

MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS DA COMPOSTAGEM, COM FIBRA DE PALMEIRA NATIVA E FEZES DE EQUINOS COMO BIOCATALIZADOR

MONITORING THE PARAMETERS OF COMPOSTING, WITH NATIVE PALM FIBER AND EQUINE FECES AS A
BIOCATALYST

DOI: <https://doi.org/10.16891/2317-434X.v11.e3.a2023.pp2799-2809> Recebido em: 30.06.2023 | Aceito em: 12.07.2023

*Osman José de Aguiar Gerude Neto^a, Daniel Rocha Pereira^a, Thiago Rocha Lima^a, Darlan
Ferreira da Silva^a, Rita de Cássia Mendonça de Miranda^a*

Universidade CEUMA^a

**E-mail: osmangerude@hotmail.com*

RESUMO

O presente trabalho objetivou, empregar a substituição da fibra tradicional por fibra oriunda de palmeira nativa e fezes de equinos como biocatalizador no processo de compostagem. E para avaliar o processo, foi desenvolvido um protótipo de placa microcontroladora, tipo Arduino Uno R3 que monitorou os parâmetros de temperatura e umidade. O delineamento experimental foi: T1 - Controle: 50% de material fibroso (podas de grama e folhas), 25% de restos de alimentos e 25% de fezes de equinos; T2 - 50% de fibra (Babaçu Fibra Desfiada) 25% de restos de alimentos e 25% de fezes de equinos; T3 - 50% de fibras (Casca de Babaçu), 25% de restos de alimentos e 25% de fezes de equinos; T4 - 50% de fibra (Babaçu Quebrado), 25% de restos de alimentos e 25% de fezes de equinos. Após 30 dias de experimento, as amostras foram peneiradas, embaladas, identificadas e levadas ao Laboratório de Química dos Solos - LABQLS da UEMA. Enquanto os dados registrados pelo monitoramento do Arduino, foram tratados no Excel e transformados em gráficos. As análises químicas do material mostraram valores satisfatórios, principalmente de Matéria Orgânica disponível para o solo. Demonstrando que este processo pode ser utilizado para descarte e reciclagem dos resíduos testados, e que o monitoramento de parâmetros auxilia no entendimento da formação dos compostos orgânicos gerados.

Palavras-chave: Fibra; Matéria orgânica; Placa Microcontroladora.

ABSTRACT

The present work aimed to employ the replacement of traditional fiber by fiber from native palm and horse feces as a biocatalyst in the composting process. And to evaluate the process, a prototype microcontroller board was developed, like Arduino Uno R3, which monitored the parameters of temperature and humidity. The experimental design was: T1 - Control: 50% fibrous material (grass and leaf cuttings), 25% food remains and 25% horse feces; T2 - 50% fiber (Babaçu Fiber Shredded) 25% food scraps and 25% horse feces; T3 - 50% fiber (Babassu bark), 25% food waste and 25% horse feces; T4 - 50% fiber (broken babassu), 25% food waste and 25% horse feces. After 30 days of experiment, the samples were sieved, packaged, identified and taken to the Laboratory of Soil Chemistry - LABQLS at UEMA. While the data recorded by Arduino monitoring, were treated in Excel and transformed into graphs. The chemical analyzes of the material showed satisfactory values, mainly of Organic Matter available for the soil. Demonstrating that this process can be used for disposal and recycling of the tested residues, and that the monitoring of parameters helps in understanding the formation of the generated organic compounds.

Keywords: Fiber; Organic Matter; Microcontroller Board.

INTRODUÇÃO

A compostagem pode ser definida como o processo bioquímico natural, que transforma, através da ação dos microrganismos, os resíduos vegetais ou animais ricos em matéria orgânica, em composto orgânico utilizado na recuperação de solos, ou na nutrição das plantas (Carvalho; Guerrini, Valle, 2002). É “um processo controlado de decomposição microbiana, de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica”. Esse processo é decorrente da integração de uma série de parâmetros físico-químicos, por exemplo aeração, umidade, temperatura, pH, nutrientes disponíveis e de compostos orgânicos existentes, que contribuem para a aceleração da decomposição aeróbica dos resíduos orgânicos por populações microbianas, onde tais parâmetros dão condições ideais para que os microrganismos decompositores sobrevivam e se desenvolvam utilizando essa matéria como alimento. O processo é caracterizado por estabilização e maturação do composto orgânico, produzido após a reciclagem dos resíduos presentes na compostagem. (VALENTE, 2009).

Dentro deste mecanismo produtor de composto orgânico, o biocatalizador e as fibras são componentes ideais para que os microrganismos tenham condições de crescer se alimentar e reproduzir, ambos, carregam o fator chave para desenvolvimento da compostagem, pois as fezes e os demais substratos utilizados como aceleradores do processo, são ricos, na maioria das vezes, em nitrogênio, enquanto as fibras auxiliam no balanceamento de carbono, necessário para a atuação dos decompositores na produção de um composto de qualidade.

