos disponíveis internamente no sistema agrícola propiciar a redução da dependência da agricultura de energia externa, nos trópicos, a maior concentração de nutrientes contidos no complexo solo-planta está na biomassa e não no solo, que na maioria dos casos é ácido e distrófico, devido à elevada lixiviação de nutrientes carregados pelos excedentes hídricos de chuvas torrenciais (COSTA, 2017). Neste sentido, o aporte de macro e micronutrientes deve ser feito através de produtos de baixa concentração e solubilidade (PRIMAVESI, 1980). Com isso, nos trópicos, um solo saudável é aquele com elevada diversidade biológica, pois ele é pobre quimicamente e dependente da rápida e elevada ciclagem da matéria orgânica (PRIMAVESI, 2016).

No entanto, mesmo considerando a possibilidade de se mobilizar recursos locais e regionais, adequados para condições tropicais e para solos com baixa capacidade de retenção de cátions, 77% do total dos fertilizantes consumidos no país são derivados de fontes convencionais de nutrientes importadas, compostas essencialmente de variantes de NPK (FARIAS *et al.*, 2020), de elevada concentração e alta solubilidade (RODRIGUES, 2009). Com isso, nota-se que o modelo de agricultura industrial é dependente dos combustíveis fósseis (ALTIERI *et al.*, 2015) e expõe com nitidez o caráter do processo que se realiza no sistema

econômico moderno: um processo linear, do tipo extrai-produz-descarta (CAVALCANTI, 2012).

Em contrapartida, a técnica da compostagem reflete a ideia de se entender a agricultura de forma cíclica, enxergando a economia humana como parte do todo maior que é a natureza (CAVALCANTI, 2010; SANTOS, 2020).

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de um composto orgânico produzido com fontes regionais de nutrientes em uma propriedade rural. Além da baixa eficiência e dos custos crescentes determinados pelos insumos importados, químicos, sintéticos e solúveis, ressalta-se a necessidade imperiosa de se estabelecer a redução de impactos ambientais relacionados com as formas de se produzir e de se usar tais fertilizantes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A produção do composto orgânico enriquecido com pós de rochas foi realizada em uma propriedade rural situada em Unaí (MG), próximo ao Distrito Federal (IBGE, 2017), no bioma Cerrado (IBGE, 2012). Na fazenda se produz café, lavouras temporárias e bovinos. O local situa-se em área classificada como clima tropical do Brasil Central com quatro a cinco meses secos. Apresenta como principal característica uma redução dos totais pluviométricos durante a estação de inverno prolongada, possuindo, entre maio e setembro, um período considerável de estiagem. A média pluviométrica anual é de 1600 mm e a temperatura média anual é de 21,1 °C (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). Pela classificação de Köppen, o clima é classificado como Aw, caracterizado como clima tropical com estação seca no inverno (AYOADE, 2003).

Os componentes utilizados para a produção do composto foram cama de bovino, serragem, casca de café, pós de rochas e bioativador (Tabela 1). A cama de bovino foi constituída de casca de café e dejetos de bovinos, produtos disponíveis dentro da fazenda. A casca de café foi colocada em um confinamento sem cobertura atendendo o critério de espessura mínima de 10 cm de cama (MATTOS, 1997). Os bovinos ficaram por 90 dias, período do confinamento, excretando seus resíduos sobre essa cama. Após esse período, 450 m³ deste produto foram retirados para formação de 160 m linear de leira e realização da compostagem. Na cama enleirada, para elevar o teor de carbono do adubo, foram acrescentados 352 kg de serragem/m linear de leira e 306 kg de casca de café/m linear de leira, disponíveis na fazenda, além de terem sido aplicados, no início do processo de compostagem, 5 litros/tonelada de composto em base úmida de bioativador comercial de base natural, que desencadeia processos enzimáticos que potencializam a degradação de resíduos, reduzindo assim o tempo de compostagem (BONFIM *et al.*, 2011).

