



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

YASH BRENDON PEREIRA COELHO GUIMARÃES

**COMPOSTAGEM COMO ALTERNATIVA PARA GESTÃO DE RESÍDUOS
GERADOS PELA INDÚSTRIA DA ÁGUA-DE-COCO**

**BELÉM
2021**

YASH BRENDO PEREIRA COELHO GUIMARÃES

**COMPOSTAGEM COMO ALTERNATIVA PARA GESTÃO DE RESÍDUOS
GERADOS PELA INDÚSTRIA DA ÁGUA-DE-COCO**

Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia como parte das exigências do Curso de Pós-graduação em Agronomia: área de concentração Nutrição Mineral de Plantas, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Junior

BELÉM
2021

Dados Internacionais de Catalogação na
Publicação (CIP) Bibliotecas da Universidade
Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- G963c Guimaráes, Yash Brendo Pereira Coelho
COMPOSTAGEM COMO ALTERNATIVA PARA GESTÃO DE RESÍDUOS GERADOS
PELA INDÚSTRIA DA ÁGUA-DE-COCO / Yash Brendo Pereira Coelho Guimaráes. - 2021.
64 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Agronomia (PPGA), Campus
Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2021.
Orientador: Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Junior
1. Cascas de coco-verde. 2. Biodegradação. 3. Cocos nucifera. 4. Gestão de resíduos
agroindustriais. I. Silva Junior, Mário Lopes da, *orient.* II. Título

CDD

631.8098115

YASH BRENDO PEREIRA COELHO GUIMARÃES

**COMPOSTAGEM COMO ALTERNATIVA PARA GESTÃO DE RESÍDUOS
GERADOS PELA INDÚSTRIA DA ÁGUA-DE-COCO**

Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia como parte das exigências do Curso de Pós-graduação em Agronomia: área de concentração Nutrição Mineral de Plantas, para obtenção do título de Mestre.

27 de agosto de 2021
Data de Aprovação

BANCA EXAMINADORA

Mário Lopes da Silva Junior

Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Junior
Orientador
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

Sandra A.S. da Silva

Profª. Dra. Sandra Andrea Santos da Silva
Universidade Federal do Pará – UFPA

Saime Joaquina Souza Rodrigues
de Carvalho Rodrigues

Assinado digitalmente por SAIME JOAQUINA SOUZA DE CARVALHO RODRIGUES
Belém-PA
2021.09.16 14:25:06-03'00'

Dra. Saime Joaquina Souza de Carvalho Rodrigues
Instituto de Terras do Pará – ITERPA

POSSIDONIO GUIMARAES RODRIGUES
RODRIGUES:06450781408

Assinado digitalmente por POSSIDONIO GUIMARAES RODRIGUES:06450781408
Localização: Belém-PA
Data: 2021.09.16 14:12:43-03'00'

Prof. Dr. Possidonio Guimarães Rodrigues
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA

Este trabalho é integralmente dedicado aos meus pais, Jesinaldo de Souza Guimarães e Laura Helena Pereira Coelho Guimarães, que nunca duvidaram e sempre apoiaram meus objetivos e sonhos sem medir esforços e, independentemente das circunstâncias, permaneceram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, ao Deus criador dos céus e da terra que me permitiu viver até aqui com saúde e em segurança para que pudesse concluir meus objetivos.

Aos meus pais pelo apoio e confiança, não só hoje, mas durante toda a minha vida.

À grande amiga, Ma. Ynglety Cascaes pelo apoio teórico, técnico e pela compreensão e incentivo nos momentos mais difíceis da caminhada.

Ao meu orientador, Professor Dr. Mário Lopes da Silva Junior, por todo o apoio durante o curso mesmo em meio às circunstâncias adversas ao longo desse tempo.

Ao Dr. Paulo Lins e à Socôco Agroindústria da Amazônia S.A. pelo apoio técnico durante a condução dos experimentos nas dependências da Fazenda.

Aos amigos que encontrei durante a caminhada na pós-graduação: Me. Rubson Costa, Me. Robson Costa, Dr. Ítalo Marlone, Me. Yan Nunes, Ma. Letícia Hungria, Ma. Deiviane Barral e Ma. Suellen Araújo pelo suporte moral, teórico e técnico durante todo esse tempo.

À minha prima e amiga Raissa Alvarenga pelo suporte técnico referente às ilustrações utilizadas no trabalho.

Aos colegas e amigos que estiveram comigo desde a implantação dos experimentos até as fases finais de análises e redação: Fiama Nunes, Victor Dias, Stefany Figueiredo.

“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma.”

Antoine-Laurent Lavoisier

RESUMO

O consumo de água de coco vem crescendo de forma significativa nos últimos anos e, conseqüentemente, há uma demanda maior pela produção do fruto ainda verde, o que gera um passivo ambiental que são as cascas dos frutos. Além disso, as cascas são de difícil decomposição devido aos elevados teores de celulose e lignina em sua composição. Neste contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar diferentes formulações de compostagem das cascas do coco-verde ao longo do tempo. O experimento foi conduzido no pátio de compostagem da Fazenda Reunidas Socôco[®], município de Santa Izabel do Pará, na região amazônica. O desenho experimental foi blocos casualizados em esquema fatorial (5x6) de cinco tratamentos (T1: Cascas de Coco Trituradas (CCT); T2: CCT + 3% Cama de aviário (CA); T3: CCT + Inoculante (IN); T4: CCT + 3% CA + IN; T5: CCT+5% CA) e seis tempos de compostagem (0, 12, 24, 36, 48 e 60 dias) com quatro repetições. Foram avaliados os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, alumínio, sódio, carbono orgânico (C_{org}), matéria orgânica (MO), cinzas e relação Carbono/Nitrogênio (C/N) do composto. Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0.05$) utilizando-se o programa estatístico SISVAR. Também foram realizadas análises de correlação de Pearson ($p < 0.05$), agrupamento (*Clustering*) e Componentes Principais (ACP) pelo *Software R*. Houve redução significativa da C/N, C_{org} e MO, embora os tratamentos não tenham diferenciado entre si para as variáveis C_{org} e MO, e aumento nos teores de N, P, Fe, Al e cinzas em todos os tratamentos aos 60 dias de compostagem. T2, T4 e T5 alcançaram relação C/N adequada (< 33) para uso como fertilizante mais rapidamente (36 dias), valores mais elevados de N, P, Ca e Mg, além de menores relações C/N aos 60 dias. A C/N apresentou correlação negativa forte com o teor de N e moderada com os teores de P, Ca e Al, além de correlação positiva forte com o teor de MO e de C_{org} . A análise de agrupamento demonstrou que as características químicas das diferentes formulações mudam ao longo do tempo, favorecendo a formação de grupos influenciados, principalmente, pelos teores de nutrientes e pela C/N do material. A ACP mostrou que a redução da C/N ao longo do tempo está fortemente relacionada com os processos de mineralização dos resíduos. Portanto, os resultados desta pesquisa demonstram que a compostagem da fibra de coco-verde, com adição de CA é eficaz na redução da C/N para valores adequados à aplicação ao solo em um tempo menor, reduzindo o tempo de pátio do composto e, conseqüentemente, os custos operacionais envolvidos no processo de compostagem em larga escala.

Palavras-chave: cascas de coco-verde. biodegradação. *Cocos nucifera*. gestão de resíduos agroindustriais.

ABSTRACT

The consumption of coconut water has been growing significantly in recent years and, consequently, there is a greater demand to produce the fruit still unripe, which generates an environmental liability, which are the fruit peels. Furthermore, the bark is difficult to decompose due to the high levels of cellulose and lignin in its composition. In this context, the aim of the present study was to evaluate different formulations of composting coconut husks over time. The experiment conducted out in the composting yard at Fazenda Reunidas Socôco®, municipality of Santa Izabel do Pará, in the Amazon region. The experimental design was randomized blocks in a factorial scheme (5x6) of five treatments (T1: Crushed Coconut Shells (CCT); T2: CCT + 3% poultry litter (CA); T3: CCT + Inoculant (IN); T4: CCT + 3% CA + IN; T5: CCT+5% CA) and six composting times (0, 12, 24, 36, 48 and 60 days) with four repetitions. The contents of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, aluminum, sodium, organic carbon (Corg), organic matter (OM), ash and carbon/nitrogen (C/N) of the compost were evaluated. The results were submitted to analysis of variance and Tukey test at the level of 5% probability ($p < 0.05$) using the SISVAR statistical program. Pearson correlation ($p < 0.05$), clustering and Principal Components (ACP) analyzes were also performed using the R Software. There was a significant reduction in C/N, Corg and MO, although the treatments did not differ from each other for variables Corg and MO, and increase in the contents of N, P, Fe, Al and ash in all treatments after 60 days of composting. T2, T4 and T5 reached an adequate C/N ratio (< 33) for use as fertilizer faster (36 days), higher values of N, P, Ca and Mg, in addition to lower C/N ratios at 60 days. The C/N showed a strong negative correlation with the N content and moderate with the P, Ca and Al content, in addition to a strong positive correlation with the MO and Corg content. The cluster analysis showed that the chemical characteristics of different formulations change over time, favoring the formation of groups influenced mainly by nutrient content and C/N of the material. ACP showed that the reduction of C/N over time is strongly related to waste mineralization processes. Therefore, the results of this research demonstrate that the composting of green coconut fiber, with the addition of CA, is effective in reducing the C/N to values suitable for application to the soil in a shorter time, reducing the compost yard time and, consequently, the operating costs involved in the large-scale composting process.

Keywords: green coconut shells. biodegradation. *Cocos nucifera*. agro-industrial waste management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Total produzido (a) e produtividade ($t\ ha^{-1}$) (b) entre os 10 maiores produtores mundiais de coco (<i>Cocos nucifera</i>)	16
Figura 2 – Fluxograma representando o processo de produção e de geração de resíduos na indústria da água-de-coco	18
Figura 3 – Quantidades e tipos de unidades de processamento e destinação de resíduos sólidos urbanos no estado do Pará	19
Figura 4 – Mapa de localização da área de estudo	36
Figura 5 – Usina de trituração e mistura (a) e pilha de compostagem de cascas de coco-verde (b)	37
Figura 6 – Processo de revolvimento da leira de compostagem.....	38
Figura 7 – Aplicação do inoculante à base de microrganismos eficientes (a) e aplicação manual da cama-de-aviário (b)	39
Figura 8 – Coleta de microrganismos eficientes em área de mata nativa.....	40
Figura 9 – Evolução da temperatura da pilha durante o processo de compostagem das cascas de coco-verde (temperaturas aferidas sempre antes da realização dos revolvimentos)	42
Figura 10 – Matriz de correlação de <i>Pearson</i> ao nível de 5% de probabilidade ($p<0.05$) entre as variáveis analisadas	51
Figura 11 – Dendrograma de agrupamentos dos tratamentos aos 0, 36, 60 e de 0-60 dias de compostagem	52
Figura 12 – Diagrama da Análise de Componentes Principais com duas variáveis qualitativas (C/N e Tempo de compostagem)	54
Quadro 1 – Formulações utilizadas para a compostagem das cascas de coco-verde	38

LISTA DE ABREVIACOES

Al	Alumínio
ACP	Análise de Componentes Principais
C/N	Relação Carbono/Nitrogênio
Ca	Cálcio
CA	Cama de Aviário
CAGR (<i>inglês</i>)	Taxa de Crescimento Anual Composta
C	Carbono
C _{org}	Carbono orgânico
CCT	Cascas de Coco Triruradas
Fe	Ferro
HClO ₄	cido Perclórico
HNO ₃	cido Ntrico
IN	Inoculante
K	Potássio
ME	Microrganismos Eficientes
Mg	Magnésio
MO	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
Na	Sódio
NH ₄	Amnia
N ₂ O	xido Nitroso
P	Fósforo
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RS	Resíduos Sólidos
RSO	Resíduos Sólidos Orgânicos

SUMÁRIO

1 CONTEXTUALIZAÇÃO	14
1.1 REVISÃO DA LITERATURA	16
1.1.1 Produção de <i>Cocos nucifera</i>	16
1.1.2 Resíduos sólidos.....	17
1.1.3 Compostagem.....	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
2 COMPOSTAGEM COMO ALTERNATIVA PARA GESTÃO DE RESÍDUOS GERADOS PELA INDÚSTRIA DA ÁGUA DE COCO	32
RESUMO	32
ABSTRACT	33
2.1 INTRODUÇÃO	34
2.3 METODOLOGIA	36
2.3.1 Localização e condições meteorológicas	36
2.3.2 Implantação do experimento	37
2.3.3 Amostragem e análises químicas	39
2.3.4 Produção do inoculante	40
2.3.5 Desenho experimental	41
2.3.6 Análise estatística.....	41
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
2.4.1 Composição química do composto	42
2.4.2 Análise da correlação de <i>Pearson</i>	50
2.4.3 Análise de agrupamento (<i>Clustering</i>)	51
2.4.4 Análise de Componentes Principais (ACP)	53
2.5 CONCLUSÕES	55
CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de coco, ocupando a 5ª posição, atrás somente de Indonésia, Filipinas, Índia e Sri Lanka. Em 2019, a produção brasileira foi de aproximadamente 2.330.949 toneladas, entre coco seco e coco verde, ficando, entretanto, muito abaixo dos 4 maiores produtores que são responsáveis por mais de 80% de toda a produção entre os dez primeiros colocados (FAO, 2020).

No Brasil, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a região Nordeste é a maior produtora, seguida das regiões Sudeste e Norte, respectivamente. O estado do Ceará é o líder nacional em exportações de água-de-coco, faturando mais de US\$ 27 milhões entre 2017 e 2018. O Pará é o maior produtor da região Norte e o quarto maior produtor nacional, respondendo por cerca de 175 mil toneladas, aproximadamente 94,63% de todo o coco produzido no Norte do país e 11,27% da produção nacional (FIEC, 2018; IBGE, 2019).

O processo de extração da água de coco produz uma grande quantidade de resíduos sólidos orgânicos (RSO), ou seja, as cascas dos frutos, que, uma vez dispostos de forma inapropriada, tanto na fazenda quanto em lixões ou aterros sanitários, acarretam problemas ambientais e logísticos, além de aumentar os custos operacionais das empresas produtoras. O fluxo diário intenso de cascas de coco-verde geradas é uma das principais limitações para uma gestão eficiente, tendo em vista a dificuldade de tratamento/destinação do material. No Pará, apenas 13 dos 144 municípios destinam os resíduos sólidos (RS) produzidos a aterros sanitários ou aterros controlados. Os demais municípios ainda utilizam lixões a céu aberto (55) e 79 não informaram o tipo de destinação. Nesse contexto, o elevado volume de resíduos gerados durante a extração da água de coco torna-se um problema ambiental e logístico constante de solução (BRASIL, 2010, 2019).

Outro aspecto que dificulta o gerenciamento e destinação deste material são as características físico-químicas das cascas de coco. Esse resíduo é fibroso, com relação Carbono/Nitrogênio (C/N) elevada, baixo teor nutricional e grande quantidade de celulose e lignina em sua constituição. Tais características tornam sua decomposição no meio ambiente extremamente lenta, causando problemas ambientais e reduzindo a vida útil das unidades de destinação (KIEHL, 2010; ZHU, 2007). Segundo Nunes et al. (2007) são necessários de oito a dez anos para que ocorra a biodegradação por completo das cascas de coco, em condições naturais.

A compostagem é uma técnica que vem sendo cada vez mais utilizada como alternativa de tratamento de resíduos industriais e agroindustriais (LEAL *et al.*, 2013). No entanto, para que esta prática seja implementada de forma adequada aos modelos de gestão de RS é necessário observar alguns fatores que influenciam no bom desenvolvimento do processo. Temperatura, umidade, granulometria, disponibilidade de nutrientes e microrganismos e aeração são alguns dos fatores mais importantes a serem levadas em consideração (KIEHL, 2010; VALENTE *et al.* 2008).

A utilização do composto produzido com os resíduos da atividade produtiva da agroindústria promove o fechamento do ciclo produtivo no qual todos os insumos são aproveitados para promover benefícios à produção sem a geração de passivos ambientais (BONAMONE *et al.*, 2019). Este modelo de gestão é conhecido como Logística Reversa reaproveita os resíduos e garante a sustentabilidade em um sistema produtivo, agregando valor ao produto visto que há uma preocupação crescente entre os consumidores em relação à responsabilidade ambiental das empresas (CHEN; ZHANG; YUAN, 2020).

As características do composto produzido podem promover uma série de benefícios quando aplicado ao solo corretamente, especialmente nos aspectos químicos, físicos e biológicos (CHEN; ZHANG; YUAN, 2020; KIEHL, 2010). Diversos estudos têm demonstrado os efeitos positivos da aplicação de composto sobre a fertilidade dos solos e produtividade de espécies vegetais (COOPER, 2008; RODRIGUES *et al.*, 2011). Um exemplo disso é incremento de matéria orgânica ao solo que melhora o crescimento e desenvolvimento das plantas, além de recuperar sua capacidade produtiva em ambientes muito degradados (ALEMAYEHU *et al.*, 2020).