As fibras regionalizadas, tem uma grande aplicação na produção de insumos locais, pois são utilizadas para produção de artesanatos e também, para a confecção de produtos de gêneros alimentícios. No estado do Maranhão, a palmeira de babaçu (*Orbignya speciosa*), possui grande potencial e importância para muitas comunidades extrativistas, tanto por razões de subsistência, quanto por questões econômicas, em função dos diversos usos que ela oferece (Gomes et al; 2012). Dentre esses, destaca-se o uso da fibra (epicarpo) para aplicação em estudos (Silva, 2019; Do Monte, De Souza & Do Monte, 2023 etc.) fonte energéticas e manufaturas, já as amêndoas e mesocarpo para fins cosméticos e culinários (Dos Santos et al., 2020; Dela Flora et al., 2021 etc.)

A palmeira do babaçu é encontrada em grande parte do território maranhense, principalmente na chamada da Mata dos Cocais, um bioma de transição entre a floresta Amazônica, a Caatinga e o Cerrado, que se

caracteriza por possuir um clima variando entre o equatorial úmido, até o semiárido. “O fruto da palmeira apresenta: epicarpo (camada mais externa) o que consideramos como a fibra, mesocarpo (com 0,5 a 1,0 centímetro, rico em amido), o endocarpo (rijo, de 2 a 3 centímetros espessura) e as amêndoas (de 2 a 8 por fruto)”. (BRASIL,2012). Por ter estas características, e sua fibra ser residual em abundância na grande maioria dos beneficiadores do fruto, está pode se apresentar como uma alternativa para compor a parte fibrosa da compostagem na produção de adubos orgânicos no estado.

Outro componente importante para execução da reciclagem de resíduos orgânicos, são as fezes animais, que nas zonas urbanas, se acumulam ao longo das vias, ou em vários pontos espalhados pelas cidades. Uma das espécies de animais de produção mais utilizados em zonas urbanas, são os Equinos, que em média chegam a defecar 14kg por dia, desta forma sendo uma fonte em potencial para coleta de biocatalizador para o processo de compostagem. No Brasil, o tamanho do rebanho de Equinos é de 5.777.046 cabeças divididos em 1.170.196 estabelecimentos, sendo que o estado do Maranhão, conta atualmente com 233.599 cabeças divididos em 49.289 estabelecimentos, sendo o município de Açailândia o maior produtor, e na região metropolitana de São Luís estão registrados 1.116 cabeças destes animais. (IBGE,2021)

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a substituição da fibra tradicional usada na compostagem, pelas fibras oriundas do beneficiamento do Babaçu com adição do biocatalizador fezes de equinos, para a produção de composto orgânico. Desta forma, apresentando a compostagem como alternativa de reaproveitamento e descarte correto para estes resíduos.

METODOLOGIA

Coleta de Amostras e Delineamento Experimental

O experimento foi realizado entre setembro e outubro de 2022, na Universidade do CEUMA – UniCEUMA, no Campus Renascença. Para o experimento foram estruturadas leiras de compostagem de 1kg de massa e com teores de fibra (folhas, gramas, e podas em geral) e material orgânico (resto de alimentos e fezes animal) de 50% cada. Os resíduos orgânicos foram coletados na Cozinha Escola do curso de Gastronomia da Universidade CEUMA, as Fibras de Babaçu foram coletadas na Empresa de Beneficiamento de Babaçu Florestas Brasileiras S.A, localizada na Rodovia 222, Km 216 municípios de Itapecuru Mirim – MA, e as fezes dos animais (equinos) no Comando Geral da Polícia Militar na

Avenida Jerônimo de Albuquerque, no Bairro do Calhau em São Luís - MA

O experimento foi delineado de seguinte forma: quatro leiras de compostagem, com 1kg de massa e composta por diferentes tipos diferentes de fibra, oriundas no processo de beneficiamento do babaçu. O tratamento 1 (T1) sendo o controle do experimento, foi constituído de 50% de material fibroso (poda de gramas e folhas – fibra tardicional) e 50% de material orgânico (25% de restos de alimentos + 25% de fezes de equinos), o tratamento 2 (T2)

foi constituído de 50% de material fibroso (fibra desfiada do babaçu) e 50% de material orgânico (25% de restos de alimentos + 25% de fezes de equinos), o tratamento 3 (T3) foi constituído por 50% de material fibroso (casca de babaçu) e 50% de material orgânico (25% de restos de alimentos + 25% de fezes de equinos), já o tratamento 4 (T4) foi constituído por 50% de material fibroso (babaçu triturado) e 50% de material orgânico (25% de restos de + 25% de fezes de equinos) (Figura 01 e Quadro 01).

Quadro 01. Quantitativo de material constituinte das leiras experimentais.

Tratamento	Material Fibroso (50%)	Material Orgânico (25%)	Biocatalizador (25%)
T1 – Controle	500g de podas de gramas e folhas	250g de restos de alimentos	250g de fezes de equinos
T2 - Babaçu Fibra Desfiada	500g de Babaçu Fibra Desfiada	250g de restos de alimentos	250g de fezes de equinos
T3 - Casca de Babaçu	500g de Casca do babaçu	250g de restos de alimentos	250g de fezes de equinos
T4 - Babaçu Quebrado	500g de Babaçu quebrado	250g de restos de alimentos	250g de fezes de equinos

Fonte: Autores (2022).