Tabela 1. Materiais utilizados na compostagem e suas proporções em peso seco

Material	Proporção no composto (%)
Cama de bovino	36
Serragem	14
Casca de café	20
Gesso	5
Calcixisto	9
Fosfato natural	16

Também foram adicionados 65 kg de gesso/m linear de leira para minimizar a perda de N do esterco por volatilização (TUBAIL *et al.*, 2008), 180 kg de fosfato natural/m linear de leira para aumentar o teor de fósforo do fertilizante e 101 kg de calcixisto/m linear de leira, visando enriquecer, principalmente, os teores de cálcio, magnésio, potássio e silício do composto. Esse fosfato natural é um agromineral fosfático, retirado em Pratápolis (MG), com 12% de Si, 23% de P₂O₅ e 14% de Ca. Já o calcixisto é um agromineral silicático do Grupo Canastra, extraído em Luziânia, Goiás, registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) como remineralizador de solos com número 09345 10001-1. Esse material apresenta soma de bases em torno de 23% e aproximadamente 2,7% de K₂O, 40% de carbonatos e silicatos formados por muscovita, biotita, clorita e quartzo.

Todos os materiais foram analisados separadamente em laboratório antes do início do processo de compostagem e, considerando a proporção de cada um no produto, encontrou-se a relação C:N inicial entre 25 e 35, conforme recomendação de Inácio e Miller (2009). 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 composto foi feita com o compostador Jaguar JC 4000 e a umidificação foi realizada com um tanque pipa de 20 mil litros rebocável, de acordo com os dados obtidos no monitoramento diário. Materiais com menos de 30% de umidade inibem a atividade microbiana, sendo que um meio com umidade acima de 65% proporciona uma decomposição lenta, condições de anaerobiose e lixiviação de nutrientes (RICI; NEVES, 2004). Já a aeração evita altos índices de temperatura durante o processo de compostagem, aumenta a velocidade de oxidação, diminui a liberação de odores e reduz o excesso de umidade de um material em decomposição (PEREIRA-NETO, 1988).

O manejo foi realizado em pátio aberto sobre piso de terra compactada. A leira de aproximadamente 1500 m³ e 160 m de extensão possuía entre 1,2 e 1,5 metros de altura e 1,8 a 2 metros de largura e sua umidade foi mantida entre 50 e 60% até a fase de maturação. A temperatura das leiras foi mantida entre 60 °C e 70 °C por quatro semanas, atendendo o período de tempo e temperatura necessários para higienização dos resíduos sólidos orgânicos durante o processo de compostagem da Resolução nº 481, de 03 de outubro de 2017 (BRASIL, 2017). O

processo de compostagem foi finalizado com 32,30% de umidade e 65 dias de manejo. Com o composto pronto, foram coletadas quinze 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 ao laboratório para análise no Laboratório Andrios, credenciado pelo MAPA, 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 conduzidos em casa de vegetação) e biológica (TABATABAI, 1994; DÖBEREINER; BALDANI; BALDANI, 1995; KASANA *et al.*, 2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O produto exibiu a maioria das garantias mínimas para ser enquadrado como fertilizante orgânico composto classe A, conforme critérios estabelecidos pela Instrução Normativa nº 23, de 31 de agosto de 2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2005), já que possui as matérias-primas para tal, apresentou umidade menor que 40%, relação C:N menor que 18, pH maior que 6 e teor de nitrogênio maior que 1%. No entanto, ele apresentou teor de carbono orgânico menor que 15%. Ainda assim, o composto demonstrou características mais adequadas ao uso agrícola que o fertilizante oriundo da compostagem de resíduos agroindustriais estudada por Pedrosa *et al.* (2013), que, apesar de possuir umidade menor que 40% e relação C:N menor que 18:1, exibiu teor de nitrogênio menor que 1%.

As características químicas do composto orgânico produzido estão apresentadas na Tabela 2. A presença de macronutrientes primários e secundários indica que o produto é um fertilizante completo (WEINDORF; MUIR; LANDEROS-SÁNCHEZ, 2011).

Tabela 2. Caracterização química do composto orgânico

Determinações	Base seca	Base úmida
pH (CaCl ₂ 0,01 M)		7,8
Umidade 60-65 °C (%)		32,20
N Total (%)	1,22	
P Total (%)	2,10	
K Total (%)	1,65	
Ca Total (%)	5,37	
Mg Total (%)	0,88	
S Total (%)	0,21	
Si Total (%)	4,8	
Relação C:N	11	
CTC (mmolc.kg ⁻¹)	340	

O pH final do composto encontra-se dentro da faixa considerada ótima (RODRIGUES *et al.*, 2006; PEREIRA-NETO, 2007), de forma semelhante aos valores encontrados em outros estudos (ABID; SAYADI, 2006; ARAÚJO; MORELI, 2007; DEON *et al.*, 2007; JAHNEL; MELLONI; CARDOSO, 1999). No início da compostagem é comum ocorrer a formação de ácidos orgânicos, que tornam o pH mais ácido, porém, com o passar do tempo, essas substâncias reagem com bases liberadas da matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina que aumentam o pH do composto (VALENTE *et al.*, 2009). Portanto, quando o pH do composto final é alcalino (entre 7 e 8,5) indica que o processo de compostagem ocorreu de forma adequada.