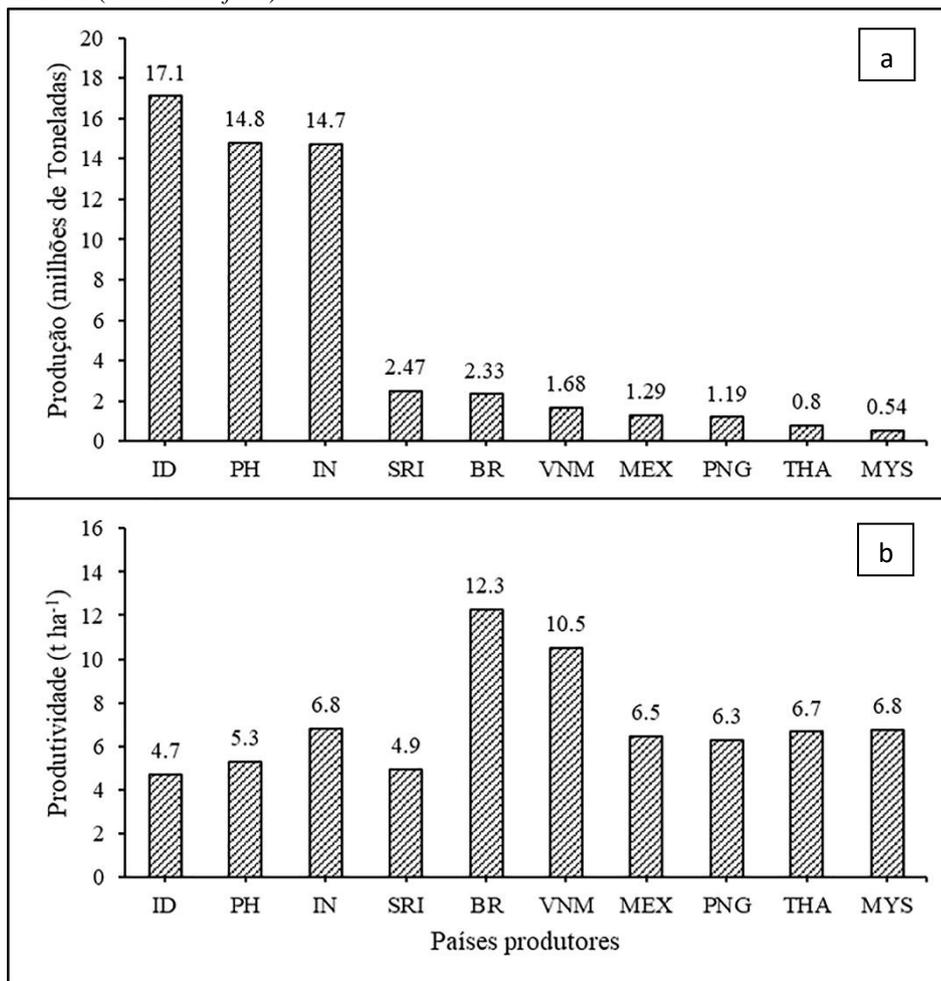
Neste contexto, a busca de soluções para o tratamento desses RS torna-se necessária para que a cadeia produtora de coco e seus derivados possa garantir uma destinação adequada aos resíduos gerados durante suas atividades. A compostagem de resíduos orgânicos surge como uma alternativa que pode viabilizar o gerenciamento racional dos resíduos agroindustriais vegetais (KIEHL, 2010; PEDROSA *et al.*, 2013; ROSA *et al.*, 2002).

1.1 REVISÃO DA LITERATURA

1.1.1 Produção de *Cocos nucifera*

O Brasil é um dos principais produtores mundiais de coco (*Cocos nucifera* L.) e movimenta mais de 1,1 bilhão de reais por ano (IBGE, 2019). Não obstante, ainda há uma diferença muito grande, em termos de quantidade produzida, em relação aos três maiores produtores que respondem por cerca de 80% de toda a produção mundial (Figura 1a). Apesar da grande diferença de produção, é importante ressaltar que o Brasil possui a maior produtividade mundial de coco, alcançando cerca de 12 toneladas por hectare anualmente (Figura 1b), quase o dobro em relação aos maiores produtores (FAO, 2020).

Figura 1. Total produzido (a) e produtividade (b) entre os 10 maiores produtores mundiais de coco (*Cocos nucifera*).



ID: Indonésia; PH: Filipinas; IN: Índia; SRI: Sri-Lanka; BR: Brasil; VNM: Vietnã; MEX: México; PNG: Papua-Nova Guiné; THA: Tailândia; MYS: Malásia

Fonte: Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019).

O consumo de derivados de coco no Brasil vem crescendo nos últimos anos. Os principais produtos obtidos são os frutos *in natura* ou secos, coco ralado, leite de coco e água de coco (FIEC, 2018). O mercado internacional da água de coco embalada vem crescendo a uma Taxa de Crescimento Anual Composta (CAGR) de 26,7% impulsionado pelos benefícios à saúde promovidos pelo seu consumo. As previsões são de crescimento a uma CAGR de 26,2% no período de 2018 a 2022, mantendo a força de crescimento atual com uma demanda crescente por produtos mais nutritivos, saudáveis, seguros e com uma produção sustentável (MARIA DE OLIVEIRA *et al.*, 2019).

A cadeia produtiva brasileira se distingue dos demais produtores por destinar boa parte da produção de coco verde à produção de água de coco, enquanto a produção internacional é focada, principalmente, na extração de óleo de coco (MARTINS; JESUS JUNIOR, 2013). De acordo com a FAO (2019) o Brasil não figura nem entre os 10 maiores produtores mundiais de óleo de coco. Essa particularidade garante o Brasil entre os maiores produtores e exportadores de água de coco do mundo e com grande potencial de crescimento deste mercado em função do aumento da demanda por produtos naturais (MARIA DE OLIVEIRA *et al.*, 2019).

A água de coco possui propriedades benéficas ao metabolismo humano como a hidratação ou na reposição de eletrólitos após exercícios físicos (ARAGÃO *et al.*, 2001). Estudos buscam verificar seus efeitos positivos no tratamento de doenças como a hiperglicemia (diabetes) (PREETHA; DEVI; RAJAMOHAN, 2013). O apelo sobre os benefícios à saúde e o fato de ser um produto natural sustentam a tendência de crescimento do setor nos próximos anos (FERREIRA *et al.*, 2011).

Diante desse contexto, a cadeia produtiva tem buscado implementar técnicas que viabilizem uma produtividade elevada como a utilização de variedades mais produtivas e de manejo mais fácil como é o caso do Coqueiro-Anão Verde, muito utilizado para produção de coco verde para extração da água de coco. Essa variedade possui menor estatura, precocidade na produção (de 2 a 3 anos), produtividade elevada (mais de 100 frutos por ano) e maior facilidade de manejo tanto de doenças e pragas quanto de colheita (ARAGÃO, 2002; FERREIRA *et al.*, 2011).

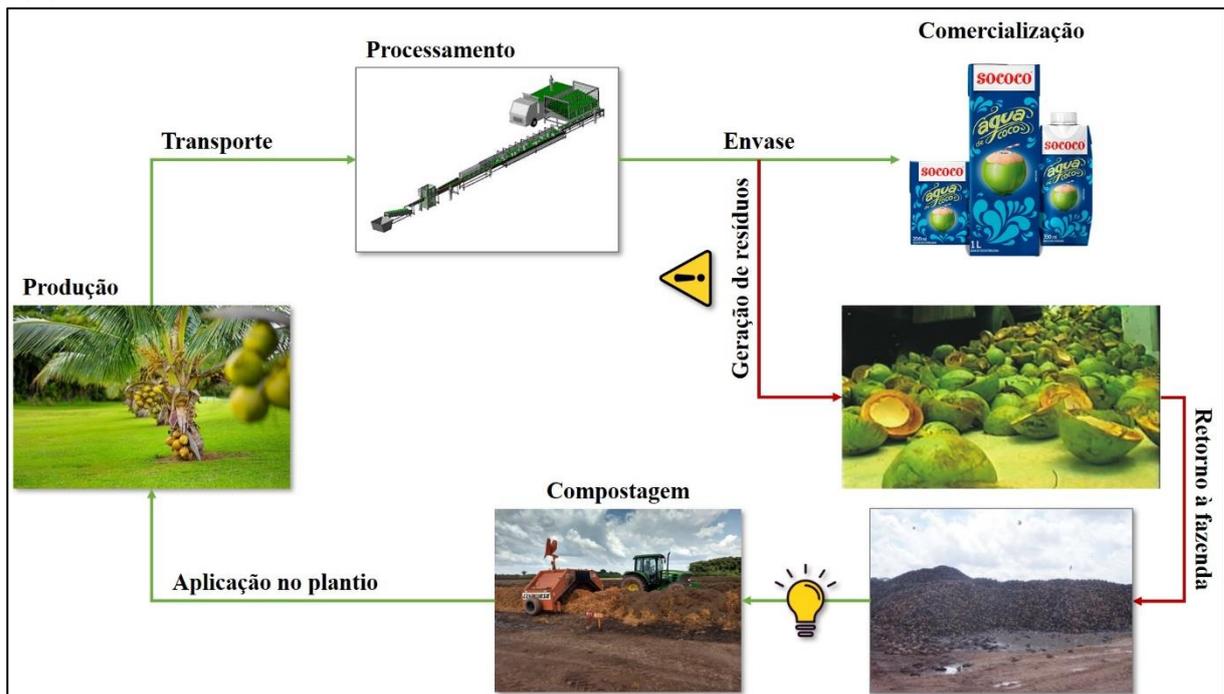
1.1.2 Resíduos sólidos

O Brasil é grande destaque na produção agrícola mundial e, internamente, o setor agropecuário é altamente relevante para o balanço econômico anual, com uma participação de 26,6% no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro em 2020, uma alta recorde de 24,31%, totalizando uma movimentação de quase R\$ 2 trilhões frente ao ano de 2019. Além disso, todos

os segmentos do agronegócio apresentaram alta no ano de 2020, inclusive o setor agroindustrial, apesar de ter sido um dos mais afetados pela pandemia do novo Coronavírus, com um crescimento de 8,72% (CNA, 2021).

Apesar dos evidentes benefícios gerados pela atividade agropecuária e agroindustrial como a geração de empregos, desenvolvimento econômico, oferta de alimentos e geração de riqueza, especialmente nas últimas duas décadas, é necessário dar atenção aos impactos gerados, especialmente, sobre o meio ambiente (KUMARI *et al.*, 2021). Um dos problemas é a baixa preocupação com o tratamento e destino dos resíduos gerados por essas atividades que podem ser altamente danosos ao meio ambiente caso não haja uma gestão adequada (SCHNEIDER *et al.*, 2012). A Figura 2 apresenta um fluxograma exemplificando o processo de produção de coco-verde, extração da água-de-coco e a consequente geração de resíduos.

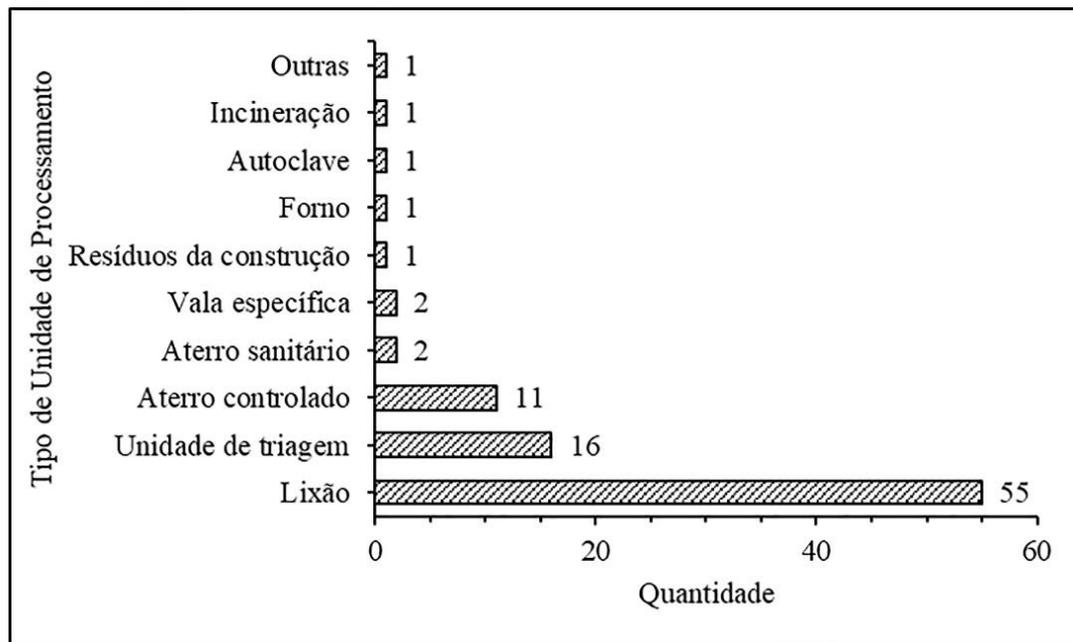
Figura 2. Fluxograma representando o processo de produção e de geração de resíduos na indústria da água-de-coco.



Fonte: O autor (2021)

No Pará, dentre os 144 municípios, apenas 65 informaram, ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), as unidades de processamento de RS existentes em seus limites (Figura 3). São 91 unidades, distribuídas nestes 65 municípios, das quais 55 (60,44%) são lixões a céu aberto e apenas 13 (14,3%) são aterros sanitários ou controlados (BRASIL, 2019). A Figura 2 demonstra de forma simplificada a logística desde a produção dos frutos até a destinação dos resíduos gerados durante a extração industrial de água de coco.

Figura 3. Tipos de unidades de processamento de resíduos sólidos no estado do Pará.



Fonte: Brasil (2019)

No ano de 2010 foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 e, nela, é qualificado como resíduo sólido todo material, substância ou bem gerado por atividades humanas em sociedade, que tenha sua destinação final seja feita em estado sólido, semissólido, gasoso em recipientes ou líquido, com propriedades e particularidades que tornem inviável o lançamento destes diretamente na rede pública de esgotos e corpos d'água ou que, para que seu descarte possa ser realizado com segurança, seja necessário tratamento inviável diante da melhor tecnologia disponível. Os problemas ambientais gerados por tais resíduos decorrem, principalmente, de sua baixa degradabilidade, influenciadas pelas características do resíduo, ou da produção de subprodutos potencialmente tóxicos e cumulativos (BRASIL, 2010).

As cascas de coco são fibrosas, com elevada C/N, baixo teor de nutrientes e ricas em celulose e lignina, que são compostos de difícil decomposição no meio ambiente (ROSA *et al.*, 2002). Além disso, de 80 a 85% do peso bruto de um coco imaturo é constituído de cascas como é o caso dos resíduos sólidos gerados pela agroindústria da água-de-coco (cascas de coco-verde), cujo material possui baixa degradabilidade em condições naturais (CABRAL *et al.*, 2017). Somado a isso, seu elevado volume reduz a vida útil de unidades de destinação como lixões e aterros sanitários, principalmente nos grandes centros urbanos (KIEHL, 2010; SCHNEIDER *et al.*, 2012).

Assim sendo, torna-se necessária a busca por modelos de produção que levem em consideração a quantidade de resíduos gerados em sua logística. Diversos estudos avaliam a possibilidade de uso da fibra da casca de coco como substrato agrícola e na produção de compósitos para construção civil (BEIGL; LEBERSORGER; SALHOFER, 2008; CAPELIN *et al.*, 2020). No entanto, muitos destes tipos de usos requerem processos de pré-tratamento da casca de coco como secagem, trituração e lavagem, elevando os custos para sua aplicação, fazendo-se necessária a busca por alternativas técnicas menos onerosas e eficientes para intervenção sobre esse resíduo (ROSA *et al.*, 2002; CIMÓ *et al.*, 2017).

1.1.3 Compostagem

A compostagem é um processo natural no meio ambiente que promove a transformação dos resíduos orgânicos vegetais e animais e ocorre sobre todo e qualquer material depositado sobre o solo ou incorporado a ele (DORES-SILVA; LANDGRAF; REZENDE, 2013). Essa técnica foi primeiramente observada e descrita no século XIX pelo Fitopatologista Sir Albert Howard, na Índia, quando, ao ser mandado para resolver um problema local com certa “doença”, verificou que nas propriedades onde os resíduos orgânicos decompostos eram aplicados ao solo não havia sintomas da patologia. Mais tarde, descobriu-se que a causa era, na verdade, uma deficiência de micronutrientes no solo que foi compensada pelos nutrientes presentes nos resíduos decompostos. O método foi aprimorado e, hoje, é conhecido como método *Indore* ou método *Howard* (KIEHL, 2010).

A decomposição no ambiente ocorre lentamente dependendo de fatores como temperatura, umidade, tipo de material e microbiota que atua sobre a matéria orgânica (MO) (COOPER *et al.*, 2010). Assim, uma série de técnicas passou a ser desenvolvida e empregada para otimizar a atividade dos agentes biológicos decompositores e transformadores da MO, como os fungos, bactérias e insetos (DORES-SILVA *et al.*, 2013).