Após a montagem das leiras, e com 30 dias de início do experimento, foi acoplado um protótipo de monitoramento dos parâmetros de temperatura e umidade, controlado por Arduino, e desenvolvido pelos autores do trabalho (Figura 02). A intenção do monitoramento dos parâmetros, é acompanhar a evolução da passagem de temperatura ao longo do processo, e adicionar somente o necessário de água nas leiras, para evitar o desperdício, e correlacionar esses dados com duração da produção do composto orgânico, e sua qualidade final.

Após o encerramento do experimento, as amostras

de composto orgânico resultantes da compostagem foram coletadas, peneiradas e acondicionadas em sacos plástico, identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, para a realização das análises físicas e químicas dos compostos. Os dados coletados pelo monitoramento via Arduino, foram recolhidos diariamente direto do cartão SD acoplado ao protótipo, sendo agrupados pela média diária, e posteriormente tratados no software Excel para confecção dos gráficos e tabelas referentes as curvas de temperatura e umidade.

Figura 1. Leiras dos Tratamentos experimentais.



Fonte: Autores (2022).

Figura 2. Protótipo de Monitoramento de Parâmetros da Compostagem.



Fonte: Autores (2022).

Análises Laboratoriais

Para as análises químicas e físicas das amostras, todas foram previamente peneiradas em uma peneira de 22 mm, segundo a metodologia empregada no Manual de Análises Químicas (Embrapa, 2017) para avaliação da fertilidade de solos tropicais.

As quantidades de amostras selecionadas variaram de acordo com o parâmetro a ser avaliado. Após a separação das porções necessárias, uma solução extratora foi adicionada para que fosse possível extrair os minerais e aguardou-se 24 horas para iniciar os procedimentos.

Análises Químicas

O procedimento inicial consistiu em colocar 10ml da amostra em um recipiente de 100mL identificado, depois adicionado 25ml de Solução de CaCl_2 0,01 molar - diluindo 10ml do padrão para cada litro de solução, e agitando a amostra com bastão de vidro individual e deixado em repouso por 30 minutos. Antes das mensurações, o medidor de pH foi calibrado com as soluções-tampão para pH 4,0 e 7,0. Após o repouso mergulhou-se os eletrodos na suspensão homogeneizada e assim procedeu a leitura do pH, a cada leitura foi realizada a lavagem do eletrodo entre uma e outra determinação com água destilada por meio de uma pisseta e enxugado (EMBRAPA, 2017).

Para análise de Matéria Orgânica foi adicionado 10 ml de Solução sulfocrômica (ácido sulfúrico com dicromato de sódio) e 1ml da amostra. Deixou-se em descanso por 24 horas e foi levado para fazer a leitura em

um Espectrofotômetro UV (EMBRAPA, 2017).

Para determinação de P, foi realizado o ataque de 2ml da amostra e 25ml da Solução Extratora de Mehlich e deixou-se em repouso por 24 horas. Foi retirado 5ml da amostra atacada e adicionado 10ml da solução tampão de Molibdato de Amônio e agitado conforme a Figura 4. Depois de agitadas, as amostras repousaram por 60 minutos e depois foi realizada a leitura no Espectrofotômetro UV (EMBRAPA, 2017).

Para a determinação de K, foi realizado o ataque de 2ml da amostra e 25ml da Solução Extratora de Mehlich e deixou-se em repouso por 24 horas. Foi retirado 10ml da solução atacada e adicionados em tubos de ensaio e foi realizado a leitura no Fotômetro de Chamas (EMBRAPA, 2017).

O ataque realizado para análise de Ca e Mg, consistiu em adicionar 50ml de solução de Cloreto de Potássio (KCl) em um recipiente com 5ml de amostra e agitado manualmente, assim, deixando em repouso por 24 horas. Após o repouso é retirado 10 ml da solução atacada e encontrado resultados de cálcio e magnésio com adição de 2 mL da “solução tampão para Ca e Mg” e acrescentado 2 gotas do indicador negro de eriocromo T ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{NaO}_7\text{S}$) junto com a solução titulante EDTA.

Em uma amostra controle separadamente é adicionado 10 ml de água destilada + 2 mL da solução tampão para Ca e Mg + 2 gotas do indicador negro de eriocromo T, após a mistura é agitado manualmente atingindo uma coloração roxa. Com a titulação das amostras feito com água destilada, ocorre a variação da cor rosa para roxa e é anotado a quantidade de H_2O destilada que está inserido na amostra através das medidas da bureta.

Na análise do magnésio, é utilizado os valores de Ca + Mg, para então subtrair com os valores obtidos do Ca separadamente, com isso anulamos o cálcio e teremos os valores do magnésio (EMBRAPA, 2017).

Análises Físicas

Para as análises físicas foi adotado o método da pipeta do manual de método de análise de solos EMBRAPA, 2017. Iniciou-se o processo pesando 20g de solo em copo plástico de 250ml. Foi adicionado 100ml de água e 10ml de solução normal de hidróxido de sódio, ou 10ml de hexametáfosfato de sódio, tamponado com carbonato de sódio. Agitou-se com bastão de vidro e deixar em repouso durante uma noite (EMBRAPA, 2017).