Com relação aos macronutrientes, a concentração destes no composto é determinada pelo teor dos mesmos em cada ingrediente utilizado na compostagem, tanto dos materiais orgânicos quanto dos pós de rocha utilizados para enriquecimento mineral. Com isso, cada região ou propriedade vai utilizar os ingredientes (resíduos orgânicos) disponíveis no local e, como os tipos de materiais variam muito, é comum a existência de compostos orgânicos com características químicas muito diferentes. Primo *et al.* (2010), em um composto produzido com talo de fumo triturado, esterco e rúmen de bovino, encontraram os percentuais de 1,64 de nitrogênio, 0,19 de fósforo, 2,38 de potássio, 0,73 de cálcio, 0,42 de magnésio e 0,26 de enxofre apresentando menores teores de nitrogênio, potássio e enxofre e maiores concentrações de fósforo, cálcio e magnésio. Em relação exclusivamente aos teores de nitrogênio, fósforo e potássio, Sediya *et al.* (2000) encontraram, em um composto oriundo de resíduos de *Leucena* com esterco de suíno, os percentuais de 1,59, 0,27 e 0,98, respectivamente, sendo, portanto, apenas o teor de nitrogênio maior que o produto deste estudo.

Os altos teores de fósforo do composto produzido têm relação com a aplicação de fosfato natural na leira de compostagem ao passo que os valores de cálcio e magnésio têm ligação com o uso dos agrominerais calcixisto e gesso. Além do cálcio, o potássio foi o único macronutriente em maior concentração quando comparado com os compostos elaborados por Silva *et al.* (2009), que utilizaram combinações de esterco de bovino com resíduos originados da extração de princípios ativos de plantas medicinais.

A elevada quantidade de silício do adubo está relacionada com o uso do agromineral silicático calcixisto. Este é um dos elementos que tem tido seu potencial confirmado como redutor da incidência e severidade de doenças em diversas culturas (CARVALHO; CUNHA; SILVA, 2012). A importância do silício está diretamente ligada à resistência mecânica das plantas e a estrutura esquelética e flexibilidade dos vegetais, diminuindo sua vulnerabilidade ao ataque de pragas e doenças. A disponibilidade deste elemento para as plantas depende diretamente da ação de ácidos e enzimas, produtos gerados pela atividade microbiológica sobre as partículas das rochas e argilas (RESTREPO; PINHEIRO, 2010). Ressalta-se que essa é uma característica fornecida pelo próprio adubo orgânico.

De forma semelhante aos estudos de Sediyaama *et al.* (2000) e Silva *et al.* (2009), a relação C:N do fertilizante estudado demonstra a bioestabilização do material e a umidade de 32,20% está dentro do limite desejável (KIEHL, 1998), ao contrário do encontrado por Araújo e Moreli (2007), que analisaram alguns tratamentos de composto com capim elefante, esterco de galinha, capim gordura, palha de café e de feijão. Contudo, Jimenez e Garcia (1989) ressaltam que, devido às diferenças de materiais em cada compostagem, apenas uma relação C:N entre 20 e 10 não indica um material bioestabilizado.

De acordo com Kiehl (1988), materiais com valor de CTC maior que $100 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ são considerados de alto valor, como os compostos e vermicompostos de produtos envolvendo resíduos vegetais, esterco de bovino e serragem estudados por Cotta *et al.* (2015). Ainda assim, esses materiais não alcançam um valor de CTC tão elevado quanto o deste estudo, o que pode estar relacionado aos minerais silicáticos secundários formados pelo intemperismo dos minerais primários dos pós de rochas utilizados (MARTINS *et al.*, 2010).