Dentre os métodos mais difundidos no Brasil para a gestão de RSO (incineração, aterro sanitário) a compostagem compreende o modelo mais ecológico e sustentável (KIEHL, 2010; DORES-SILVA *et al.*, 2013). Ao controlar as condições sob as quais esses organismos atuam sobre o resíduo, é possível transformar materiais grosseiros em um composto estável no menor tempo possível, que pode favorecer o desenvolvimento de plantas e melhorar as propriedades do solo, no menor tempo possível (VALENTE *et al.*, 2008). Fatores como o tamanho das partículas, aeração, temperatura, umidade, relação C/N, comunidade microbiana e quantidade de nutrientes presente no resíduo são determinantes para a velocidade de decomposição do material (INÁCIO; MILLER, 2009).

A C/N de determinado material é um índice que demonstra estado de maturação da matéria orgânica (KIEHL, 2010). Os microrganismos utilizam o carbono disponível na MO para síntese de energia pelo processo de respiração celular e o nitrogênio para síntese de seu protoplasma, absorvendo-os em proporção fixa. Quando a relação é muito alta, o excesso de carbono é eliminado na forma de CO₂ pelos microrganismos e o nitrogênio é incorporado às suas células e, caso a relação seja baixa demais, o nitrogênio é convertido em amônia (NH₃), que é tóxico para atividade microbiana e para as raízes das plantas. Assim, a C/N ideal para que um composto orgânico seja incorporado ao solo é ente 25 e 35 (DORES-SILVA *et al.*, 2013).

Quando a C/N do composto está entre 60 e 33, ocorre o processo de imobilização do nitrogênio, que é a transformação do nitrogênio solúvel/disponível para a forma orgânica que é insolúvel e, portanto, indisponível para as plantas, o que pode causar deficiência de nitrogênio nas culturas (KIEHL, 2010). Entre 33 e 17 esse processo não ocorre, porém, também não ocorrerá a disponibilização do nitrogênio presente na MO para a solução do solo, efeito que acontece a partir da C/N inferior a 17. Por isso, a C/N é um dos mais importantes indicadores de qualidade e aplicabilidade dos compostos orgânicos ao solo (THOMPSON; TROEH, 1957; ALCÂNTARA *et al.*, 2007).

A compostagem evoluiu muito, especialmente nas últimas duas décadas, tornando-se uma opção sofisticada de tecnologia voltada para a manutenção da saúde ambiental e pública. Inicialmente, por volta dos anos 70 e 80, a pesquisa em compostagem, principalmente nos Estados Unidos, estava centrada na eliminação de patógenos (EPSTEIN, 2011). Não obstante, hoje, a busca é por respostas em relação a emissões de gases e seu controle. Tais esforços permitiram a expansão e difusão do método de compostagem e cada vez mais empresas surgiram no cenário utilizando tecnologias e técnicas cada vez mais aprimoradas (COSTA *et al.*, 2005)

Em estudo sobre a compostagem de resíduos da cana-de-açúcar através de tratamento com microrganismos eficientes (ME) e posterior Vermicompostagem, Kumar *et al.* (2010), verificaram o potencial de um sistema integrado de manejo desse resíduo, sendo um modelo indicado para o tratamento de materiais lignocelulósicos com possibilidade de redução no tempo de decomposição de 20 a 40 dias, permitindo a geração de um produto com valor agregado em um curto período. Ribeiro *et al.* (2017) verificaram que a adição de inoculantes com microrganismos benéficos ao processo de biodegradação provocou mudanças positivas sobre a temperatura do composto e na degradação de celulose e hemicelulose na fase termofílica do processo de compostagem.

Ao avaliar os efeitos da utilização de composto produzido a partir dos resíduos da indústria de papel e celulose na produção de mudas de eucalipto, Toledo *et al.* (2015) verificaram boa resposta de crescimento e qualidade das plantas. Zang e Sun (2016), estudando a influência da adição de diferentes tipos de materiais no processo de compostagem, observaram que é possível utilizar resíduos lignocelulósicos como lascas de madeira juntamente com resíduos verdes no processo com a obtenção de um composto de qualidade em apenas 22 dias em sistema de compostagem de dois estágios. Estudos apontam, ainda, para a possibilidade de integração entre diferentes sistemas de estabilização da matéria orgânica como a compostagem e a vermicompostagem, aumentando a velocidade de estabilização e a qualidade do composto final produzido (KUMAR *et al.*, 2010).

Este modelo de compostagem de resíduos orgânicos reduz o tempo de decomposição pela indução de um segundo período termofílico ao processo de biodegradação utilizando materiais volumosos como aparas de madeira, materiais celulósicos, camas de animais ou folhas secas que ampliam os macroporos e melhoram a aeração e a umidade do material (ZANG *et al.*, 2013; ZHOU *et al.*, 2014). Portanto, a aplicação do processo de compostagem no tratamento de RS agroindustriais deve ser estudada de forma ampla a fim de que a técnica seja aprimorada e amplamente difundida como alternativa para a gestão racional desses materiais, evitando a disposição inadequada e a transformação destes em passivos danosos ao meio ambiente (COSTA *et al.*, 2016; LACERDA *et al.*, 2020).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEDIRAN, J. A.; TAIWO, L. B.; SOBULO, R. A. Effect of Organic Wastes and Method of Composting on Compost Maturity, Nutrient Composition of Compost and Yields of Two Vegetable Crops. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 22, n. 4, p. 95–109, 18 ago. 2003.
- ALCÂNTARA, M. A. K. DE *et al.* Mineralização do nitrogênio em solos tratados com lodos de curtume. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 547–555, abr. 2007.
- ALEMAYEHU, G. *et al.* Crop rotation and organic matter application restore soil health and productivity of degraded highland crop farms in northwest Ethiopia. **Cogent Food & Agriculture**, v. 6, 2020.
- ALMEIRA, N. *et al.* The importance of aeration mode and flowrate in the determination of the biological activity and stability of organic wastes by respiration indices. **Bioresource Technology**, v. 196, p. 256–262, nov. 2015.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ARAGÃO, W. M.; CRUZ, E. M.; HELVÉCIO, J. S. Caracterização morfológica do fruto e química da água de coco em cultivares de coqueiro anão. **Agrotópica**, v. 13, n. 2, p. 49-58, 2001.
- ARAGÃO, W. M. (Ed.). **Coco: pós colheita**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. 76p.
- AWASTHI, M. K. *et al.* Co-composting of gelatin industry sludge combined with organic fraction of municipal solid waste and poultry waste employing zeolite mixed with enriched nitrifying bacterial consortium. **Bioresource Technology**, v. 213, p. 181–189, 1 ago. 2016.
- AWASTHI, M. K. *et al.* Co-composting of organic fraction of municipal solid waste mixed with different bulking waste: Characterization of physicochemical parameters and microbial enzymatic dynamic. **Bioresource Technology**, v. 182, p. 200–207, 1 abr. 2015.
- BAHIA, V. E. *et al.* Caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas na área de abrangência do reservatório de abastecimento público do Utinga - Belém (PA). **Águas Subterrâneas**, v. 25, n. 1, p. 43–56, 2011.
- BARTHOD, J.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M.-F. Composting with additives to improve organic amendments. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 2, p. 17, 7 abr. 2018.
- BEIGL, P.; LEBERSORGER, S.; SALHOFER, S. Modelling municipal solid waste generation: A review. Vienna, Austria: **Waste Management**, 28 (2008) 200–214
- BELTRÃO, D.; PAUL, B.; MILLER, R. M. O Papel da compostagem de resíduos orgânicos urbanos na mitigação de emissões de metano. Documentos, 127, 2010.

- BONAMONE, M. DE B. *et al.* Logística reversa do resíduo de coco verde - uma abordagem sobre possibilidades de reaproveitamento. **Revista LOGS: Logística e Operações Globais Sustentáveis**, v. 1, n. 1, p. 198–220, 2019.
- BONFIM, F. P. G. *et al.* Caderno dos Microrganismos - Instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM. Universidade Federal de Viçosa, v. 2, p. 32, 2011.
- BORGES, R. *et al.* Germinação de sementes de tomate submetidas a diferentes concentrações de cloreto de sódio e substratos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 28, p. 571–577, 3 dez. 2018.
- BOULTER-BITZER, J. I.; TREVORS, J. T.; BOLAND, G. J. A polyphasic approach for assessing maturity and stability in compost intended for suppression of plant pathogens. **Applied Soil Ecology**, v. 34, n. 1, p. 65–81, nov. 2006.
- BRAINER, M. S. DE C. P. Produção de coco: o Nordeste é destaque nacional. Caderno Setorial ETENE, v. 61, p. 1–25, 2018. BRASIL. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. p. 246, 2019.
- BRASIL. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. p. 246, 2019.
- BRASIL. Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS); altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010.
- CABRAL, M. M. S. *et al.* Composição da fibra da casca de coco verde in natura e após pré-tratamentos químicos. **Engvista**, v. 19, n. 1, p. 99, 2017.
- CÁCERES, R.; MALÍŃSKA, K.; MARFÀ, O. Nitrification within composting: A review. **Waste Management**, v. 72, p. 119–137, fev. 2018.
- CAPELIN, L. J. *et al.* Avaliação dos efeitos da fibra de coco e da microcelulose cristalina nas propriedades de argamassas cimentícias. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 25, n. 1, 2020.
- CARNEIRO, L. J. *et al.* Nutrient loss in composting of agroindustrial residues. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 4, p. 796–807, ago. 2013.
- CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S. DE; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 533–535, dez. 2002.
- CASALI, V. W. D. Caderno dos Microrganismos Eficientes (EM): Instruções práticas sobre o uso ecológico e social dos EM. 3a edição ed. Viçosa, Minas Gerais: Departamento de Fitotecnia/Universidade Federal de Viçosa, 2020.
- CESTONARO, T. *et al.* Desempenho de diferentes substratos na decomposição de carcaça de frango de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1318–1322, dez. 2010.
- CESTONARO, T. *et al.* Full-scale composting of food waste and tree pruning: How large is the variation on the compost nutrients over time? **Science of The Total Environment**, v. 754, p. 142078, fev. 2021.

- CHEN, T.; ZHANG, S.; YUAN, Z. Adoption of solid organic waste composting products: A critical review. **Journal of Cleaner Production**, v. 272, 1 nov. 2020.
- CIMÓ, L. *et al.* Doses de Fósforo na fertirrigação de mudas em substrato a base de fibra de coco e influência na produção do repolho. **Irriga**, v. 22, n. 1, p. 34–43, 30 mar. 2017.
- CNA (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil). PIB do Agronegócio. 10 de março de 2021. Disponível em: www.cnabrazil.org.br. Acesso em: Maio de 2021
- CONAMA. Resolução CONAMA no 396, de 3 de abril de 2008: Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília, DF. 2008, p. 64–68.
- CONGHOS, M. M.; AGUIRRE, M. E.; SANTAMARÍA, R. M. Sunflower Hulls Degradation by Co-composting with Different Nitrogen Sources. **Environmental Technology**, v. 27, n. 9, p. 969–978, set. 2006.
- CONSOLIN FILHO, N. *et al.* Estudo de viabilidade da cama de aviário peletizada não compostada como adubo orgânico. **Natural Resources**, v. 10, n. 3, p. 145–161, 12 ago. 2020.
- COOPER, M. Efeito da aplicação de composto orgânico sobre o processo de encrostamento e a recuperação de solos degradados pela erosão hídrica. Piracicaba: Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
- COOPER, M.; ZANON, A. R.; REIA, M. Y.; MORATO, R. W. **Compostagem e reaproveitamento de resíduos orgânicos agroindustriais: Teórico e prático**. Piracicaba: ESALQ – Divisão de Biblioteca, Série Produtor Rural, Ed. Especial, 35 p. 2010.
- CORRADINI, E. *et al.* Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 837–846, 2009.
- COSTA, M. S. S. D. M. *et al.* Composting time reduction of agro-industrial wastes. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 6, p. 1206–1217, dez. 2016.
- COSTA, M. S. S. DE M. *et al.* Compostagem de resíduos da indústria de desfibrilação de algodão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 540–548, ago. 2005.
- COTTA, J. A. DE O. *et al.* Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 65–78, mar. 2015.
- DORES-SILVA, P. R.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. de O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: Vermicompostagem e Compostagem. **Quim. Nova**, Vol. 36, No. 5, 640-645, 2013
- DREW, M. C.; HOLD, P. S.; PICCHIONI, G. A. Inhibition by NaCl of Net CO₂ Fixation and Yield of Cucumber. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 115, n. 3, p. 472–477, maio 1990.

- ECKHARDT, D. P. *et al.* Cattle Manure Bioconversion Effect on the Availability of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium in Soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 26 jul. 2018.
- EGRINYA ENEJI, A. *et al.* Influence of Composting Conditions on Plant Nutrient Concentrations in Manure Compost. **Journal of Plant Nutrition**, v. 26, n. 8, p. 1595–1604, jul. 2003.
- ELISABET MASIN, C. *et al.* Bioconversion of agro-industrial wastes: Combined compost and vermicompost processes using *Eisenia fetida* for stabilization of poultry litter. **International journal of recycling organic waste in agriculture**, v. 9, n. 2, p. 107–118, 1 jun. 2020.
- EPSTEIN, E. Industrial composting: environmental engineering and facilities management. **CRC Press**, 2011.
- FAO. Food and Agriculture Data. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: 30 ago. 2020.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.
- FERREIRA, J. M. S.; FONTES, H. R.; PASSOS, E. E. M.; MIRANDA, F. R.; CINTRA, F. L. D.; BASTOS, E. A. **Coco ‘Anão’**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 32, n. 264, p. 49-62, set./out. 2011.
- FIEC. Especial Setorial: Bebidas. **Especial Setorial**, p. 8, 2018.
- FILHO, V. J. F. **Qualidade das águas subterrâneas rasas do aquífero Barreiras: estudo de caso em Benevides - PA**. Orientador: Dr. Paulo Pontes Araújo. 2018. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal do Pará, Belém. 2018.
- FIGUEROA, M.; SERANTONI, N.; DE ABREU AZEVEDO, M. Método simplificado de compostagem para tratamento de cama de frango. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**. Investigación, desarrollo y práctica, v. 13, n. 1, p. 20, 6 abr. 2020.
- FONSECA, C. B. Compostagem de lodo da industrialização de pescado com casca de arroz em diferentes volumes. [s.l.] Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2017.
- GIACOMINI, S. J. *et al.* Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1097–1104, set. 2003.
- GIL, A. *et al.* Multivariate analysis and biodegradability test to evaluate different organic wastes for biological treatments: Anaerobic co-digestion and co-composting. **Waste Management**, v. 78, p. 819–828, 1 ago. 2018.
- GONÇALEZ, J. C. Aproveitamento da casca do coco-verde (*Cocos nucifera* L.) para produção de polpa celulósica. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 321–330, 31 mar. 2016.

- HAN, Z. *et al.* Effects of ambient temperature and aeration frequency on emissions of ammonia and greenhouse gases from a sewage sludge aerobic composting plant. **Bioresource Technology**, v. 270, p. 457–466, dez. 2018.
- HAOUAS, A. *et al.* Evaluation of the nutrients cycle, humification process, and agronomic efficiency of organic wastes composting enriched with phosphate sludge. **Journal of Cleaner Production**, v. 302, p. 127051, jun. 2021.
- IBGE. Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes. **Produção Agrícola Municipal**, 2019.
- INÁCIO, C. de T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem: Ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 156 p. 2009
- JANG, J. Y. *et al.* Thermal stability and flammability of coconut fiber reinforced poly (lactic acid) composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 43, n. 5, p. 2434–2438, jul. 2012.
- JIANG, J. *et al.* Inoculation with nitrogen turnover bacterial agent appropriately increasing nitrogen and promoting maturity in pig manure composting. **Waste Management**, v. 39, p. 78–85, maio 2015.
- KIEHL, E. J. **Novo Fertilizantes Orgânicos**. 1ª edição ed. Piracicaba: Editora Degaspari, 2010.
- KUMAR, R. *et al.* Composting of sugar-cane waste by-products through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 17, p. 6707–6711, set. 2010.
- KUMARI, A. *et al.* Greenways for Solid Waste Management. In: **Handbook of Solid Waste Management**. Singapore: Springer Singapore, 2021. p. 1–40.
- KYAKUWAIRE *et al.* How Safe is Chicken Litter for Land Application as an Organic Fertilizer? A Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 19, p. 3521, 20 set. 2019.
- LACERDA, K. A. P. *et al.* Compostagem: alternativa de aproveitamento dos resíduos sólidos utilizando diferentes modelos de composteiras. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 40753–40763, 2020.
- LEAL, M. A. DE A. *et al.* Compostagem de misturas de capim-elefante e torta de mamona com diferentes relações C:N. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 11, p. 1195–1200, nov. 2013.
- LÓPEZ-GONZÁLEZ, J. A. *et al.* Tracking organic matter and microbiota dynamics during the stages of lignocellulosic waste composting. **Bioresource Technology**, v. 146, p. 574–584, out. 2013.