Após o repouso foi transferido o conteúdo para copo metálico do agitador elétrico “stirrer” com o auxílio de um jato de água, deixando o volume em torno de 300ml. Colocou-se o copo no agitador para proceder à agitação durante 15 minutos para solos argilosos e de textura média e 5 minutos para os arenosos (EMBRAPA, 2017).

Depois de realizada a agitação das amostras, o conteúdo foi passado através de peneira de 20cm de diâmetro e malha de 0,053 (nº 270), colocada sobre um funil apoiado em um suporte, tendo logo abaixo uma proveta de 1.000ml, e depois lavar o material retido na peneira com água proveniente de depósito colocado a mais ou menos 3 metros de altura, de modo a se obter uma pressão uniforme na mangueira e uma lavagem eficiente e rápida das areias (EMBRAPA, 2017).

Após a lavagem do material em suspensão foi realizada a agitação do material que ficou na proveta durante 20 segundos com um bastão, tendo este, na sua extremidade inferior, uma tampa de borracha contendo vários furos e de diâmetro um pouco menor do que o do cilindro ou proveta. Marcar o tempo após concluir a agitação. Preparar a prova em branco, colocando o dispersante utilizado em proveta de 1.000ml contendo água. Completar o volume, agitar durante 20 segundos e marcar o tempo. Medir a temperatura da prova em branco e da amostra e verificar o tempo de sedimentação da fração argila para 5cm de profundidade (EMBRAPA, 2017)

Calculado o tempo, introduzir uma pipeta de 50ml, colocada em pipetador automático de borracha, até a profundidade de 5cm, e coletar a suspensão e transferir para cápsula de porcelana, juntamente com a porção proveniente da lavagem da pipeta. Repetir esta operação para a prova em branco. Foi colocado a cápsula na estufa e deixar durante uma noite ou até evaporar completamente a suspensão (EMBRAPA, 2017).

Retirar, colocar em dessecador, deixar esfriar e

pesar com aproximação de 0,0001g, concluindo, assim, a determinação da argila e do resíduo da prova em branco. Completar a lavagem da areia retida na peneira de 0,053mm com jato forte de água de torneira. Transferir a fração areia para lata de alumínio numerada e de peso conhecido, eliminar o excesso de água e colocar na estufa. Após secagem (3 a 5 horas), deixar esfriar e pesar, com aproximação de 0,05g, obtendo-se assim o peso da areia grossa + areia fina. Transferindo essa fração para peneira de 20cm de diâmetro e malha 0,2mm (nº 70), colocada sobre recipiente metálico de mesmo diâmetro, e proceder à separação da areia grossa (EMBRAPA, 2017).

Monitoramento de Temperatura e Umidade

O Monitoramento de Temperatura e Umidade foi realizado por meio de uma placa microcontroladora, tipo Arduino Uno R3, por se tratar de uma ferramenta livre, de fácil manipulação e baixo custo (SOUZA et al., 2011). Esta plataforma é o centro de operações do Monitoramento de Temperatura e Umidade, ela é o responsável pela leitura dos sensores de temperatura e umidade, pela a gravação dos dados no cartão de memória e pelo display LCD.

Programação da Placa Microcontroladora (Arduino)

O circuito é composto por seis sensores, sendo três sensores de temperatura DS18B20 e três sensores de Umidade do solo. Os sensores foram estendidos com cabos de um metro para a melhor manipulação dos mesmos dentro das leiras.

A programação do dispositivo de monitoramento, foi feita utilizando a linguagem Wiring, no Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE), oferecido pelos desenvolvedores do Arduino, utilizando-se o software Arduino 1.10. Os programas foram escritos em C/C++, permitindo dessa forma controlar aparelhos conectados ao Arduino. Além disso, a programação do dispositivo foi desenvolvida para atender as necessidades exigidas pela atividade biológica, ou seja, manter as condições ideais para que os microrganismos degradassem a matéria orgânica de forma eficiente. A definição dessas condições foi baseada nas recomendações dadas por Pereira Neto (1996). Segundo o autor, a temperatura ideal para a atividade microbiológica se desenvolver é na faixa de 35°C a 60°C e a umidade deve estar entre 40% a 60%.

O monitoramento foi programado para leituras com intervalos de 10 (dez) minutos. Os dados eram coletados diariamente. Na figura 03 é apresentado o esquema de montagem do dispositivo de Monitoramento

de Temperatura e Umidade.

Calibragem

Para calibrar os sensores, por meio dos algoritmos, foi usado um método de comparação com equipamentos calibrados e procedimentos normativos, onde para o sensor de umidade do solo foi usado o método da frigideira, de acordo com a NBR 16097:2012 (Determinação do teor de umidade) e o sensor de temperatura foi utilizado um termômetro de marca

Instrutherm digital tipo K com Datalogger TH1600.