O alto valor de CTC obtido no composto está diretamente relacionado com os altos teores de matéria orgânica e carbono orgânico obtidos no composto, especialmente devido à presença de substâncias húmicas (ácidos húmicos e ácidos fúlvicos) (Tabela 3), que são colóides eletronegativos com grande superfície específica (VALENTE *et al.*, 2009). Quanto maior o teor ácido húmico, mais elevada é a capacidade do composto de adsorver cátions (MELO; SILVA; DIAS, 2008) e de liberar nutrientes para as plantas (ABREU-JÚNIOR *et al.*, 2005). O alto valor de CTC também demonstra o grau de maturação do composto, já que isso está relacionado com o processo de humificação da matéria orgânica (CEGARRA *et al.*, 1983). Sendo assim, o material húmico formado pela compostagem, em razão de suas propriedades coloidais, possui grande importância na constituição do solo, é fonte de nutrientes para a vegetação, favorecendo a estrutura do solo e a retenção de água, estabilizando os nutrientes ao longo do tempo (DICK; McCOY, 1993).

As substâncias húmicas possuem relação direta com o grau de maturação do composto. Os ácidos húmicos (AH) e fúlvicos (AF), componentes do húmus, são formados pela ação de micro-organismos 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 contêm 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; PEREZ-GARCIA, 1992; RIFFALDI *et al.*, 1992). Jodice (1989) afirma que um composto bem humificado deve apresentar relação AH/AF maior que 1,5, mas 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, Bernal e Roig

(2005) encontram valor da relação AH/AF que variam entre 0,5 e 2,0 de acordo com o composto avaliado. Já Francou, Poitrenaud e Houot (2005) diagnosticaram variações entre 1,2 e 4,3 em diferentes materiais compostados. É fundamental que se identifique o período a partir do qual o composto pode ser considerado humificado, já que, caso aplicado ao solo antes desse processo, pode ser prejudicial ao desenvolvimento das plantas (FIALHO *et al.*, 2006). Nesse contexto, os resultados do laudo da análise orgânica demonstram que o composto produzido apresentou bom grau de maturação, mas ainda poderia ser mais humificado.

Tabela 3. Determinação da composição orgânica do composto

Determinações	Base seca (65 °C)
Matéria orgânica total (%)	26,67
Carbono orgânico (%)	12,89
C-AH (g.kg ⁻¹ C org)	12,46
C-AF (g.kg ⁻¹ C org)	10,44
Relação AH/AF	1,19

O composto produzido tem características que não causam nenhum efeito prejudicial ao desenvolvimento das plantas, visto que, conforme apontado no laudo biológico, a avaliação de germinação realizada com sementes de plantas indicadoras mostrou que o teste que recebeu composto obteve taxa de germinação maior do que no teste sem o composto, ou seja, com apenas areia (Tabela 4), o que demonstra que o produto não apresenta substâncias prejudiciais para a germinação de sementes. Da mesma forma, Aquino (2003) também não encontrou fitotoxidez em teste de germinação com material oriundo de compostagem de resíduos domésticos.

Nesse sentido, a comprovação de que a matéria orgânica do solo aumenta a capacidade produtiva dos solos, em particular, em solos situados sob clima tropical, tem incentivado o desenvolvimento de pesquisas visando melhor entendimento da sua dinâmica, especificamente de suas frações estáveis (PRIMO; MENEZES; SILVA, 2011), entendendo que, nos trópicos, a baixa fertilidade dos solos pode ser compensada por sua vitalidade (PRIMAVESI, 2006).

O laudo biológico também demonstrou que o composto apresenta característica de um inoculante de micro-organismos benéficos para as plantas. Isso porque os micro-organismos diazotróficos de vida livre, que são fixadores de nitrogênio atmosférico (HOFFMANN, 2007; SOUSA *et al.*, 2020), estão presentes em uma ordem de grandeza de 4 dígitos por grama de composto, assim como os micro-organismos celulolíticos, que estão vinculados ao ciclo do carbono, decomposição da matéria orgânica e disponibilização de nutrientes (CERRI; ANDREUX; EDUARDO, 1992), e apresentaram-se na ordem de 6 dígitos. As enzimas β -glicosidade, indicadoras de qualidade biológica do solo (PAZUTTI; CHAER, 2012) e relacionadas com a ciclagem de carbono (PINHEIRO, 2011), e fosfatase ácida, associada ao ciclo do fósforo e reveladora da alta atividade de micro-organismos mineralizadores de fósforo

(DICK; TABATABAI, 1993), também apresentaram ótimos teores no composto. Pinheiro (2011) afirma que tais enzimas são indicadores de saúde do solo e são produtos de altíssima rentabilidade comercial para as empresas de biotecnologia.