MARIA DE OLIVEIRA, D.; PRATAGIL, J.; DE ARAÚJO, P. Drivers de mercado de produtos do coco e o desenvolvimento de novas cultivares de coqueiro no Brasil. *Documentos*, p. 57, 2019.

MARTIN, M. H.; MARSCHNER, H. The Mineral Nutrition of Higher Plants. **The Journal of Ecology**, v. 76, n. 4, p. 1250, dez. 1988.

MARTINS, C. R.; JESUS JUNIOR, L. A. de. **Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comercio internacional: Panorama 2014**. Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros. 51 p. 2013.

MATOS, D. A. S.; RODRIGUES, E. C. *Análise Fatorial*. Brasília: Enap, 2019.

MELO, L. DOS S.; COSTA, T. L. S.; SANTOS, T. L. S.; NUNES, M. U. C. Avaliação de métodos alternativos de compostagem para biodegradação da casca de coco verde. V Seminário de Iniciação Científica e Pós-Graduação da Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 10, 2015.

NOOR, R. S. *et al.* Effect of compost and chemical fertilizer application on soil physical properties and productivity of sesame (*Sesamum Indicum L.*). **Biomass Conversion and Biorefinery**, 16 out. 2020.

NUNES, M. U. C.; SANTOS, J. R.; SANTOS, T. C. Tecnologia para Biodegradação da Casca de Coco Seco e de Outros Resíduos do Coqueiro. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**. Circular Técnica, 46. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 5 p.

OLIVEIRA, J. R. DE *et al.* **Projeto estudos hidrogeológicos da região metropolitana de Belém e adjacências**. Belém: [s.n.].

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, jun. 2010.

PATIL, D. *et al.* Effects of Coconut Fibers on Mechanical Properties of Concrete. **International Journal of Innovations in Engineering and Science**, v. 6, n. 3, p. 1–5, 16 maio 2021.

PEDROSA, T. D. *et al.* Monitoramento dos Parâmetros Físico-Químicos na Compostagem de Resíduos Agroindustriais. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 44–48, 2013.

PEREIRA, G. DE A. C. *et al.* Soil fertility and nutritional status of elephant grass fertilized with organic compost from small ruminant production and slaughter systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, 25 nov. 2020.

PITTA, C. S. R. *et al.* Year-round poultry litter decomposition and N, P, K and Ca release. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 36, n. 1043–1053, 2012.

PREETHA, P. P.; DEVI, V. G.; RAJAMOHAN, T. Effects of Coconut water on carbohydrate metabolism and pancreatic pathology of alloxan induced diabetic rats. **European Journal of Integrative Medicine**. p. 234-240. 2013

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing (Version 4.0.5)**. Vienna, Austria. Foundation for Statistical Computing, 2021. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do Solo e Adubação**. São Paulo: Editora Kp. 1991.

RIBEIRO, N. de Q.; SOUZA, T. P.; SOARES COSTA, L. M. A.; CASTRO, C. P. de; DIAS, E. S. Microbial additives in the composting process. **Ciência e Agrotecnologia** 41(2):159-168, Mar/Apr. 2017.

RODRIGUES, L. A. *et al.* Qualidade de mudas de *Moringa oleífera* Lam. cultivadas em substratos com fibra de coco verde e compostos orgânicos. **Revista Ceres**, v. 63, n. 4, p. 545–552, ago. 2016.

RODRIGUES, P. N. F. *et al.* Efeito do composto orgânico e compactação do solo no milho e nutrientes do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 788–793, 2011.

ROGERI, D. A. *et al.* Composition of Poultry Litter in Southern Brazil. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 40, 2016.

ROSA, M. DE F. *et al.* Utilização da Casca de Coco como Substrato Agrícola. **Embrapa Agroindústria Tropical**. Série Documentos. Fortaleza, Ceará. 24 p. 2002.

SALDARRIAGA, J. F. *et al.* Selecting Monitoring Variables in the Manual Composting of Municipal Solid Waste Based on Principal Component Analysis. **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, n. 7, p. 1811–1819, 25 jul. 2019.

SANTI, A. L. *et al.* Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1346–1357, set. 2012.

SANTOS, P. L. DOS *et al.* Caracterização e Avaliação da potencialidade dos Solos do Município de Santa Izabel do Pará. Estado do Pará. **Embrapa Amazônia Oriental**. Documentos, 100, p. 19, 2001.

SCHAUB, S. M.; LEONARD, J. J. Composting: An alternative waste management option for food processing industries. **Trends in Food Science & Technology**, v. 7, n. 8, p. 263–268, ago. 1996.

SCHNEIDER, V. E. *et al.* Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agrindústrias associadas. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**. Relatório de Pesquisa. Brasília, DF. 133 p. 2012.

SENA, L. M. *et al.* Compostagem e vermicompostagem como alternativa para tratamento e de destinação de resíduos orgânicos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 2, p. 266–272, 22 jul. 2019.

SILVA, A. C. DA. Reaproveitamento da casca de coco verde. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 5, p. 4077–4086, 18 dez. 2014.

SILVA, A. L. *et al.* Composting and vermicomposting residues of açai and babassu for sustainable agriculture in Amazon. **Cultura Agronômica: Revista de Ciências Agronômicas**, v. 29, n. 2, p. 217–231, 13 jul. 2020.

SILVA, V. B. DA *et al.* Decomposição e liberação de N, P e K de esterco bovino e de cama de frango isolados ou misturados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38:1537–15, 2014.

SINGH, A.; SHARMA, S. Composting of a crop residue through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting. **Bioresource Technology**, v. 85, n. 2, p. 107–111, nov. 2002.

SOUSA, L. B. *et al.* Evolution of nutrient availability in maturation phase of composting using proportions of different residues inoculated with *Beijerinckia indica*. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, n. 1, p. 35504, 1 mar. 2018.

THOMPSON, L. M.; TROEH, F. R. **Soils and soil fertility**. New York: McGraw-Hill, 1957.

TOLEDO, F. H. S. F. de *et al.* Composto de resíduos da fabricação de papel e celulose na produção de mudas de eucalipto. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.19, n.7, p.711–716, 2015.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. *Soils and soil fertility*. 6th. ed. [s.l.] Ames, Iowa [etc.]: Blackwell, 2005.

VALENTE, B. S. *et al.* Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, n. 224, p. 59–85, 17 set. 2008.

VALENTE, B. S. *et al.* Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, n. 224, p. 59–85, 17 set. 2008.

WANG, M. *et al.* Comparison of additives amendment for mitigation of greenhouse gases and ammonia emission during sewage sludge co-composting based on correlation analysis. **Bioresource Technology**, v. 243, p. 520–527, 1 nov. 2017.

WANG, Q. *et al.* Improving pig manure composting efficiency employing Ca-bentonite. **Ecological Engineering**, v. 87, p. 157–161, fev. 2016.

WANG, Q. *et al.* The physical structure of compost and C and N utilization during composting and mushroom growth in *Agaricus bisporus* cultivation with rice, wheat, and reed straw-based composts. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 105, n. 9, p. 3811–3823, 20 maio 2021.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2297–2305, dez. 2008.

XU, Z. *et al.* Effects of moisture and carbon/nitrogen ratio on gaseous emissions and maturity during direct composting of cornstalks used for filtration of anaerobically digested manure centrate. **Bioresource Technology**, v. 298, p. 122503, fev. 2020.

ZANG, L.; SUN, X. Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. **Waste Management**, 48 (2016) 115–126.

ZHANG, J. *et al.* Effects of different additives on the chemical composition and microbial diversity during composting of *Camellia oleifera* shell. **Bioresource Technology**, v. 330, p. 124990, jun. 2021a.

ZHANG, J.; YING, Y.; YAO, X. Effects of turning frequency on the nutrients of *Camellia oleifera* shell co-compost with goat dung and evaluation of co-compost maturity. **PLOS ONE**, v. 14, n. 9, p. e0222841, 26 set. 2019.

ZHANG, L.; SUN, X.Y.; TIAN, Y.; GONG, X.Q. Effects of brown sugar and calcium superphosphate on the secondary fermentation of green waste. **Bioresour. Technol.** 131, 68–75. 2013.

ZHANG, S. *et al.* Industrial-scale food waste composting: Effects of aeration frequencies on oxygen consumption, enzymatic activities and bacterial community succession. **Bioresource Technology**, v. 320, p. 124357, jan. 2021b.

ZHANG, T. *et al.* Effects of microorganism-mediated inoculants on humification processes and phosphorus dynamics during the aerobic composting of swine manure. **Journal of Hazardous Materials**, v. 416, p. 125738, ago. 2021c.

ZHONG, X.-Z. *et al.* Dynamic change of bacterial community during dairy manure composting process revealed by high-throughput sequencing and advanced bioinformatics tools. **Bioresource Technology**, v. 306, p. 123091, jun. 2020b.

ZHONG, X.-Z. *et al.* Insight into the microbiology of nitrogen cycle in the dairy manure composting process revealed by combining high-throughput sequencing and quantitative PCR. **Bioresource Technology**, v. 301, p. 122760, abr. 2020a.

ZHOU, H.B.; MA, C.; GAO, D.; CHEN, T.B.; ZHENG, G.D.; CHEN, J.; PAN, T.H. Application of a recyclable plastic bulking agent for sewage sludge composting. **Bioresour. Technol.** 152, 329–336. 2014.

ZHU, N. Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 1, p. 9–13, 2007.

2 COMPOSTAGEM COMO ALTERNATIVA PARA GESTÃO DE RESÍDUOS GERADOS PELA INDÚSTRIA DA ÁGUA-DE-COCO

RESUMO

O tratamento e o descarte inadequados dos resíduos da extração industrial da água-de-coco (cascas de coco verde) podem gerar problemas ambientais graves. Deste modo, a compostagem se mostra uma alternativa promissora no gerenciamento destes resíduos sólidos orgânicos. Como objetivo deste estudo, diferentes formulações de compostagem das cascas de coco foram avaliadas ao longo do tempo. O experimento foi realizado no pátio de compostagem na Fazenda Reunidas Sococo®, município de Santa Isabel do Pará, região amazônica, Brasil. O desenho experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial de cinco tratamentos (T1: cascas de coco trituradas (CCS); T2: CCS+3% cama de aviário (PL); T3: CCS+ Inoculante (IN); T4: CCS+3% PL+IN; T5: CCS+5% PL) e seis períodos de compostagem (0, 12, 24, 36, 48 e 60 dias) com quatro repetições. A composição química foi determinada no laboratório do Instituto Brasileiro de Análises. Houve redução na relação carbono/nitrogênio (C/N), carbono orgânico (TOC) matéria orgânica (TOM) e aumento nos conteúdos de N, P, Fe, Al e cinzas em todos os tratamentos. T2, T4 e T5 atingiram relação C/N adequadas mais rapidamente (36 dias) e valores mais altos de N, P, Ca e Mg. A análise de componentes principais mostrou que a redução da relação C/N está fortemente relacionada com os processos de mineralização. Os resultados dessa pesquisa demonstraram que a compostagem da fibra de coco, adicionada à PL, é efetiva na redução da relação C/N a valores adequados em um período menor, reduzindo o tempo de pátio e os custos de operação envolvidos no processo.

Palavras-chave: Cascas de coco-verde. Biodegradação. *Cocos nucifera*. Gestão de resíduos agroindustriais.

ABSTRACT

Inadequate treatment and disposal of residues from the industrial extraction of coconut water (green coconut shells) can generate severe environmental problems. Thus, composting is shown to be a promising alternative in the management of these organic solid waste. As objective of this study, different formulations of composting coconut shells were evaluated over time. The experiment was carried out in the composting courtyard at Fazenda Reunidas Socôco®, municipality of Santa Izabel do Pará, Amazon region, Brazil. The experimental design was randomized blocks in a factorial scheme of five treatments (T1: Crushed coconut shells (CCS); T2: CCS+3% Poultry Litter (PL); T3: CCS+Inoculant (IN); T4: CCS+3% PL+IN; T5: CCS+5% PL) and six composting times (0, 12, 24, 36, 48 and 60 days) with four replicates. The chemical composition was determined in the laboratory of the Brazilian Institute of Analysis. There was a reduction in the Carbon/Nitrogen ratio (C/N), organic carbon (TOC), organic matter (TOM) and an increase in the contents of N, P, Fe, Al and ash for all treatments. T2, T4 and T5 reached adequate C/N more quickly (36 days) and higher values of N, P, Ca and Mg. The Principal Component Analysis showed that C/N reduction is strongly related to mineralization processes. The results of this research demonstrate that the composting of coconut fiber, with the addition of CA, is effective in reducing the C/N to adequate values in a shorter time, reducing the compost yard time and the operating costs involved in the process.

Keywords: Green coconut shells. Biodegradation. *Cocos nucifera*. Agro-industrial waste management.

2.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos importantes produtores mundiais de coco (*Cocos nucifera*), atrás apenas de Indonésia, Filipinas, Índia e Sri Lanka. Apesar disso, a produtividade (kg ha⁻¹) e a indústria brasileiras de água-de-coco são as maiores do mundo (FAO, 2020). Os demais produtores voltam quase toda sua produção para a extração de óleo de coco, utilizando, principalmente, a variedade *Gigante* de coqueirais nativos. Enquanto isso, a produção no Brasil, cada vez mais, opta por variedades mais produtivas, como o Coqueiro Anão, aplicando novas técnicas e tecnologias que elevam o potencial produtivo da espécie em solo brasileiro (BRAINER, 2018).

No Brasil, a região Norte é a terceira maior produtora de coco, atrás das regiões Nordeste e Sudeste, contribuindo com 11,91% da produção nacional. A região Nordeste é a principal produtora de água-de-coco e as exportações do produto, somente do estado do Ceará, em 2018, somaram mais de US\$ 13,5 milhões, segundo dados da Federação da Indústrias do Estado do Ceará (FIEC, 2018). A cadeia nacional de coco movimenta cerca de R\$ 1,1 bilhão por ano. O estado do Pará é o maior produtor de coco da região Norte, respondendo por 94,63% da produção regional e 11,27% do total nacional (IBGE, 2019).

Com o crescimento populacional, e conseqüente aumento do consumo, ocorre também um aumento na produção e descarte de RS, orgânicos ou não, o que pode se tornar um problema caso não haja um manejo adequado (BEIGL; LEBERSORGER; SALHOFER, 2008; KUMARI *et al.*, 2021). De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010), os principais problemas gerados pelos RS decorrem da baixa degradabilidade dos materiais ou da produção de subprodutos potencialmente tóxicos (BRASIL, 2010).

A extração de água-de-coco é um processo que produz uma grande quantidade resíduo sólidos orgânicos (RSO), que são as cascas dos frutos (CABRAL *et al.*, 2017; KIEHL, 2010). As características de elevada relação (C/N), baixo teor de nutrientes, elevada quantidade de celulose e lignina, tornam esse material difícil de ser degradado no meio ambiente (CABRAL *et al.*, 2017; CORRADINI *et al.*, 2009; ROSA *et al.*, 2002).

Diante disso, torna-se necessária a busca por alternativas de modelos de produção e por processos que levem em consideração o tratamento dos resíduos gerados durante o processamento agroindustrial (ROSA *et al.*, 2002). Diversos estudos buscam adaptar uso das fibras das cascas de coco como substrato agrícola, na produção de compósitos para a construção civil e na indústria de celulose (CAPELIN *et al.*, 2020; CARRIJO; LIZ; MAKISHIMA, 2002;

GONÇALEZ, 2016; PATIL *et al.*, 2021; RODRIGUES *et al.*, 2016). Não obstante, muitos destes processos requerem que sejam aplicadas técnicas de pré-tratamento como secagem, trituração e lavagem que elevam os custos de aplicação, tornando necessária a busca por práticas menos onerosas e eficientes para tratamento do resíduo (CIMÓ *et al.*, 2017; JANG *et al.*, 2012). Segundo a PNRS, as empresas são responsáveis pelos custos de gestão de RS referentes ao tratamento, transporte e disposição em unidades adequadas (BRASIL, 2010).

A compostagem é uma técnica desenvolvida a partir de um processo natural que promove a transformação, por ação de microrganismos decompositores, dos resíduos orgânicos solo (DORES-SILVA; LANDGRAF; REZENDE, 2013). Esse processo dá origem a um material estabilizado e compreende o modelo de tratamento de RSO mais ecológico em relação à incineração ou deposição em aterros e lixões, podendo ser aplicada a diferentes tipos de resíduos orgânicos (KIEHL, 2010; LEAL *et al.*, 2013).