Montagem do dispositivo

Após a calibração, foi colocado o dispositivo de monitoramento nas leiras, como mostra a Figura 02, e as respectivas de sondas de temperatura e umidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros Químicos (quadro 04)

Tratamentos	pH (CaCl ₂)	MO (g/dm ³)	P (mg/dm ³)	K (mmolc/dm ³)	Ca (mmolc/dm ³)	Mg (mmolc/dm ³)	Na (mmol/dm ³)	CTC (mmol/dm ³)	V %
T1	6,66±0,05a	147,33±0,57a	613,33±0,58a	8,83±0,05a	96,33±0,57a	38,33±0,57a	14,1±0,27a	174,2±0,38a	90,1
T2	6,40±0,00b	95,66±0,56b	78,33±0,57b	5,13±0,05b	32,31±0,58b	57,36±0,58b	8,1±0,07b	127,4±0,37b	80,2
T3	6,40±0,00b	101,33±0,58c	613,31±0,57a	4,73±0,05c	21,34±0,59c	52,34±0,59c	7,0±0,17c	128,3±0,37b	66,0
T4	6,26±0,05c	118,33±0,57d	613,34±0,59a	5,23±0,05b	46,31±0,58d	11,32±0,59d	7,9±0,05b	84,3±0,39c	84,4

Fonte: Autores (2022).

Os Valores de pH tiveram uma média de 6,45, não apresentando diferença estatística, e demonstrando uma boa capacidade de disponibilidade de nutrientes para as plantas nos compostos orgânicos formados em todos os tratamentos. Segundo Fialho et al. (2005) o intervalo de pH considerado ótimo para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela compostagem está entre 5,5 e 8,5, resultado alcançado por todos os tratamentos, independentemente do tipo de fibra utilizada. Estes resultados corroboram com os obtidos por Amaral et al (2023); e Brun et al (2022), que ao testarem dejetos de animais para catalisar a compostagem de resíduos fibrosos, obtiveram amostras de pH variando entre 6,0 e 6,8; com as concentrações de 50% de fibra e 50% de MO. Demonstrando que as fezes de animais como biocatalizadores, não alteram a acidez dos compostos formados no final do processo.

Segundo Donagema (2011), solos considerados ideais para uma boa produção agrícola estão entre 6 a 6,5% de MO disponíveis para as plantas. As análises químicas dos compostos resultaram em valores de: 14,7% (T1); 9,5% (T2); 10,1% (T3); e 11,8% (T4) para MO, valores bem acima dos descritos pela literatura para um solo fértil, sendo que todas as amostras apresentaram diferença estatística entre os tratamentos, para os níveis destes parâmetros. Os tratamentos T3 e T4 podem ter uma maior

concentração de MO em relação ao T2, pois estes durante o processamento do fruto são mais triturados, e nem sempre totalmente separados do mesocarpo e endocarpo do fruto, assim podendo conter outras partes do babaçu em sua composição, o que pode contribuir para um aumento na sua composição de carbono e consequentemente na disponibilidade de matéria orgânica no composto final.

Os teores de Fósforo (P) analisados, tiveram valores altos, acima dos descritos na literatura como índices ideais para as plantas. Apenas tendo menor concentração no tratamento T2, o que pode ser explicado, novamente devido a ausência na sua composição principalmente de partes do mesocarpo do fruto, que possui contração de P em sua composição. Segundo Carrazza et al., (2012) a parte central do fruto é composto por uma rica massa de amido usada tanto na alimentação animal, quanto humana, comporta por sais minerais como: cálcio; ferro; sódio; fósforo; magnésio; manganês entre outros. É também importante ressaltar que altos índices de P auxiliam as plantas em um bom crescimento vegetativo, e quanto a sua fertilidade. Os resultados deste trabalho, corroboram com os de Magalhães et al., (2020), que testaram fibra de coco verde como fonte alternativa para produção de adubos orgânicos, obtendo índices médios de 428 mg/dm³, caracterizando que esse tipo de fonte fibrosa, tem uma tendência a disponibilizar altos índices desse

elemento.

Segundo Cantarella (2016), existem categorias diferentes para classificar o P no solo. Para o fósforo são estabelecidas classes de culturas denominadas de: florestais; perenes; anuais e hortaliças, sendo os índices de disponibilidade para o solo e para as plantas determinados da seguinte maneira: 0 à 10mmol/dm³ muito baixo; 3 à 25mmol/dm³ baixo; 26 à 60mmol/dm³ médio; 61 à 120mmol/dm³ alto e acima 120mmol/dm³ muito alto. O que evidencia que os resultados de fosforo tiveram resultados que se enquadram como muito alto.

Os teores de K e Na ajudam a regular o equilíbrio hídrico nas plantas e na absorção, translocação de açúcares e ácidos orgânicos. As análises de K e Na tiveram respectivamente valores médio de 5,0 mmolc/dm³ e 9,25 mmolc/dm³. Seguindo a linha de raciocínio e a categoria de classificação de disponibilidade para o solo e para as plantas usada por Cantarella (2016), os valores de Na acima 1% são considerados altos, e os valores de K são: 0,0 a 0,7mmol/dm³ muito baixo; 0,8 à 1,5mmol/dm³ baixo; 1,6 à 3,0mmol/dm³ médio; 3,1 à 6,0mmol/dm³ alto e acima de 6,0 mmol/dm³ muito alto. Contudo, a média dos resultados se enquadram como alto, nos compostos formados nos tratamentos, independente da fibra utilizada. Mas por serem nutrientes antagonistas, suas altas concentrações nos substratos podem impedir que as plantas e os solos, absorvam estes em grande quantidade.