Assim, a funcionalidade desses grupos microbianos afeta diretamente a qualidade e a fertilidade do solo e contribui para o funcionamento dos ecossistemas (BROOKES, 1995), mas apresentam alta sensibilidade a variações químicas, físicas e biológicas no solo, normalmente provocadas por atividades antropogênicas (DORAN; ZEISS, 2000). Nesse sentido, Carneiro (2009), estudando solos de mineração em diferentes estágios de recuperação, verificou que as atividades enzimáticas foram severamente afetadas pela mineração. Já 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.

Tabela 4. Resultados de atividades enzimáticas, quantificação de micro-organismos e testes de germinação

Determinações	Valores
Fosfatase ácida ($\mu\text{g PNF.g}^{-1}$ de solo.h ⁻¹)	982
Beta-glicosidase ($\mu\text{g PNG.g}^{-1}$ de solo.h ⁻¹)	517
Micro-organismos celulolíticos (NMP.g composto ⁻¹)	4,3 x 10 ⁶
Micro-organismos diazotróficos (NMP.g composto ⁻¹)	2,4 x 10 ⁴
Taxa de germinação P.I. - só areia (%)	80
Taxa de germinação P.I. - 1% de composto (%)	90

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. Consequentemente, a quantidade total necessária de aplicação desses elementos minerais diminui (IBA, 2020). Assim, as substâncias húmicas interagem com o material mineral, interferindo, assim, na dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta e exercendo um papel primordial na manutenção da fertilidade do solo, termo cujo conceito global se estende também às propriedades físicas e biológicas (MENDOZA, 1996).

Em relação à análise sanitária, a ausência de coliformes totais e germinação de plantas indesejadas 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 micro-organismos patogênicos e sementes viáveis de plantas daninhas. Alguns estudos demonstram que o aumento da temperatura da leira do composto devido à proliferação de micro-organismos exotérmicos é essencial na eliminação de transmissores de doenças e de sementes de plantas indesejadas (PEREIRA-NETO, 1988; ZHU, 2007; PAIVA, 2008; ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS-JÚNIOR, 2009; ORRICO-JÚNIOR *et al.*, 2010; HECK *et al.*, 2013). Araújo (2011) encontrou

a presença de coliformes fecais em compostagem em campo com poda de árvores, lodo de esgoto e esterco de bovino em quatro tratamentos realizados, na presença ou ausência de cal. Ressalta-se, contudo, que a compostagem realizada nesse trabalho citado não alcançou a fase termofílica característica, o que afetou o processo de sanitização da massa.

Outros estudos apontam a importância da gestão dos resíduos e da busca de alternativas para substituição dos combustíveis fósseis em diversas realidades (ERTHAL; ZAMBERLAN; SALAZAR, 2019; BIANCHET *et al.*, 2020; MENDES *et al.*, 2020; MOTA; ANDRADE; LEITE, 2020; PERLIN *et al.*, 2020; ROCCO; HENKES, 2020). O composto produzido neste estudo atende a diversos critérios de qualidade, demonstrando que as características do composto orgânico produzido com estas fontes regionais de nutrientes demonstram a possibilidade dos agricultores praticarem uma agricultura sustentável localmente, utilizando somente resíduos locais e materiais regionais, o que pode permitir a criação de uma nova realidade, proporcionando maior independência em relação ao mercado.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises química, orgânica, biológica e sanitária indicam que o processo de compostagem foi realizado de forma correta. Com isso, o composto produzido com fontes regionais de nutrientes possui boa qualidade e é passível de ser usado na agricultura, já que atende a maioria dos requisitos necessários para ser enquadrado como fertilizante orgânico composto classe A.

A alta CTC, além de relacionada com a quantidade de matéria orgânica e carbono orgânico do composto, pode ter ligação com a utilização de pós de rochas na compostagem. Já o elevado valor de silício possui relação com o uso do agromineral silicático calcixisto na receita da compostagem.

O laudo biológico demonstra que o composto apresenta característica de um inoculante de micro-organismos benéficos para as plantas, característica essencial para solos situados sob clima tropical, ainda que este não seja um quesito analisado nas garantias para comercialização de adubos.