A C/N é um dos principais indicadores dos diferentes estágios da compostagem e está relacionada com o grau de degradação da matéria orgânica, além de fornecer informações sobre os processos de nitrificação e mineralização do C (CÁCERES; MALÍNSKA; MARFÀ, 2018; KIEHL, 2010). Quando a C/N do material está entre 60 e 33, pode ocorrer o processo de imobilização do nitrogênio, tornando-o indisponível para as plantas. Por outro lado, valores abaixo de 17 favorecem a disponibilização do nitrogênio para a solução do solo. No entanto, valores de C/N muito baixos podem aumentar a produção de amônia (NH₄), que é tóxica para as plantas além de ser facilmente perdida para atmosfera em função da volatilização (ALCÂNTARA *et al.*, 2007; TROEH; THOMPSON, 2005; XU *et al.*, 2020).

Nesse contexto, a compostagem surge como potencial alternativa no processo de tratamento dos resíduos da extração agroindustrial de água-de-coco (CHEN; ZHANG; YUAN, 2020) e deve ser estudada de maneira ampla a fim de que seja aprimorada e torne-se aplicável a diversos níveis de produção, evitando a disposição inadequada e os prejuízos ambientais decorrentes (BONAMONE *et al.*, 2019; COSTA *et al.*, 2016; LACERDA *et al.*, 2020; SILVA, 2014). O objetivo do presente estudo foi avaliar diferentes formulações de compostagem no processo de decomposição biológica das cascas de coco-verde trituradas e verificar a capacidade da compostagem em reduzir a C/N e aumentar o teor nutricional do composto.

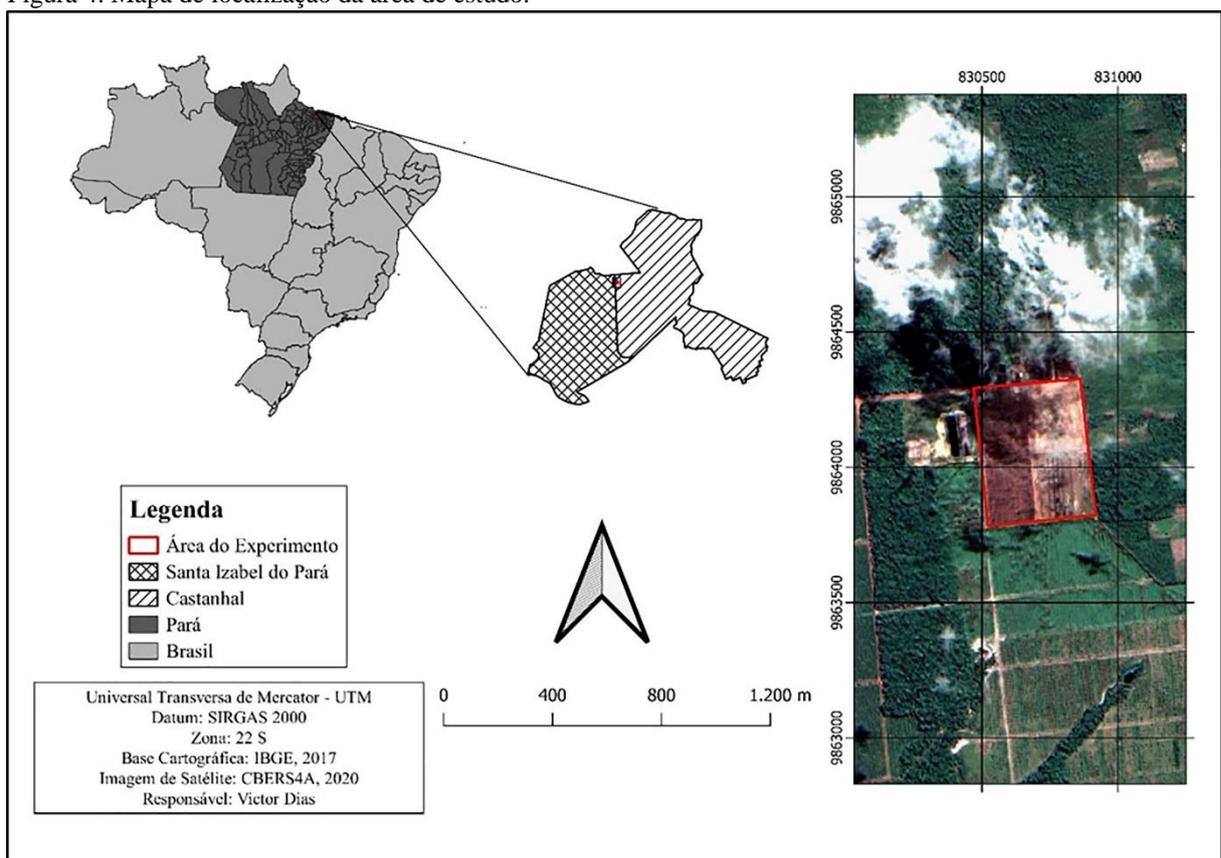
2.3 METODOLOGIA

2.3.1 Localização e condições meteorológicas

O experimento foi conduzido em condições de campo na Fazenda Reunidas Sococo[®], localizada no Município de Santa Izabel do Pará, estado do Pará, Amazônia, Brasil. O município pertence à mesorregião Metropolitana de Belém (Figura 4). A sede da fazenda está situada sob as coordenadas 1°13'42" S e 48°02'57" W, com altitude média de 65 metros em relação ao nível do mar.

O clima é definido como megatérmico úmido, tipo Am, de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013). As temperaturas máxima, mínima e média dos últimos 5 anos foram 34, 22 e 25 °C, respectivamente e a umidade relativa foi alta com uma média anual de 85% (SANTOS *et al.*, 2001).

Figura 4. Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: O autor (2021)

2.3.2 Implantação do experimento

O experimento foi conduzido entre os meses de novembro de 2019 a janeiro de 2020, durante 60 dias, no pátio de compostagem da fazenda, que conta com uma área de aproximadamente 20 hectares, onde são dispostas as pilhas (leiras), e uma usina de trituração e mistura do material a ser compostado. As cascas que retornam das unidades industriais de envase de água-de-coco são acumuladas em local específico, próximo ao pátio de compostagem, onde aguardam para serem trituradas e misturadas à CA na proporção de 3%, de forma mecanizada, na usina de trituração e mistura (Figura 5a). Para este experimento, entretanto, a aplicação da CA e do inoculante à base de microrganismos eficientes (IN) foram realizadas manualmente.

Cada leira de compostagem possui, aproximadamente, 220 metros de comprimento, 2,2 metros de largura e 1,3 metros de altura (Figura 5b), dimensões que estão de acordo com o recomendado por Kiehl (2010), sendo revolvida de forma mecanizada uma vez por semana no modelo padrão utilizado pela fazenda. Para a montagem de uma pilha de compostagem são utilizadas cerca de 200 toneladas de cascas de coco trituradas (CCT) e, aproximadamente, 6 toneladas de CA na proporção de 3%.

Figura 5. Usina de trituração e mistura (a) e pilha de compostagem de cascas de coco-verde (b)



Fonte: O autor (2021)

Neste estudo, no entanto, a leira foi revolvida duas vezes por semana, a partir do 1º até o 28º dia de experimento, visando aprimorar a aeração e melhorar as condições para desenvolvimento de microrganismos decompositores aeróbicos que são benéficos ao processo de compostagem (ALMEIRA *et al.*, 2015; VALENTE *et al.*, 2008; ZHANG; YING; YAO, 2019). Um ajuste adequado da taxa de revolvimentos durante o processo também é importante para a redução das emissões de NH₃ e gases do efeito estufa (HAN *et al.*, 2018) e na aceleração da maturidade do composto (ZHANG *et al.*, 2021b). O revolvimento é realizado de forma

mecanizada utilizando-se um implemento revolvedor da marca Cirvemasa, modelo C.R.O. 4.0, acoplado à tomada de potência de um trator (Figura 6).

Figura 6. Processo de revolvimento da leira de compostagem.



Fonte: O autor (2021)

Para a aplicação dos tratamentos, foi montada uma leira com dimensões iguais às utilizadas pela fazenda, apenas com CCT que foi dividida em 4 blocos com 5 parcelas dispostas aleatoriamente em cada bloco, totalizando 20 parcelas de 11,5 metros de comprimento, onde foram aplicados os tratamentos. As cascas foram trituradas normalmente e, na sequência, foram aplicados a CA (Figura 7a) e o inoculante (Figura 7b) em cada uma das parcelas de forma independente. As formulações utilizadas em cada tratamento estão descritas no Quadro 1.

Quadro 1. Formulações utilizadas para a compostagem das cascas de coco-verde.

Tratamento	Formulação
T1	Cascas de Coco Trituradas
T2	Cascas de Coco Trituradas + Cama de Aviário a 3%
T3	Cascas de Coco Trituradas + Inoculante
T4	Cascas de Coco Trituradas + Cama de Aviário a 3% + Inoculante
T5	Cascas de Coco Trituradas + Cama de Aviário a 5%

Fonte: O autor (2021)

A aplicação do inoculante líquido foi realizada com uma bomba costal por um operador da fazenda que, caminhando sobre a leira, fez a inoculação no topo e laterais. A diluição utilizada foi de 200 ml de inoculante para 20 litros de água aplicados nas parcelas designadas aos tratamentos com inoculação de ME (T3 e T4). Foi realizada também a aferição da

temperatura das leiras com termômetro de haste, na profundidade de 50 centímetros, para verificação dos estágios da compostagem em cada um dos tratamentos.

Figura 7. Aplicação do inoculante à base de microrganismos eficientes (a) e aplicação manual da cama-de-aviário (b).



Fonte: O autor (2021)

2.3.3 Amostragem e análises químicas

Foram realizadas seis amostragens do composto ao longo do período de compostagem, aos 0, 12, 24, 36, 48 e 60 dias após a instalação do experimento. A coleta foi realizada de forma manual, com auxílio de luvas em pontos aleatórios no alto e em ambas as faces laterais da pilha de compostagem a uma profundidade de, aproximadamente 30 centímetros, sempre antes do composto ser revolvido. As amostras foram colocadas em sacos plásticos e transportadas para a Universidade Federal Rural da Amazônia, foi realizada uma pré-secagem em casa de vegetação do Departamento de Solos. Na sequência, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada a uma temperatura de 65 °C até que alcançassem massa constante. As amostras foram trituradas em moinho elétrico e embaladas para posterior análise. Secas e trituradas, as amostras foram enviadas ao laboratório do Instituto Brasileiro de Análises (IBRA[®]), onde foram realizadas as análises da composição química do composto.

Foram determinados os teores totais de Nitrogênio (Titulometria), Fósforo (Gravimetria), Potássio (Digestão com $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$), Cálcio (Digestão com $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$), Magnésio (Digestão com $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$), Ferro (Digestão com $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$), Alumínio (Digestão com $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$) e Sódio (Digestão com $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$). Também foram determinados os conteúdos de Matéria orgânica e Cinzas (Gravimetria), Carbono orgânico (Titulometria) e Relação Carbono/Nitrogênio.

2.3.4 Produção do inoculante

O preparo do inoculante foi realizado no departamento de solos da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) seguindo a metodologia de produção de ME (BONFIM *et al.*, 2011), processo acessível e de baixo custo que pode ser facilmente realizado na propriedade rural. Para o preparo são necessárias aproximadamente 700 g de arroz, preferencialmente integral, cozido sem sal.

O arroz foi espalhado em uma badeira envolta em uma tela fina de nylon para evitar o contato direto com o solo e o ataque de insetos e pequenos animais. Em uma área de mata, preferencialmente nativa e pouco antropizada, afastou-se a serapilheira e abriu-se uma trincheira pequena foi colocada a bandeja (Figura 8). Cobriu-se a bandeja com a serapilheira da área, mantendo enterrada dessa forma por 15 dias.

Após este período, a seleção dos ME foi realizada de acordo com as cores apresentadas pelas colônias de microrganismos, sendo as cores azul, rosa, amarelo e alaranjado consideradas indicativas de ME, sendo, assim, coletadas e separadas. O arroz que apresentou coloração cinza, marrom ou preta foi descartado pois essas cores estão relacionadas a microrganismos não interessantes ao processo de compostagem.

Figura 8. Coleta de microrganismos eficientes em área de mata nativa.



Fonte: O autor (2021)

O arroz colorido foi distribuído em garrafas de poli tereftalato de etila (PET) e, em seguida, foi adicionado açúcar mascavo e água sem cloro. O açúcar é uma fonte de carboidratos (glicose, principalmente) que é utilizado pelos organismos para produção de energia para suas funções metabólicas. As garrafas foram fechadas e mantidas sem a incidência de luz e em temperatura ambiente. O gás produzido pela atividade biológica foi retirado a cada 2 dias até que o conteúdo não apresentasse produção de gases (entre 10 e 20 dias). Neste ponto, os microrganismos estavam prontos para uso (BONFIM *et al.*, 2011; CASALI, 2020).

2.3.5 Desenho experimental

O delineamento experimental utilizado para este ensaio foi em blocos casualizados em esquema fatorial de 5x6 com 5 tratamentos (T1: Cascas de Coco Triruradas (CCT); T2 CCT + 3 % Cama de Aviário (CA); T3: CCT + Inoculante (IN); T4: CCT + 3% CA + IN; T5: CCT + 5% CA) (Quadro 1) e 6 períodos (0, 12, 24, 36, 48 e 60 dias) de compostagem com quatro 4 blocos distribuídos aleatoriamente ao longo da pilha de compostagem.

2.3.6 Análise estatística

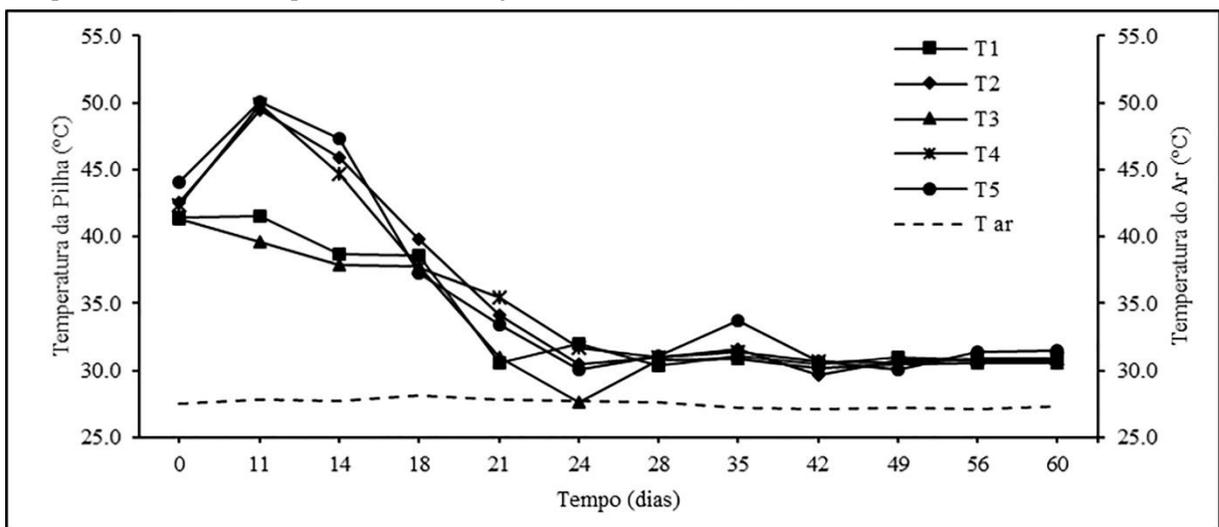
Os dados obtidos a partir das análises químicas do composto foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0.05$) utilizando o *Software* de análises estatísticas SISVAR v. 5.7 (FERREIRA, 2011). Segundo os resultados da análise de normalidade, alguns dados apresentaram tendência não normal e, portanto, para realização da ANOVA, as variáveis teor de Fe, teor de Al, MO e teor de Cinzas foram transformadas através do método da raiz quadrada dos dados. Realizou-se, também, análise correlação de *Pearson* ($p < 0.05$), agrupamento (*Clustering*) e Componentes Principais (ACP) no *Software* estatístico R (R CORE TEAM, 2021).

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1 Composição química do composto

A temperatura é um dos mais importantes parâmetros utilizados para monitorar o processo de compostagem pois indica e afeta diretamente a taxa de reações bioquímicas relacionadas à decomposição da matéria orgânica (KIEHL, 2010; ZHANG; YING; YAO, 2019). Houve aumento na temperatura das pilhas de compostagem nos tratamentos T2, T4 e T5 (Figura 9), que receberam CA em suas formulações, entre o 1º e o 11º dias de experimento, diferentemente dos tratamentos T1 e T3, que não receberam CA, o que pode ter contribuído para as menores temperaturas iniciais nestes últimos por conta dos menores teores de nutrientes (BARTHOD; RUMPEL; DIGNAC, 2018).