Malavolta (2008) explica a interação Ca e Mg no solo, o cálcio é importante para manutenção do ajustamento estrutural e funcional das membranas e paredes celulares vegetais. Sendo o magnésio (Mg) essencial para o processo de fotossíntese e outros processos fisiológicos e de nutrição das plantas. Em alguns

casos correlacionando o Ca e Mg acontece a chamada inibição competitiva que é, quando a presença em excesso de um nutriente diminui a absorção do outro. No adubo orgânico obtido, as médias de Cálcio foi de 49 Mmolc/dm³ e Magnésio 39 Mmolc/dm³, onde todos os tratamentos para ambos os parâmetros apresentaram diferença estatística nas amostras. É importante lembrar que a concentração de cálcio no babaçu é em média de 0,07 a 0,70% (Cvalcante et al., 2005), que o biocatalizador utilizado foram de animais da montaria da Polícia Militar do Maranhão, ou seja, animais que tem uma carga alta de atividades físicas, e por isso tem alta taxa de transpiração, e segundo Folador et al., (2014) equinos submetidos a exercícios físicos constantes tem uma alta taxa de perda de nutrientes pela transpiração como o Ca; o que pode justificar a menor quantidade deste na excreta, e por consequência no compostos formados.

A Capacidade de troca de Cátions representa a quantidade total de cátions que podem ser adsorvidos no solo. Ela é influenciada pelo pH, e pela soma dos cátions que compõem o solo, e pela quantidade de matéria orgânica disponível (DONAGEMMA, 2011). Como demonstrado no quadro 04, os índices acima citados, estão todos dentro dos padrões de qualidade determinados pela literatura, onde apresentaram um CTC média de 128,55 mmolc/dm³ (classificada como alta, segundo EMBRAPA, 2017) proporcionando aos compostos formados uma boa capacidade de distribuição de nutrientes para o solo e para as plantas. Isto pode ser evidenciado quando observamos os valores de V (percentagem de saturação por base) que são consideradas boas com índices de 50%, e em todos os tratamentos as percentagens foram superiores aos 66% de saturação.

Parâmetros Físicos (Quadro 05)

Quadro 5. Análise Física do Composto.

Tratamentos	Composição Granulométrica %				Silte/Argila	Textura
	Areia Grossa (2-0,2mm)	Areia fina (0,002)	Silte (<0,005-0,002)	Argila (<0,002)		
T1	29	41	20	10	2,00	Franco Arenoso
T2	29	27	36	8	4,50	Franco Arenoso
T3	22	17	53	8	6,63	Franco siltoso
T4	28	24	42	6	7,00	Franco Arenoso

Fonte: Autores (2022).

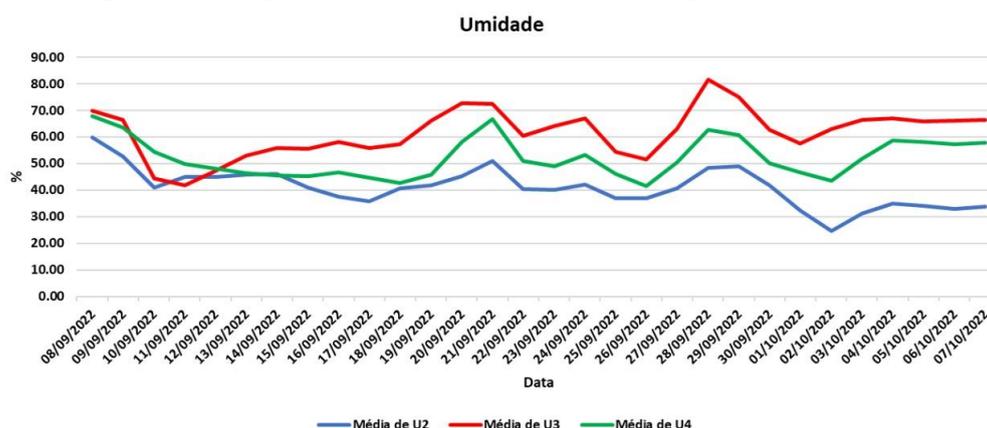
Todos os tratamentos apresentam baixos teores de argila. O tratamento T1 indicou o maior percentual, 10%. Normalmente os solos argilosos apresentam baixo teor de matéria orgânica, estes solos possuem muitas particularidades que o diferenciam dos outros, os resultados de baixo teor de argila nos compostos são positivos. T1, T2 e T4 apresentaram a textura de solo que se enquadra em Franco arenoso, são solos considerados moderadamente grosseiros, O resultado condizem com os tipos da fibra dos tratamentos T1 – Controle podas de grama, T2 - Babaçu Fibra Desfiada e T4 - Babaçu Quebrado. O T3 foi caracterizado como Franco siltoso ou também chamados de limosos, normalmente formam torrões quando secos e são facilmente esmagados, transformando-se em pó tipo farinha, podendo ser

explicado pela conformação fibrosa do tratamento com cascas de Babaçu.

Para teores de areia grossa, todos os tratamentos apresentaram baixos resultados, sendo uma correlação positiva, por se tratarem de compostos orgânicos e não ter nenhuma relação com solos arenosos. Os resultados para areia fina mantiveram uma média boa, exceto o tratamento T1, que teve um contato maior com o solo por se tratar da sua composição fibrosa ser de podas de grama. E mais uma vez o tratamento T3 se diferencia com um resultado mais elevado dos demais em relação a silte, justamente por conta de ser a casca do babaçu como fonte de fibra.