REFERÊNCIAS

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

ABREU-JÚNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. *In*: TORRADO, P. V.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v. 4. p. 391-470.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I.; HENAO, A.; LANA, M. A. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. **Agron. Sustain. Dev.** v. 35, p. 869-890, 2015.

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

ARAÚJO, J. B. S.; MORELI, A. P. Composto de pilha estático não triturado na moagem, umedecido com bananeiras. *In*: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., Águas de Lindóia, 2007. **Anais [...]**. Brasília: Embrapa Café, 2007. (1 CD-ROM), 4p.

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

AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos.** 14. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 350p.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003.

BERNAL, M. P.; NAVARRO, A. F.; ROIG, A.; CEGARRA, J.; GARCIA, D. E. Carbon and nitrogen transformations during composting of sweet sorghum bagasse. **Biology and Fertility Soils.** v. 22, p. 141-148, 1996.

BIANCHET, R. T.; PROVIN, A. P.; GARCIA, G. D.; CUBAS, A. L. V.; DUTRA, R. de A.; MAGNAGO, R. F. Produção de briquetes utilizando resíduos agrícolas da laranja e borra do café. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 9, n. 3, 2020.

BONFIM, F. P. G.; HONÓRIO, I. C. G.; REIS, I. L.; PEREIRA, A. J.; SOUZA, D. B. **Caderno dos micro-organismos eficientes (EM): instruções práticas sobre o uso ecológico e social do EM.** 2. ed. Viçosa: 2011. 32p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 481, de 03 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>. Acesso em: 20 dez. 2020.

BROOKES, P. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, p. 269-279. 1995.

CARNEIRO, M. A. C. **Características bioquímicas do solo em duas cronossesquências de reabilitação em áreas de mineração de bauxita.** 2009. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, 2009.

CARVALHO, V. L.; CUNHA, R. L.; SILVA, N. R. N. Alternativas de controle de doenças do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 42-49, jan./abr. 2012.

CAVALCANTI, C. Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 65, 2010.

CAVALCANTI, C. Sustentabilidade: mantra ou escolha moral? Uma abordagem ecológico-econômica. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, 2012.

CEGARRA, J. 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, C. C.; ANDREUX, F.; EDUARDO, B. 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.

CHESWORTH, W.; VAN STRAATEN, P.; SEMOKA, J. M. R. Agrogeology in East Africa: the Tanzania-Canada project. **Journal of African Earth Sciences**, v. 9, n. 2, p. 357-362, dez. 1989.

COSTA, M. B. B. da. **Agroecologia no Brasil: histórias, princípios e práticas**. São Paulo: Expressão Popular, 2017. 144p.

COTTA, J. A. de O.; CARVALHO, N. L. C.; BRUM, T. S.; REZENDE, M. O. 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.

DEON, M.; MATTIAS, J. L.; NESI, C. N.; KOLLING, D. F. Avaliação da qualidade de composto orgânico na Universidade Comunitária Regional de Chapecó. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, p. 1441-1444, 2007.

DICK, W. A.; McCOY, E. L. Enhancing soil fertility by addition of compost. *In*: HOITINK, H. A. J.; KEENER, H. M. (ed.). **Science and engineering of composting: design, environmental, microbial and utilization aspects**. Wooster: The Ohio State University, 1993. p. 622-644.

DICK, W. A.; TABATABAI, M. A. 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, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não leguminosas**. Brasília: Embrapa SPI, 1995. 60p.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, n. 1, p. 3-11, jan. 2000.

ERTHAL, E. S.; ZAMBERLAN, J. F.; SALAZAR, R. F. dos S. A batata-doce (ipomoea batatas) como biomassa alternativa para produção de biocombustíveis frente aos combustíveis fósseis. **Ciência & Tecnologia**, v. 2, n. 1, 2018.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de. **Adubação verde: estratégia para uma agricultura sustentável**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1997. 20p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 42).

FARIAS, P. I. V.; FREIRE, E.; CUNHA, A. L. C. da; GRUMBACH, J. S.; ANTUNES, A. M. S. The Fertilizer Industry in Brazil and the Assurance of Inputs for Biofuels Production: Prospective Scenarios after COVID-19, **Sustainability**, v. 12, n. 8889, 2020.