Figura 9. Evolução da temperatura da pilha durante o processo de compostagem das cascas de coco-verde (temperaturas aferidas sempre antes da realização dos revolvimentos)



T1: CCT; T2: CCT + 3% CA; T3: CCT + IN; T4: CCT + 3% CA + IN; T5: CCT + 5% CA

Fonte: O autor (2021)

Esse aumento inicial ocorre devido a atividade microbiana que, favorecida pela maior disponibilidade de nutrientes nestes tratamentos, provoca reações que liberam energia na forma de calor (KYAKUWAIRE *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2014; WANG *et al.*, 2016; ZHU, 2007). A partir do 14º dia a temperatura começou a diminuir até se estabilizar próximo ao 24º dia. Este efeito é relatado por Noor *et al.* (2020), que verificou temperaturas entre 40 e 50 °C nos primeiros 11 dias de compostagem de resíduos vegetais e esterco animal, e, também, por Awasthi *et al.* (2016), avaliando a co-compostagem de efluentes da indústria de gelatina. A redução da temperatura após os onze primeiros dias pode ser atribuída à redução na disponibilidade de matéria orgânica degradável disponível no material a partir do 14º dia

(WANG *et al.*, 2017). Zhong *et al.* (2020), estudando dinâmica das comunidades microbianas durante as fases de compostagem, observaram temperaturas mais altas até o 12º dia.

A tabela 1 apresenta os resultados da análise química do composto da casca de coco-verde aos 0, 12, 24, 36, 48 e 60 dias, a partir do início do experimento, seguidos do desvio padrão da média para cada tratamento e dos resultados do teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade. Os resultados obtidos mostraram que houve diferença significativa, entre os diferentes períodos avaliados para a maioria das variáveis analisadas.

Os teores de nitrogênio (N) total aumentaram ao longo do processo de compostagem em todos os tratamentos (Tabela 1), possivelmente em função da atividade de microrganismos decompositores e bactérias nitrificantes que consomem o C da MO, liberando energia na forma de calor e CO₂ para a atmosfera, enquanto reciclam o N em condições de alta C/N. De fato, nestas condições, o N solúvel nas formas nítrica e amoniacal tende a ser mais imobilizado pela matéria orgânica ou incorporado à estrutura dos microrganismos (CÁCERES; MALÍNSKA; MARFÀ, 2018; KIEHL, 2010; ZHANG *et al.*, 2021a; ZHONG *et al.*, 2020b). Estes resultados se assemelham aos observados por Wang *et al.* (2017), Kumar *et al.* (2010) e ZHU (2007) que verificaram aumento nos teores totais de N durante a compostagem de dejetos suínos com palha de arroz, resíduos da produção de cana-de-açúcar e na co-compostagem de lodo de esgoto. Por outro lado, Orrico Júnior *et al.* (2010), observaram que houve redução nos teores de N na compostagem de resíduos de aviários, possivelmente pela menor C/N e elevada temperatura no início da compostagem, que favorecem as perdas de N na forma amoniacal (ZHONG *et al.*, 2020a, 2020b). Xu *et al.* (2020) também verificaram que a compostagem de materiais com a C/N mais elevada promoveu maior emissão de amônia (NH₄) e óxido nitroso (N₂O) durante o processo.

Tabela 1. Teor total, desvio padrão e teste de *Tukey* ($p < 0.05$) de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), alumínio (Al) e sódio (Na) na compostagem de cascas de coco-verde com diferentes formulações aos 0, 12, 24, 36, 48 e 60 dias.

Tempo (dias)	Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Al	Na
g kg ⁻¹									
0	T1	5.1±1.4 aB	4.8±1.3 aB	16.9±2.7 aA	1.7±0.1 bB	1.6±0.1 aA	3.8±3.8 aC	0.7±0.8 aC	1.2±0.0 aA
	T2	6.5±1.6 aB	7.6±4.9 aB	13.7±1.2 aAB	3.1±1.2 abA	1.7±0.2 aA	14.6±13.1 aB	1.8±1.3 aBC	1.2±0.1 aAB
	T3	5.1±1.0 aBC	4.0±2.3 aB	14.3±2.3 aAB	1.8±0.4 bB	1.6±0.1 aA	8.2±5.0 aA	1.4±1.3 aAB	1.2±0.1 aA
	T4	7.4±0.5 aBC	6.6±1.6 aB	12.4±0.5 aAB	3.5±0.6 abA	1.8±0.1 aB	14.3±6.1 aA	3.0±2.4 aAB	1.1±0.1 aBC
	T5	7.9±1.6 aB	7.7±4.4 aB	13.0±0.9 aAB	4.8±1.0 aA	2.1±0.3 aA	7.8±3.6 aB	1.3±0.6 aB	1.3±0.1 aABC
12	T1	5.1±0.8 abB	4.8±4.0 aB	14.7±0.8 abAB	1.7±0.4 bB	1.6±0.1 bA	12.7±9.9 aBC	3.0±2.2 aBC	1.2±0.2 aA
	T2	6.0±1.2 abB	14.4±4.3 aAB	12.4±2.2 bAB	3.5±0.8 abA	1.9±0.3 abA	22.6±18.7 aAB	6.5±6.2 aAB	1.4±0.3 aA
	T3	4.3±0.7 bC	7.4±2.3 aB	18.4±8.5 aA	1.7±0.5 bB	2.1±1.3 abA	11.2±6.8 aA	3.7±4.5 aAB	1.1±0.1 aA
	T4	6.4±1.1 abC	7.4±4.4 aB	15.9±2.4 abAB	3.6±1.0 abA	1.7±0.6 bB	11.8±6.3 aA	3.5±2.9 aAB	1.7±0.4 aA
	T5	7.9±0.9 aB	13.1±6.2 aAB	15.2±1.3 abA	5.6±0.6 aA	2.6±0.2 aA	9.4±4.6 aB	2.5±1.0 aAB	1.7±0.1 aA
24	T1	6.5±0.8 abB	11.8±5.8 aAB	13.6±2.2 aABC	2.7±0.8 bAB	1.8±0.2 bA	15.1±8.2 aBC	2.3±0.7 aB	1.2±0.2 abA
	T2	7.0±1.3 abB	15.2±7.3 aAB	16.1±3.1 aA	4.0±1.5 abA	2.4±0.5 abA	11.4±6.2 aB	1.7±1.4 aC	1.5±0.3 abA
	T3	6.5±1.7 bBC	13.6±7.5 aAB	14.9±2.0 aAB	2.4±0.7 bA	1.9±0.2 bA	6.1±3.0 aA	1.1±1.2 aB	0.9±0.6 bA
	T4	8.0±1.5 abBC	10.4±5.7 aB	16.6±0.5 aA	4.2±0.7 abA	2.4±0.2 abAB	8.9±3.2 aA	1.2±0.7 aB	1.5±0.2 aAB
	T5	9.5±2.5 aB	7.0±1.5 aB	16.1±2.3 aA	5.4±1.2 aA	2.7±0.4 aA	8.5±4.7 aB	1.1±0.9 aB	1.6±0.3 aAB
36	T1	7.7±1.5 abAB	20.5±10.2 aA	10.6±2.5 aBC	3.0±1.3 bcAB	1.9±0.5 cA	21.3±10.8 aAB	2.4±1.4 aC	1.0±0.2 aA
	T2	8.4±1.3 abAB	19.6±7.2 aAB	12.8±2.8 aAB	4.9±1.5 abA	2.6±0.7 abcA	30.0±19.0 aAB	3.4±1.6 aABC	1.2±0.2 aAB
	T3	7.1±0.8 bAB	25.8±13.5 aA	13.9±3.1 aAB	2.5±0.7 bC	2.0±0.2 bcA	17.3±7.7 aA	1.6±1.2 aAB	1.1±0.1 aA
	T4	10.3±1.4 aAB	29.8±12.8 aA	14.5±2.6 aAB	5.4±1.2 aA	2.9±0.4 aA	19.0±5.0 aA	2.0±1.0 aAB	1.4±0.3 aABC
	T5	10.5±2.2 aAB	24.0±12.6 aA	14.0±4.0 aAB	4.4±0.8 abA	2.8±0.8 abA	17.7±3.6 aAB	1.7±0.7 aAB	1.0±0.7 aCD
48	T1	7.3±0.8 aB	17.0±5.9 bAB	10.9±0.6 bBC	2.9±0.9 bB	1.9±0.4 aA	28.6±19.0 aAB	7.0±2.6 aAB	1.0±0.2 aA
	T2	7.7±2.1 aB	28.1±15.3 abA	12.0±2.1 abAB	4.3±1.6 abA	2.1±0.5 aA	21.7±10.3 aAB	4.7±1.6 aABC	1.1±0.3 aAB
	T3	7.8±1.0 aAB	16.7±8.5 bAB	13.1±1.9 abAB	3.0±1.3 bAB	2.1±0.2 aA	21.9±11.7 aA	5.3±4.0 aA	1.0±0.1 aA
	T4	9.7±1.5 aAB	34.5±14.6 aA	16.7±2.2 aA	5.3±1.8 aA	2.6±0.5 aAB	19.3±3.3 aA	3.7±0.6 aAB	1.2±0.1 aABC
	T5	8.7±1.4 aAB	24.9±8.7 abB	15.1±4.7 abA	4.9±1.3 abA	2.5±0.4 aA	19.6±10.6 aAB	3.6±2.1 aAB	1.2±0.2 aABC
60	T1	10.6±1.8 aA	24.5±1.0 aA	9.1±2.1 aC	4.2±1.7 aA	2.2±0.4 aA	40.1±19.0 aA	8.6±3.8 aA	0.7±0.2 aA
	T2	11.7±2.8 aA	23.6±13.3 aA	10.1±1.5 aB	5.0±2.0 aA	2.4±0.6 aA	42.3±20.3 aA	6.5±2.9 aA	0.8±0.1 aB
	T3	9.7±1.9 aA	13.2±7.5 aAB	11.5±3.2 aB	3.1±1.5 aA	2.0±0.4 aA	23.7±11.0 aA	4.8±3.3 aA	0.7±0.2 aA
	T4	12.7±2.3 aA	28.7±9.3 aA	10.5±1.1 aB	4.8±1.4 aA	2.4±0.3 aAB	26.2±6.0 aA	5.6±0.9 aA	0.9±0.1 aC
	T5	11.8±2.9 aA	23.3±9.3 aA	9.0±0.9 aB	4.8±1.9 aA	2.3±0.8 aA	29.0±9.5 aA	5.6±2.0 aA	0.7±0.2 aD
CV (%)		18.70	48.48	19.48	29.97	21.17	16.66	15.08	22.02

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na mesma coluna e no mesmo período, e letra maiúscula, na mesma coluna e em diferentes períodos, não diferem entre si pelo teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0.05$). T1: CCT; T2: CCT + 3% CA; T3: CCT + IN; T4: CCT + 3% CA + IN; T5: CCT + 5% CA

Fonte: O autor (2021)

Os teores de fósforo (P) também sofreram incrementos em todos os tratamentos, com o tratamento T3 apresentando os menores teores e T4, os maiores teores, ao final do experimento (Tabela 1). No entanto, entre o 36° e o 60° dia, os teores não variaram estatisticamente, o que demonstra que, em relação aos teores de fósforo, a compostagem é eficiente para elevar a concentração em um período menor ao praticado na fazenda. Tais efeitos são, possivelmente, decorrentes da intensa atividade e sucessão microbiológica atuando na ciclagem deste elemento durante a compostagem (ECKHARDT *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2021c). Cotta *et al.* (2015) também verificaram aumento nos teores de fósforo (de 0.63 para 1.03%) ao fim do processo de compostagem de resíduos vegetais e esterco de gado. A adição de doses crescentes de composto à base de dejetos de pequenos ruminantes promoveu acréscimo no conteúdo de fósforo no solo, de acordo com estudo de Pereira *et al.* (2020). Kumar *et al.* (2010) observaram aumentos nos teores de P na compostagem de resíduos de cana-de-açúcar. Carneiro *et al.* (2013), por outro lado, observaram perdas de P durante a compostagem de resíduos agroindustriais.

No entanto, os teores de P encontrados para este estudo, à exceção do tratamento T3, foram superiores aos encontrados em outros trabalhos, nos quais o conteúdo de P variavam entre 0.5 e 1.2%. (ADEDIRAN; TAIWO; SOBULO, 2003; AWASTHI *et al.*, 2016; HAOUAS *et al.*, 2021; SALDARRIAGA *et al.*, 2019). Estes valores elevados podem estar relacionados à adsorção de P pela MO e pelos resíduos minerais, visto que também houve forte incremento no teor de cinzas. Cestonaro *et al.* (2021) atribui o aumento do conteúdo de P na compostagem de resíduos alimentares e de poda de árvores à intensa decomposição do C_{org} durante o período mais chuvoso, visto que a maior quantidade de água e maiores temperaturas favorecem a atividade biológica e as perdas de C_{org} , causando o acúmulo de P na pilha. O P é presente na composição de resíduos vegetais e animais, bem como no produto da decomposição destes (KIEHL, 2010). Cestonaro *et al.* (2010) verificaram maiores teores de P na compostagem de carcaças de aves quando foi adicionado resíduo de capim à composição, cujo teor de cinzas também foi maior entre os demais tratamentos. Saldarraiga *et al.* (2019), em seu estudo sobre a compostagem de RS municipais, verificaram correlação positiva forte (0.81) entre o teor de fósforo e de cinzas, além de correlação negativa forte (-0.84) entre o teor de fósforo e de carbono orgânico total

Os tratamentos apresentaram comportamento semelhante em relação aos teores de potássio (K) ao longo do estudo e não houve diferença significativa entre os tratamentos ao final do experimento, com os valores variando de 0.9 a 1.15% (Tabela 1). Somente houve redução significativa para o tratamento T1 e ligeiras reduções para os demais tratamentos, que pode ter ocorrido por conta da lixiviação do nutriente, favorecida pela boa drenagem do

composto e pelos episódios de chuvas fortes registrados na fazenda (20 a 30 mm) (GIACOMINI *et al.*, 2003; RAIJ, 1991; WERLE; GARCIA; ROSOLEM, 2008). Em estudos sobre a liberação de N, P e K em diferentes resíduos animais, Pitta *et al.* (2012) e Silva *et al.* (2014) verificaram tendência de liberação e percolação do potássio, visto que é um nutriente rapidamente solubilizado. Além disso, o potássio não faz parte da constituição estrutural de nenhum composto orgânico (MARTIN; MARSCHNER, 1988).

O desdobramento da análise dos dados relativos aos teores de cálcio (Ca) mostrou que houve variação significativa, ao final do experimento, apenas para o tratamento T1 (Tabela 1) apesar de todos os tratamentos, exceto T5, apresentarem leve aumento. No entanto, os teores de Ca nos tratamentos T2 (0.43%), T4 (0.53%) e T5 (0.49%) foram superiores aos tratamentos T1 (0.29%) e T3 (0.30%) até o 48º dia de compostagem. Isso pode ter sido ocasionado pela adição de CA à compostagem, que é uma fonte de diversos nutrientes (GIACOMINI *et al.*, 2003; PITTA *et al.*, 2012). Sena *et al.* (2019) e Pitta *et al.* (2012), verificaram aumento na concentração de Ca na compostagem, seguida de vermicompostagem, de resíduos orgânicos e na decomposição de CA.

Para os teores de magnésio (Mg), embora tenha ocorrido uma variação leve entre os tratamentos no 12º, 24º e 36º dia, não houve diferença significativa ao final do experimento (Tabela 1). Silva *et al.* (2020) observaram valores semelhantes ao final de 90 dias de compostagem de açaí e babaçu na amazônia. Os resultados também são sustentados por Adediran *et al.* (2003) e Egrinya Eneji *et al.* (2003) na avaliação de diferentes modelos de compostagem e diferentes tipos de resíduos. Sousa *et al.* (2018) também observaram aumento no conteúdo de Mg após 40 dias de compostagem de diferentes resíduos inoculados com bactérias diazotróficas. Sena *et al.* (2019) observaram leve decréscimo na concentração de Mg em compostagem, seguida de vermicompostagem, de resíduos orgânicos e esterco bovino.

Os dados referentes aos teores de ferro (Fe) e alumínio (Al) apresentaram tendência não normal por ocasião dos testes de normalidade aplicados. Portanto, para realização da ANOVA e teste de médias, os dados foram submetidos a transformação pelo método da raiz quadrada dos valores. De acordo com os resultados, houve um acúmulo significativo nos teores de Fe e Al ao final do experimento (Tabela 1) com média de 335.64%, para os teores de Fe, e 407.81% para os de Al. Foi observado maior acréscimo de Fe no tratamento T1 (1128.57%) e menor acréscimo no tratamento T4 (82.92%). Estes resultados podem ser decorrentes de um efeito de concentração provocado pela perda de matéria orgânica, influenciada pela decomposição microbiológica, visto que a composição das cascas de coco acumulam muito Fe e este não é

facilmente perdido (ROSA *et al.* 2010; KIEHL, 2010; WANG *et al.*, 2017; ZHANG; YING; YAO, 2019).