Análise da Umidade (Figura 06)

Figura 6. Variação da umidade nas leiras durante o período monitorado.



Fonte: Autores (2022).

Diferente do comportamento de temperatura em todas as fases da compostagem, a umidade é o parâmetro que pode ser controlado com maior facilidade, a presença de água é o fator principal para determinar a umidade da compostagem e para as necessidades fisiológicas dos organismos presentes no processo. A Literatura diz que as leiras formadas com a matéria orgânica a ser compostada deve ter a média de umidade em torno de 50% desejável para que o processo seja ideal. Entretanto esse processo pode registrar valores entre 40% e 60% mínimo e máximo.

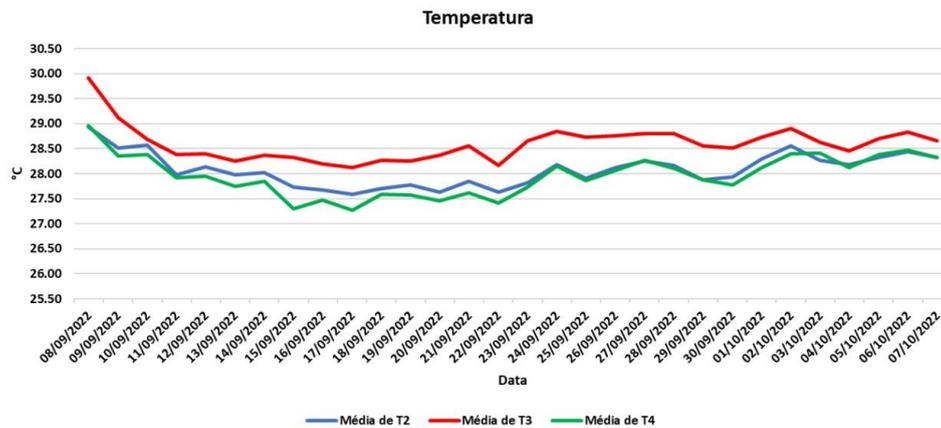
Utilizando a placa microcontroladora, tipo Arduino Uno R3 e o Algoritmo desenvolvido para dar os comandos, foi possível acompanhar e controlar a umidade todos os dias por um período de 30 dias. O gráfico

expressa que teve uma variação de 80% a 30%, os valores de 80% foram atingidos quando chegava determinado período do dia no qual era coletado os dados e feito a irrigação do composto para que atingissem os valores de umidade alto, no decorrer das 24h à umidade baixava chegando até em 30% momento que o ciclo de irrigação do composto se repetia.

Mesmo com varrições diárias em torno de 20 a 30% de umidade nas leiras, os compostos se mantiveram estáveis, produzindo nos quatro tratamentos composto orgânicos de qualidade.

Análise da Temperatura

Figura 7. Variação da temperatura nas leiras durante o período monitorado.



Fonte: Autores (2022).

Segundo Andreoli (2001) a compostagem aeróbia pode ocorrer em situações tanto de temperatura termofílica (45°C a 85°C) como mesofílica (25°C a 43 °C). Fase termofílica é a fase de oxidação na qual as bactérias e fungos degradam a matéria orgânica e o composto atingem altas temperaturas por causa desse processo dos microrganismos, nesta fase os agentes patogênicos são eliminados devido à alta temperatura.

A fase mesófila vem depois da fase termofílica, é chamada a fase de maturação, quando a decomposição microbiológica se completa, ocorre a diminuição da atividade microbiana e da acidez. É um período de estabilização que produz o composto maturado, e a matéria orgânica é transformada em húmus, livre de toxicidade, metais pesados e patógenos.

De acordo com o gráfico elaborado através dos resultados obtidos utilizando a placa microcontroladora, tipo Arduino Uno R3 e o Algoritmo desenvolvido que coletava os dados da sonda de temperatura introduzidas nos tratamentos, é possível observar que a temperatura oscila entre 27,5 °C e 30 °C, isto pois o dispositivo de monitoramento foi introduzido no experimento e começou a fazer as leituras de temperatura somente na fase mesófila onde o composto já se encontrava no estado de maturação. Mostrando que mesmo com variações de umidade, e de constituições fibrosas, os microrganismos mantiveram-se ativos produzindo as substâncias húmicas e maturando o composto orgânico.

CONCLUSÃO

O processo de substituição da fibra tradicional (folha, grama e restos de poda) pelas fibras de palmeira nativa (Babaçu) e adição de fezes de equinos como biocatalizador, caracterizou-se como uma alternativa viável para descarte destes produtos, e uma fonte alternativa para produção de compostos orgânicos de qualidade, devido ao baixo custo na produção, e curto período de tempo do beneficiamento do material.

Em relação a disponibilidade de nutrientes para o solo e para as plantas, o tratamento mais indicado é o T2, pois foi o mais equilibrado entre a distribuição dos índices que a litura determina para os parâmetros avaliados. Mas isso não inviabiliza a utilização dos demais tratamentos, pois tiveram índices satisfatórios, principalmente em relação ao pH, MO e CTC.