FIALHO, L. L.; SILVA, W. T. L.; SIMOES, M. L.; MILORI, D. M. P.; MARTIN NETO, L. Monitoramento do processo de compostagem por Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE) e relação C/N. *In*: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 29., 2006. **Reunião** [...]. Águas de Lindóia, 2006.

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

GARCIA-GÓMEZ, A.; BERNAL, M. P.; ROIG, A. Organic matter fractions involved in degradation and humification processes during composting. **Compost. Sci. Util.**, v. 13, p. 127-135, 2005.

HECK, K.; MARCO, E. G. de; HAHN, A. B. B.; KLUGE, M.; SPILKI, F. R.; SAND, S. 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.

HOFFMANN, L. V. Biologia molecular da fixação biológica do nitrogênio. *In*: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. 312p.

IBA - INSTITUTO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA. **8 Benefícios da adubação orgânica**: adubo orgânico sim... mas com ciência! *E-book*: IBA, 2020. 31p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base contínua ao milionésimo**. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento_sistemtico/base_continua_ao_milionesimo/. Acesso em: 04 nov. 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271p.

IGLESIAS-JIMENEZ, E.; PEREZ-GARCIA, V. Determination or maturity indexes for city refuse composts. **Agr. Ecosyst. Environ.**, v. 38, p. 331-343, 1992.

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

ISHIMURA, I.; YAMAMOTO, S. M.; SANTOS, C.; OLIVEIRA, M. A. **Olericultura orgânica**: compostagem. São Paulo: SENAR/SP, 2006. 4p.

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

JESUS, E. L. Histórico e filosofia da agricultura alternativa. **Revista Proposta Fase**, Rio de Janeiro, v. 27, p. 34-40, 1985.

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

JODICE, R. Parametri chimici e biologici per la valutazione della qualità del compost. *In: Proceedings of the COMPOST Production and Use International Symposium*, S. Michelle all'Adige, n. 20-23, v. Jun., p. 363-384, 1989.

KASANA, R. C.; SALWAN, R.; DHAR, H.; DUTT, S.; GULATI, A. A rapid and easy method for the detection of microbial celulasas on agar plates using gram's iodine. **Current Microbiology**, London, v. 57, p. 503-507, 2008.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Kiehl, E. J., 1998. 171p.

LOPES, E. L. N.; FERNANDES, A. R.; TEIXEIRA, R. A.; SOUSA, E. S.; RUIVO, M. L. P. Soil attributes under different crop management systems in an Amazonian Oxisols. **Bragantia**, v. 74, n. 4, p. 428-435, out./dez. 2015.

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

MARTINS, B. H.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.; MIYAZAWA, M.; VIEIRA, K. M.; MILORI, M. B. P. Soil organic matter quality and weed diversity in coffee plantation area submitted to weed control and cover crops management. **Soil and Tillage Research**, v. 153, p. 169-174, nov. 2015.

MARTINS, E. S.; RESENDE, A. V.; OLIVEIRA, C. G.; FURTINI-NETO, A. E. Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos. *In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. (ed.). Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 380p.

MATTOS, W. R. S. Sistemas de estabulação livre para bovinos. *In: SIMPÓSIO SOBRE PECUÁRIA LEITEIRA*, 1., 1977, Águas da Prata. **Anais [...]**. Juiz de Fora: Embrapa, 1997, p. 123-139.

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 101-110, feb. 2008.

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

MENDES, R. C.; LOURINHO, M. T.; LOURINHO, D. T.; LOPES, W. E. A.; COSTA, P. S. S. Sustentabilidade na produção de resíduos: proposta de reaproveitamento dos resíduos sólidos em uma fábrica de açaí. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 9, n. 3, 2020.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

MENDOZA, H. N. **Efeitos de sistemas de colheita dos canaviais sobre propriedades químicas e biológicas em solos de Tabuleiro no Espírito Santo**. Rio de Janeiro. Dissertação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 113p. 1996.

MOTA, V. C.; ANDRADE, E. T.; LEITE, D. F. Use of compost bedded pack barn in maize fertilization for silage. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 4, p. 1571-1588, out./dez. 2020.