É possível, ainda, que os teores de Fe tenham sido influenciados pela aplicação de água no composto aos 27 dias por conta de um período de aproximadamente 15 dias sem chuvas e com temperaturas elevadas, o que aumenta as perdas de água do composto, especialmente até o 28º dia, período no qual o revolvimento da pilha foi mais intenso (2x por semana). O aumento nos teores de Fe no composto foi mais intenso após o 36º dia para os tratamentos T1 (de 21.3 para 40.1 g kg⁻¹), T2 (de 30 para 42.3 g kg⁻¹) e T5 (de 17.7 para 29 g kg⁻¹). As águas subterrâneas da região metropolitana de Belém são ricas em Fe, o que ocorre em decorrência das formações geológicas que formam os aquíferos que abastecem a região (BAHIA *et al.*, 2011; FILHO, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2002). Foram verificadas quantidades de Fe superiores aos determinados como adequados para consumo humano (0.3 mg L⁻¹), porém não superiores ao limite máximo indicado para irrigação (5 mg L⁻¹) de acordo com a Resolução CONAMA nº 396 (CONAMA, 2008).

Não houve variação significativa nos teores de Na, exceto para o tratamento T5, ao longo do experimento e, entre os tratamentos, houve diferença aos 24 dias, quando o tratamento T3 apresentou valores mais baixos em relação aos demais (Tabela 1). O tratamento T5 apresentou redução nos teores de Na ao final do experimento (de 0.13% para 0.07%). Sousa *et al.* (2018) verificaram comportamento parecido ao longo do tempo na compostagem de diferentes proporções de resíduos inoculados com bactérias diazotróficas. Tais diferenças são adequadas visto que, o excesso de sódio pode reduzir o potencial osmótico do solo e a disponibilidade de água, dificultando a germinação de sementes e a absorção de água pelas raízes (BORGES *et al.*, 2018; DREW; HOLD; PICCHIONI, 1990).

A tabela 2 apresentam os resultados da análise química do composto da casca de coco-verde, aos 0, 12, 24, 36, 48 e 60 dias para as variáveis matéria orgânica, cinzas, C/N e carbono orgânico, seguidos do desvio padrão da média para cada tratamento e dos resultados do teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0.05$). Os resultados revelaram que houve diferença significativa, pelo teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade, entre os períodos avaliados entre todos os tratamentos para todas as variáveis e interação entre os fatores (dias vs. tratamentos) somente para a variável C/N (Tabela 2).

Todos os tratamentos apresentaram redução significativa da C/N ao final dos 60 dias de experimento (Tabela 2). Essa redução pode ocorrer em função das perdas de carbono na forma de CO₂ e, também, da ciclagem do N ocorridas durante a atividade microbiana. Estas perdas de C são mais intensas quando a C/N do material é elevada (KIEHL, 2010; ORRICO JÚNIOR;

ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2010; SCHAUB; LEONARD, 1996). Os tratamentos T2, T4 e T5 alcançaram valores inferiores a 33 após 36 dias (31.75, 29.50 e 25.25), demonstrando maior velocidade de decomposição, possivelmente por conta do maior aporte de nutrientes fornecidos pela PL, menores relações C/N iniciais (71.25, 59.75, 58.50) e pela aeração mais intensa (CONSOLIN FILHO *et al.*, 2020; FIOREZE; SERANTONI; DE ABREU AZEVEDO, 2020; ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2010; ROGERI *et al.*, 2016).

Tabela 2. Média, desvio padrão e teste de *Tukey* ($p < 0.05$) das variáveis teor de matéria orgânica (MO), teor de cinzas, teor de carbono orgânico (C_{org}) e relação Carbono/Nitrogênio (C/N) na compostagem de cascas de coco-verde com diferentes formulações aos 0, 12, 24, 36, 48 e 60 dias.

Tempo (dias)	Tratamento	MO	Cinzas g kg ⁻¹	C _{org}	C/N
0	T1	937.9±29.6 aA	62.1±29.6 aC	474.6±12.2 aA	95.75±21.12 aA
	T2	851.0±79.6 aA	148.9±79.6 aC	440.2±33.9 aA	71.25±22.60 bA
	T3	904.6±34.9 aA	95.3±34.9 aB	460.6±46.9 aA	90.75±10.21 aA
	T4	846.8±53.5 aA	153.2±53.5 aA	441.7±16.7 aA	59.75±2.75 bAB
	T5	871.8±11.5 aA	128.1±11.5 aB	449.7±9.5 aA	58.50±12.23 bA
12	T1	857.6±6.28 aAB	142.5±62.8 aBC	416.9±45.2 aAB	83.00±15.25 abA
	T2	785.5±191.4 aA	214.6±191.4 aBC	368.4±65.6 aA	61.75±3.30 cA
	T3	854.6±94.7 aAB	145.5±94.7 aAB	409.7±45.4 aA	96.75±6.65 aA
	T4	846.5±96.3 aA	153.5±96.3 aA	428.0±21.8 aAB	67.75±8.77 bcA
	T5	827.2±46.0 aAB	172.8±46.0 aAB	405.8±31.1 aAB	51.75±8.54 cAB
24	T1	762.5±85.8 aBC	237.5±85.8 aAB	335.8±38.5 aBC	52.50±6.45 abB
	T2	798.9±10.18 aA	201.1±101.8 aBC	356.5±36.0 aA	53.00±13.93 abA
	T3	871.7±56.1 aAB	128.4±56.1 aAB	385.5±26.1 aAB	62.00±11.34 aB
	T4	833.9±10.4 aAB	166.1±10.4 aA	347.9±20.4 aBC	44.75±9.32 abBC
	T5	794.7±76.7 aBC	205.3±76.7 aAB	345.0±57.7 aBC	37.75±9.18 bBC
36	T1	614.9±103.5 aCD	385.1±103.5 aA	257.4±66.4 aCD	33.50±6.95 abBC
	T2	574.4±166.1 aAB	425.5±166.1 aA	241.1±71.7 aB	31.75±9.29 abB
	T3	695.0±198.8 aBC	304.9±198.8 aA	318.4±75.5 aBC	45.25±12.74 aBC
	T4	704.0±118.2 aBC	296.0±118.2 aA	300.0±60.5 aCD	29.50±7.51 abCD
	T5	649.5±167.4 aCD	350.5±167.4 aA	345.0±79.5 aCD	25.25±2.63 bC
48	T1	647.9±107.4 aD	352.1±107.4 aA	236.6±26.2 aD	32.75±6.70 aBC
	T2	693.1±158.5 aB	306.9±158.5 aABC	241.1±60.8 aB	31.75±5.38 aB
	T3	730.4±174.5 aC	269.6±174.5 aAB	283.5±52.2 aC	37.50±10.08 aC
	T4	757.2±91.7 aC	242.8±91.7 aA	257.5±38.7 aD	27.00±4.32 aCD
	T5	703.0±154.8 aD	297.0±154.8 aAB	253.0±38.6 aD	29.75±5.62 aC
60	T1	569.8±34.9 aD	430.2±34.9 aA	206.3±14.6 aD	20.00±3.46 aC
	T2	638.9±97.6 aB	361.0±97.6 aAB	219.5±30.5 aB	19.50±4.36 aB
	T3	735.0±168.8 aC	264.9±168.8 aAB	257.5±59.9 aC	27.50±9.47 aC
	T4	716.7±64.7 aC	283.2±64.7 aA	242.9±33.0 aD	20.25±5.74 aD
	T5	612.1±173.3 aD	387.9±173.3 aA	219.8±37.3 aD	19.00±2.16 aC
CV (%)		6.75	20.16	12.59	20.92

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na mesma coluna e no mesmo período, e letra maiúscula, na mesma coluna e em diferentes períodos, não diferem entre si pelo teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0.05$). T1: CCT; T2: CCT + 3% CA; T3: CCT + IN; T4: CCT + 3% CA + IN; T5: CCT + 5% CA

Fonte: O autor (2021)

O tratamento T1 ficou no limite da relação C/N ideal (33) aos 36 dias (33.50) e o tratamento T4 foi o que apresentou C/N mais elevada no 36º dia (45.25). Isso demonstra que o processo de compostagem, independentemente do tipo de formulação utilizado, visto que não houve diferença significativa entre o 36º e 60º dia para nenhum dos tratamentos, pode ser eficaz na redução da C/N a níveis adequados que permitam a aplicação do composto ao solo sem que este cause problemas de deficiência nutricional em função dos processos de imobilização e mineralização do nitrogênio (ALCÂNTARA *et al.*, 2007; KIEHL, 2010; TROEH; THOMPSON, 2005).

Ressalta-se a boa capacidade do processo de compostagem das cascas de coco-verde em promover a redução da C/N, independente da formulação aplicada, após 60 dias de decomposição. Todos os tratamentos chegaram a valores de C/N inferiores a 33 (valor de referência para redução do processo de mineralização do nitrogênio (JIANG *et al.*, 2015; KIEHL, 2010; VALENTE *et al.*, 2008), ao final do experimento. Os tratamentos T2, T3 e T4, formulados com CA, chegaram a tais valores mais rapidamente, especialmente quando comparados ao tratamento T3, que recebeu apenas IN em sua formulação. Assim, os resultados da utilização de formulações com CA e CA+IN podem indicar a possibilidade de redução no tempo de compostagem e, conseqüentemente, de permanência do resíduo no pátio, o que acarreta uma otimização da logística e dos custos de operação para realização do processo de compostagem industrial, elevando a capacidade de produção de composto com características adequadas. A adição de CA (3 e 5%) e a intensificação do processo de revolvimento (duas vezes por semana até o 28º dia ao invés de 1 vez por semana como é feito atualmente) podem ter contribuído para a aceleração do processo de decomposição das cascas de coco-verde, pois fornecem mais nutrientes e melhor aeração, proporcionando condições mais adequadas à atividade microbiana (BARTHOD; RUMPEL; DIGNAC, 2018; COSTA *et al.*, 2005; ZHANG; YING; YAO, 2019).

Os dados da tabela 2 revelaram que houve um decréscimo significativo do conteúdo total de carbono orgânico (TOC) (45.34 para 27.75%, em valores médios) em todos os tratamentos até o 36º dia de compostagem e, a partir de então, não houve redução significativa para a variável (27.75 para 22.92%, em valores médios). Esse efeito é típico em processos de compostagem e ocorre por conta das perdas de carbono na forma de CO₂ (mineralização) para a atmosfera (WANG *et al.*, 2017; AWASTHI *et al.*, 2016; JIANG *et al.*, 2015) promovida pela atividade microbiana. A mineralização do C tende a ser mais intensa em materiais com C/N mais elevada (KIEHL, 2010). Não houve diferença entre os tratamentos em nenhum dos períodos avaliados. Estas observações são sustentadas, ainda, por Kumar *et al.*, 2010 e Singh

and Sharma, 2002, que verificaram perdas de carbono orgânico similares durante a compostagem de resíduos de cana-de-açúcar (56.07 para 20.28%) e palha de trigo (30.10 para 26.48%), respectivamente.

Os teores de matéria orgânica (OM) e de cinzas são inversamente proporcionais e não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos em nenhum dos períodos avaliados (Tabela 2). Os teores de MO decresceram significativamente até o 36º dia, quando os valores se estabilizaram em torno de 60 e 70% do volume total. Essa redução é típica em processos de compostagem e é provocada, principalmente, pelas perdas de C na forma de CO₂ para a atmosfera, favorecida pela alta C/N (AWASTHI *et al.*, 2015; KIEHL, 2010; ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2010; ZHANG; YING; YAO, 2019). A diminuição no conteúdo de OM está diretamente relacionada à perda de C na forma de CO₂ e, de forma inversa, a concentração de resíduos inorgânicos tende a aumentar em relação ao volume final do composto, visto que esses compostos não são volatilizados ou decompostos facilmente (CONGHOS; AGUIRRE; SANTAMARÍA, 2006; ELISABET MASIN *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2021). Os resultados para estas variáveis supracitadas apresentaram tendência não normal e, portanto, para realização da ANOVA, foram submetidos à transformação pelo método da raiz quadrada dos valores.

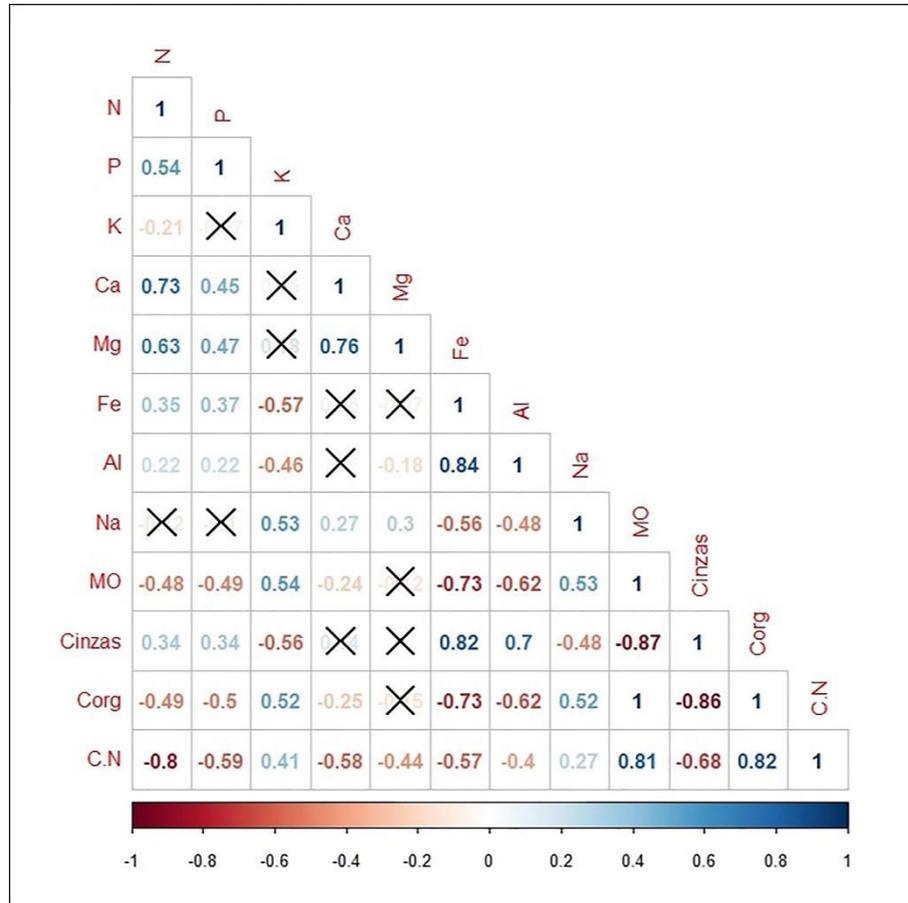
2.4.2 Análise da correlação de *Pearson*

De acordo com os resultados da correlação de *Pearson* (Figura 10), a C/N apresentou correlação negativa forte (-0.8) significativa ($p < 0.05$) com o teor de nitrogênio do composto e correlações negativas moderadas (-0.59, -0.58, -0.57) com os teores de P, Ca e Fe. À exceção dos teores de Ca, essas variáveis apresentaram incremento significativo ao fim do estudo, beneficiando o produto obtido com maior conteúdo de nutrientes e menor relação C/N (KIEHL, 2010; KUMAR *et al.*, 2010).

Houve, ainda, correlação positiva forte (0.82 e 0.81) entre C/N e TOC (0.82 e 0.81) e entre C/N e MO (0.82 e 0.81), bem como entre C_{org} e MO (1), além de correlação negativa forte entre o teor de cinzas e C_{org} (-0.86), corroborando a relação entre a redução da C/N e as perdas significativas de C na forma de CO₂ para a atmosfera, favorecida pela alta C/N das cascas (AWASTHI *et al.*, 2015; FONSECA, 2017; KIEHL, 2010; ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2010; SCHAUB; LEONARD, 1996). Os teores de Fe e Al apresentaram correlação positiva forte (0.82 e 0.7) com o teor de cinzas do composto, o que pode indicar certa

indisponibilidade, visto que estes elementos podem estar incorporados aos resíduos inorgânicos de baixa degradabilidade do composto (ELISABET MASIN *et al.*, 2020).

Figura 10. Matriz de correlação de Pearson ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0.05$) entre as variáveis analisadas.