Vela destacar, que a introdução do sistema de monitoramento de parâmetros no terço final do experimento, contribuiu para o melhor entendimento das variações sofridas no processo de transformação dos materiais, e como a temperatura e a umidade auxiliam no processo de maturação dos compostos formados, pois o controle desses parâmetros evita o desperdício de água, e ajudam a proporcionar condições favoráveis para os microrganismos presentes nas leiras de compostagem.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, J. E et al. Aplicação da Compostagem como Tratamento para Resíduos Alimentares, Dejeito Bovino e Pó de Grama. In: Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade - CONRESOL, 6., 2023, Dois Vizinhos. **Anais...** Foz do Iguaçu, IBEAS, 2023.
- ANDREOLI, Cleverson Vitório. 2001. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: ABES.
- BRUN, J. E et al. Aceleração da Compostagem em Resíduos de Poda Urbana com Adição de Dejetos de Animais. In: Congresso Técnico-Científico de Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2022, Dois Vizinhos. **Anais...** Dois Vizinhos, UTFP, 2022.
- CANTARELLA, H. et al. Ensaio de Proficiência IAC para Laboratórios de Análise de Solo para Fins Agrícolas-Relatório Anual 2016. Instituto Agrônomo, Campinas, 2016.
- CARRAZZA, L. R et al. Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto e da folha do Babaçu. 2012.
- Cartilha Boas Práticas: Babaçu / Patrícia Cota Gomes, Helga Yamaki, Márcio Souza, Pedro Pereira de Castro, Agnaldo do Livramento e Natalia Guerrero – Piracicaba, SP: Imaflora, ISA e ACF, 2012.
- CARVALHO, Ana Gabriela M. et al. A compostagem como processo catalisador para a reutilização dos resíduos de fábrica de celulose e papel. *O Papel (Brasil)*, p. 71-75, 2003.
- CAVALCANTE, R. R. et al. Digestibilidade aparente de nutrientes de rações balanceadas com alimentos alternativos para cutias (*Dasyprocta prymnolopha*) em crescimento. **Revista Ciência Animal Brasileira**, v. 6, n. 3, p. 163-171, jul./set. 2005.
- DELLA FLORA, Marco Aurélio Lopes et al. Efeitos da inclusão de diferentes níveis do farelo de babaçu na dieta de suínos. **Veterinária e Zootecnia**, v. 28, p. 1-8, 2021.
- DO MONTE, Judson Rangell Rodrigues; DE SOUZA CARDOSO, Francinaldo; DO MONTE, Leiliane Trindade de Almeida. Aproveitamento do epicarpo de babaçu extraídos em Caxias-MA para a produção de briquetes. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 8, n. 3, p. 217-244, 2023.
- DONAGEMA, Guilherme Kangussú et al. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**, 2011.
- DOS SANTOS, Paull Andrews Carvalho et al. Análise econômica da inclusão de farinha amilácea de babaçu na dieta de cordeiros confinados. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1421-1426, 2020.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - **Manual de métodos de análise de solo** / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- FIALHO, Lucimar Lopes et al. Monitoramento Químico e Físico do Processo de Compostagem de Diferentes Resíduos Orgânicos. Embrapa Instrumentação Agropecuária. Circular Técnica, 2005.
- FOLADOR, Jonathan Cunha et al. Concentrações séricas de sódio, potássio e cálcio em equinos da raça Mangalarga Marchador após exercício físico. **Archives of Veterinary Science**, v. 19, n. 2, 2014.
- FRITIZING. Software Fritzing BETA. Versão 0.9.10. 2022. Disponível em: <<http://fritzing.org/download/>> Acesso em: 06 out. 2022.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo do rebanho de equinos no Brasil. Site IBGE. 2021.
- KIEHL, E J. Compostagem. 1988, Anais. Piracicaba: Livrocere, 1988. Acesso em: 27 set. 2022.
- MAGALHÃES, Walcones Miguel Abreu et al.. Uso de Casca de Mandioca e Fibra de Coco como Fontes Alternativas no Processo de Compostagem.. In: Anais do I Congresso Virtual de Estudantes e Profissionais de Engenharia Ambiental e Sanitária. **Anais...Goiânia(GO)**.
- MALAVOLTA, Eurípedes. O futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agrônômicos, econômicos e ambientais. SP: Ipn, 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Babaçu: *Attalea spp.* MART. / Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília: MAPA/ACS, 2012. 24p. (Série: Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável orgânico).

PEREIRA NETO, J. T. Manual de compostagem: processo de baixo custo. Viçosa – MG: UFV, 2007.

SILVA, Josany Saibrosa da et al. Subprodutos do babaçu (*Orbignya sp*) como novos materiais adsorptivos: uma

revisão. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 24, 2019.

SOUZA, A.R.; PAIXÃO, A.C.; UZÊDA, D.D.; DIAS, M.A.; DUARTE, S.; AMORIM, H.S. **A Placa Arduino: Uma Opção de Baixo Custo para Experiências de Física Assistidas pelo PC.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 1, 1702-1-1702-5, 2011.

VALENTE, Beatriz Simões et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. *Archivos de zootecnia*, v. 58, n. 224, p. 59-85, 2009.