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

ORRICO-JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS-JÚNIOR, J. 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, E. C. R. **Assessment of the composting of poultry carcasses by bin methods and aerated static piles**. 2008. 164f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia; Saneamento ambiental) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

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

PEDROSA, T. D.; FARIAS, C. A. S.; PEREIRA, R. A.; FARIAS, E. T. R. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais, **Nativa**, Sinop, v. 1, n. 1, p. 44-48, out./dez. 2013.

PEREIRA-NETO, J. T. **Manual de compostagem**: processo de baixo custo. Viçosa: UFV, 2007. 81p.

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

PERLIN, A. P.; ALVARES, M. V.; KNEIPP, J. M.; VESTENA, D.; ROSSATO, G. Gestão de resíduos sólidos em uma organização militar do Rio Grande do Sul. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 9, n. 3, 2020.

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

PINHEIRO, S.; AURVALLE, A.; GUAZELLI, M. J. **Agropecuária sem veneno**. Porto Alegre: L&PM, 1985.

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

PRIMAVESI, A. **Cartilha do solo**. Fundação Mokiti Okada, 2006. p. 8-7.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico de pragas e doenças: técnicas alternativas para a produção agropecuária e defesa do meio ambiente**. São Paulo: Expressão Popular, 2016. 143p.

PRIMAVESI, S. **O manejo ecológico do solo**. São Paulo: Nobel, 1980. 541p.

PRIMO, D. C.; FADIGAS, F. S.; CARVALHO, J. C. R.; SCHIMIDT, C. D. S.; BORGES-FILHO, A. C. S. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, jul. 2010.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, n. 5, 2011.

RESTREPO, J. R.; PINHEIRO, S. **Agricultura Orgânica: la remineralización de los alimentos y la salud a partir de la regeneración mineral del suelo**. 3. ed. Tegucigalpa: Carmina editores, 2010. 125p.

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

RIFFALDI, R.; LEVI-MINZI, R.; SAVIOZZI, A.; CAPURRO, M. Evaluating garbage compost. **Biocycle**, 33, p. 66-69, 1992.

ROCCO, G. K.; HENKES, J. A. Biocombustíveis sustentáveis para a aviação no Brasil. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 9, n. 4, p. 191-226, out./dez. 2020.

ROCHA, E. J. P. L. **Agroflorestas sucessionais no assentamento Fruto D'anta/MG: potenciais e limitações para a transição agroecológica**. 2006. 168f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, 2006.

RODRIGUES, A. F. S. Agronegócio e mineral negócio: relações de dependência e sustentabilidade. In: RODRIGUES, A. F. S. **Informe mineral: desenvolvimento e economia mineral**. Brasília: DNPM, 2009. p. 28-47.

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

SANTOS, B. S. **A cruel pedagogia do vírus**. Coimbra: Edições Almedina, 2020. 32p.

SEDIYAMA, M. A. N.; GARCIA, N. C. P.; VIDIGAL, S. M.; MATOS, A. T. de. Nutrientes em compostos orgânicos de resíduos vegetais e animais. **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 1, p. 128-135, 2000.

SILVA, F. A. M.; GUERRERO LOPEZ, F.; VILLAS BOAS, R. L.; SILVA, R. B. 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, L. B.; SILVA, V. S. G.; FREITAS, M. C.; MARTINS, M. S.; SILVA, C. C. G.; SILVA, E. V. N.; SILVA, A. F. 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.

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

TAVARES, L. F. **Disponibilização de potássio e silício de remineralizador pelo processo de compostagem**. 2017. 55f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Instituto de Ciências Agrária, Rio Paranaíba, 2017.

THEODORO, S. H.; TCHOUANKOUE, J. P.; GONÇALVES, A. O.; LEONARDOS, O.; HARPER, J. 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, K.; CHEN, L.; MICHEL-JR., F. C.; KEENER, H. M.; RIGOT, J. F.; KLINGMAN, M.; KOST, D.; DICK, W. 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.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM-JÚNIOR, B. de S.; CABRERA, B. R.; MORAES, P. de O.; LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Arch. Zootec.** v. 58, p. 59-85, 2009.

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

WEINDORF, D. C.; MUIR, J. P.; LANDEROS-SÁNCHEZ, C. Organic compost and manufactured fertilizers: economics and ecology. *In*: CAMPBELL, W.; LOPEZ-ORTIZ, S. (ed.). **Integrating agriculture, conservation and ecotourism: examples from the Field.** Dordrecht: Springer, 2011. (AGRO, volume 1). DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-007-1309-3_2

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