Células marcadas com “X” não foram significativas ao nível de 5% de probabilidade.
Fonte: O autor (2021)

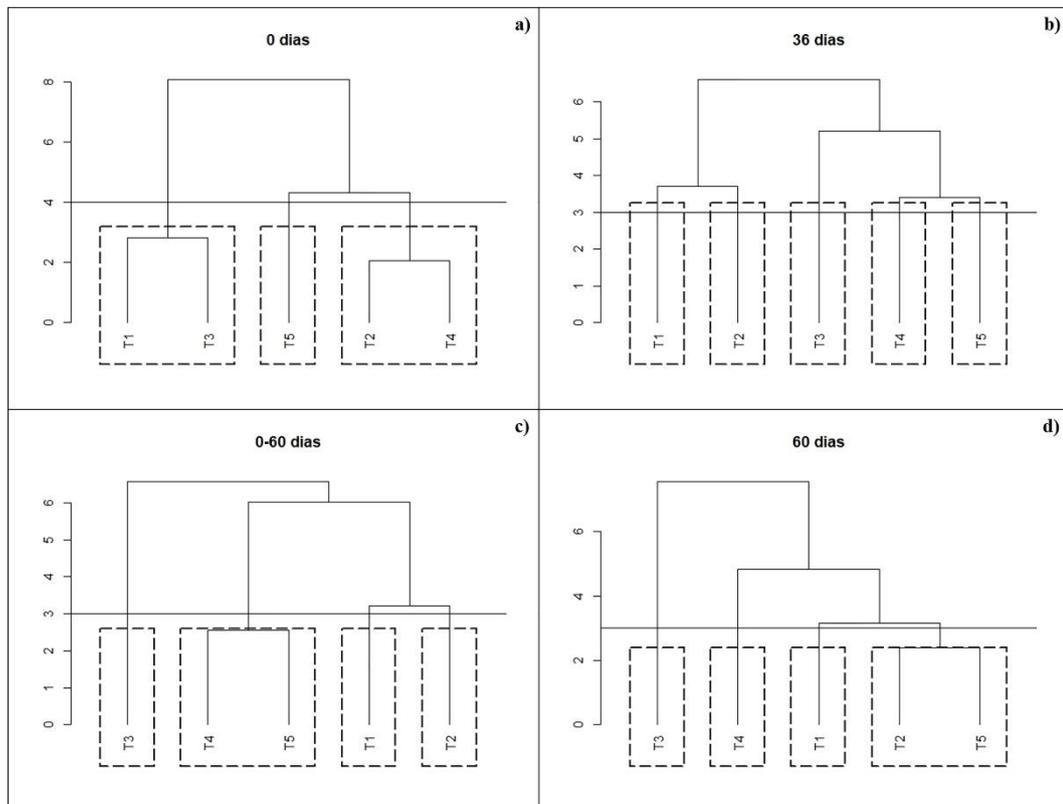
2.4.3 Análise de agrupamento (*Clustering*)

De acordo com a análise de agrupamentos (Figura 11a), inicialmente, os tratamentos formaram três grupos com variação descontínua relacionados, possivelmente, com a adição de CA na formulação e com a menor C/N inicial do material em razão do maior aporte de N proveniente da CA (KIEHL, 2010; ROGERI *et al.*, 2016). Os tratamentos T1 e T3 não receberam CA na formulação e apresentaram C/N inicial de 95.75 e 90.59, respectivamente, enquanto os tratamentos T2, T4, que receberam 3% de CA, obtiveram menor C/N inicial (71.25, 59.75), assim como o tratamento T5 (58.50), que recebeu 5% de CA na composição (Tabela 2).

Aos 36 dias ainda se verificava certa heterogeneidade entre os tratamentos, especialmente em relação à C/N e alguns teores de nutrientes como N, Ca e Mg, o que contribuiu para o

isolamento dos tratamentos nos grupos abaixo da linha de corte, embora os tratamentos T4 e T5 e T1 e T2 entejam mais próximos (Figura 11d). O agrupamento no último dia de compostagem (Figura 11c) apontou uma variação com comportamento contínuo, demonstrando diferenças menos abruptas entre os tratamentos, corroborando os resultados do teste de *Tukey*, que revelou que não houve diferença significativa entre os tratamentos ao final do experimento. O tratamento T3 recebeu somente a aplicação de IN às cascas de coco e foi o que apresentou decomposição mais lenta (C/N inferior a 33 somente aos 60 dias) e menores teores de N, P, Ca, Fe e Al ao final do experimento, além de temperaturas iniciais mais baixas, juntamente ao tratamento T1 que apresentou C/N adequada somente aos 48 dias de compostagem (32.75) (Tabela 2). O tratamento T4 recebeu CA e IN na composição e apresentou os maiores valores de N, P, K, Ca, Mg e Na ao final do experimento, podendo ser atribuído à inoculação com ME aliada à adição de CA, fonte de nutrientes, embora a diferença estatística não tenha sido significativa aos 60 dias (ZHANG; YING; YAO, 2019).

Figura 11. Dendrograma de agrupamentos dos tratamentos aos 0, 36, 60 e de 0-60 dias de compostagem.



T1: CCT; T2: CCT + 3% CA; T3: CCT + IN; T4: CCT + 3% CA + IN; T5: CCT + 5% CA

Fonte: O autor (2021)

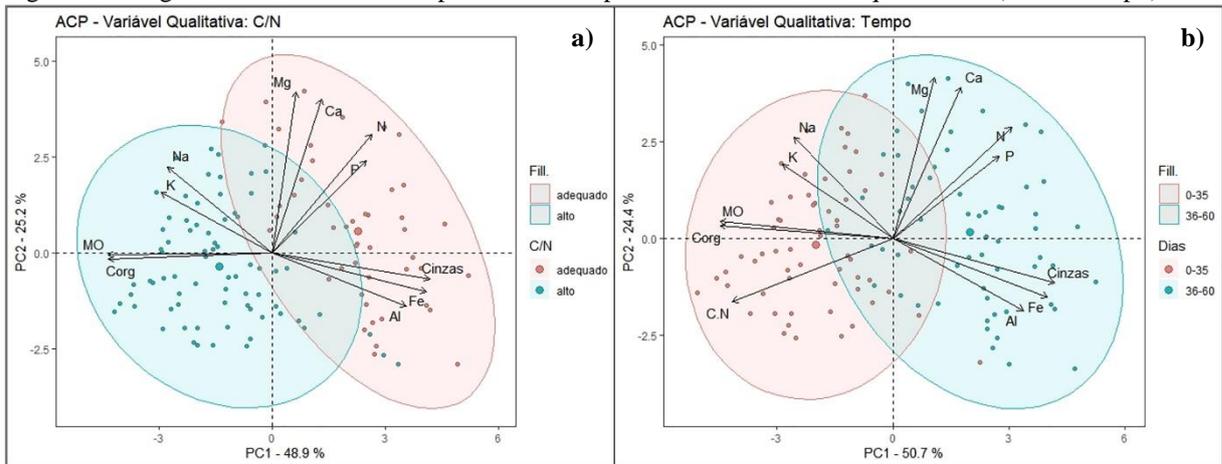
Para as médias de todos os tempos de compostagem a análise de agrupamentos revelou a formação de 4 grupos abaixo da linha de corte (Figura 11c), com os tratamentos T4 e T5 agrupados e os demais isolados. A inoculação com ME em T4 e o maior aporte de nutrientes em T5 podem explicar este agrupamento. T. Zhang *et al.* (2021) observaram que a comunidade bacteriana presente na compostagem de dejetos suínos foi significativamente afetada pela temperatura e pelo tempo. As baixas temperaturas iniciais indicam menor atividade microbiológica, provavelmente, devido a menor quantidade de nutrientes, dado que estes tratamentos não possuíam CA em sua composição, o que pode ter promovido uma decomposição mais lenta para este tratamento (KYAKUWAIRE *et al.*, 2019; PITTA *et al.*, 2012; ZHANG; YING; YAO, 2019).

2.4.4 Análise de Componentes Principais (ACP)

A ACP foi realizada definindo-se a C/N e o fator Tempo como variáveis qualitativas de agrupamento das variáveis. Para isso, os valores de C/N foram classificados como “alto” (valores superiores a 33) e “adequado” (valores inferiores a 33) de acordo com Kiehl (2010) (Figura 12a). Da mesma forma, os Tempos de compostagem foram divididos de acordo com a C/N, buscando definir em que períodos ocorreram os valores de C/N superiores e inferiores a 33. Dessa forma, verificou-se que a maioria dos valores altos foram observados de 0 a 35 dias e os valores adequados de 36 a 60 dias de compostagem. Gil *et al.* (2018) afirmam que a ACP pode prover informações relevantes sobre a viabilidade de misturas para processos biológicos e que a caracterização química aliada a ferramentas estatísticas pode se tornar uma alternativa inovadora para simplificar a seleção de misturas e, assim, promover a valorização de resíduos orgânicos.

As componentes PC1 e PC2 foram responsáveis por 74.10% da variância total com a C/N definida como variável qualitativa (Figura 7a). MO, C_{org}, Cinzas, P, Fe, Al, K e Na relacionaram-se à componente PC1 e respondem por 48.9% da variância total com cargas fatoriais altamente significativas ($> \pm 0.5$) (MATOS; RODRIGUES, 2019; SANTI *et al.* 2012). Tais observações são suportadas pela análise de correlação de *Pearson* (Figura 10), onde verificou-se correlação positiva fortíssima entre C_{org} e MO (1), positiva moderada entre MO e K (0.54), MO e Na (0.53) e negativa moderada entre C_{org} e Al (-0.62).

Figura 12. Diagrama da Análise de Componentes Principais com duas variáveis qualitativas (C/N e Tempo).



Fonte: O autor (2021)

Assim, nota-se que o processo de compostagem das cascas de coco-verde é altamente influenciado pelos processos de mineralização dos resíduos e que as variáveis com maiores cargas fatoriais na PC1 se relacionam com os valores adequados de C/N (<33), contribuindo para a redução desta. Estes resultados são sustentados por Saldarriaga *et al.*, (2019) e Gil *et al.* (2018), em estudo sobre a seleção de variáveis para monitoramento de compostagem de RS urbanos e sobre a seleção de misturas de resíduos orgânicos para processos biológicos, observaram contribuições elevadas das variáveis teor de carbono orgânico e cinzas na primeira componente, bem como a contraposição entre teores de carbono orgânico e de N e P. As mudanças químicas ocorridas durante a compostagem constituem bons indicadores tanto da maturidade do composto quanto da atividade microbiana, responsável por grande parte dessas alterações (BOULTER-BITZER; TREVORS; BOLAND, 2006).

As variáveis N, P, Ca e Mg apresentaram maiores cargas fatoriais na componente PC2, que correspondeu a 25.2% da variância total, denotando sua relação com o processo de compostagem e com os menores valores de C/N. De acordo com a análise da correlação de *Pearson* (Figura 10), a redução da C/N é inversamente proporcional ao aumento no teor de nutrientes como N e P. A contraposição destas variáveis no diagrama com o Tempo como variável qualitativa (Figura 12b) também sustenta essa relação inversamente proporcional. Gil *et al.* (2018) observaram que substratos com maiores conteúdos de N e P apresentavam menor teor de matéria orgânica.

À exceção da C/N, atribuída como qualitativa, todas as variáveis apresentaram cargas fatoriais altas nas duas primeiras componentes, explicando a maior parte da variância total do estudo. Uma vez que a C/N seja incluída como variável quantitativa, a ACP mostra que todas as variáveis analisadas estão incluídas nas duas primeiras componentes com altas cargas

fatoriais e contribuições proporcionais elevadas. A Análise de Componentes Principais é uma ferramenta que pode demonstrar, de forma simplificada, as interrelações entre as variáveis analisadas e, até certo ponto, sua influência umas nas outras (LÓPEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2013).

Quando os Tempos de compostagem foram definidos como variável qualitativa (Figura 12b), as componentes PC1 e PC2 compreenderam 75.1% da variância total, sendo a PC1 responsável por 50.7% e a PC2, por 24.4%. A distribuição das cargas fatoriais das variáveis, bem como a divisão das variáveis entre as componentes, foi semelhante ao obtido na análise anterior, com a inserção, agora, da variável C/N, que apresentou carga fatorial alta (-0.87) e contribuição elevada na componente PC1. As correlações negativas entre essa variável e os teores de N e P (Figura 10) explicam a contraposição destas no diagrama de componentes principais. Além disso, as variáveis que apresentaram correlação positiva entre si e negativas com a C/N posicionaram-se na elipse referente ao período de 36 a 60 dias de compostagem, em oposição à C/N, podendo indicar sua relação com a redução desta (SALDARRIAGA *et al.*, 2019).

Neste contexto, é possível inferir que a decomposição das cascas de coco-verde está relacionada ao processo de mineralização de resíduos, caracterizado pela redução da C/N, C_{org} , MO e aumento do teor de Cinzas, e ao acúmulo de nutrientes como N, P, Ca, Mg, Fe e Al ao longo do processo de compostagem. Além disso, a redução da C/N para níveis adequados ocorre entre os 36 e 60 dias de compostagem, podendo este período se estender ou encurtar dependendo da mistura utilizada (GIL *et al.*, 2018).

2.5 CONCLUSÕES

A compostagem da fibra de coco-verde é eficaz na redução da C/N a valores adequados para aplicação do composto ao solo e, portanto, pode ser utilizada como alternativa de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos provenientes da extração da água-de-coco.

Todas as formulações avaliadas promoveram a redução da C/N do resíduo após 60 dias de compostagem. A adição de CA na formulação (T2, T4 e T5) da compostagem acelerou a decomposição dos resíduos, que atingiram C/N adequada (<33) aos 36 dias.

A aplicação de cama de aviário na formulação da compostagem acelerou a decomposição dos resíduos, que atingiram C/N adequada (<33) a partir dos 36 dias por conta da maior quantidade de nutrientes disponíveis ao seu metabolismo. A compostagem também promoveu

aumentos significativos nos teores de N, P, Fe, Al e cinzas para todos os tratamentos ao final do experimento. Os teores de K, Ca, Mg e Na não variaram significativamente.

A mineralização dos resíduos está fortemente relacionada à redução da C/N e ao Tempo de compostagem. O teor nutricional relaciona-se negativamente com a redução da C/N, Corg e MO.

A Análise de Componentes Principais mostrou-se uma ferramenta útil e simplificada, no âmbito deste trabalho, de representar a interação das variáveis analisadas no processo de compostagem de resíduos agroindustriais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compostagem constitui uma importante técnica para o manejo de RSO, promovendo a estabilização destes e agregando valor ao produto. As cascas de coco-verde, resíduos gerado pela extração industrial da água de coco, podem ser tratadas pelo processo de compostagem. A adição de cama de aviário acelerou a decomposição das cascas de coco, permitindo a redução do tempo de compostagem para, pelo menos, 48 dias ao invés de 60, como é realizado atualmente. A utilização de ferramentas de análise de dados como a Análise de Componentes Principais pode ser uma boa alternativa para a avaliação dos parâmetros de qualidade e maturação do composto, visto que permite a visualização das interações entre as variáveis. Mais estudos são necessários para que o processo de compostagem das cascas de coco-verde seja aprimorado, especialmente no sentido de buscar formulações cada vez mais eficientes, que permitam a produção de um composto com bom teor nutricional, C/N adequada e com viabilidade econômica a nível industrial.

Para futuros estudos relacionados ao tratamento/destinação destes resíduos, sugere-se que busquem modelos que considerem os teores de Fe e Al elevados ao final do processo e tracem estratégias para que estes elementos não causem problemas à cultura. A correlação forte entre os teores de Cinzas, Fe e Al podem indicar que estes estão associados e, por isso, a disponibilização destes elementos seria bastante limitada. O controle do pH também é um importante técnica para manter os níveis de Fe e Al sob controle. Além disso, considerando o aspecto financeiro do processo, é indicado que se busquem alternativas de modelos que utilizem outras fontes de nitrogênio com a *Pueraria phaseoloides* que já é utilizada como cobertura do solo na fazenda. Analisar as formas trocáveis o disponíveis dos nutrientes também deve ser uma preocupação em futuros estudos relacionados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEDIRAN, J. A.; TAIWO, L. B.; SOBULO, R. A. Effect of Organic Wastes and Method of Composting on Compost Maturity, Nutrient Composition of Compost and Yields of Two Vegetable Crops. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 22, n. 4, p. 95–109, 18 ago. 2003.

ALCÂNTARA, M. A. K. DE *et al.* Mineralização do nitrogênio em solos tratados com lodos de curtume. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 547–555, abr. 2007.

ALEMAYEHU, G. *et al.* Crop rotation and organic matter application restore soil health and productivity of degraded highland crop farms in northwest Ethiopia. **Cogent Food & Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 1831124, 1 jan. 2020.

ALMEIRA, N. *et al.* The importance of aeration mode and flowrate in the determination of the biological activity and stability of organic wastes by respiration indices. **Bioresource Technology**, v. 196, p. 256–262, nov. 2015.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

AWASTHI, M. K. *et al.* Co-composting of gelatin industry sludge combined with organic fraction of municipal solid waste and poultry waste employing zeolite mixed with enriched nitrifying bacterial consortium. **Bioresource Technology**, v. 213, p. 181–189, 1 ago. 2016.

AWASTHI, M. K. *et al.* Co-composting of organic fraction of municipal solid waste mixed with different bulking waste: Characterization of physicochemical parameters and microbial enzymatic dynamic. **Bioresource Technology**, v. 182, p. 200–207, 1 abr. 2015.

BAHIA, V. E. *et al.* Caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas na área de abrangência do reservatório de abastecimento público do Utinga - Belém (PA). **Águas Subterrâneas**, v. 25, n. 1, p. 43–56, 2011.

BARTHOD, J.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M.-F. Composting with additives to improve organic amendments. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 2, p. 17, 7 abr. 2018.

BEIGL, P.; LEBERSORGER, S.; SALHOFER, S. Modelling municipal solid waste generation: A review. **Waste Management**, v. 28, n. 1, p. 200–214, jan. 2008.

BONAMONE, M. DE B. *et al.* Logística reversa do resíduo de coco verde - uma abordagem sobre possibilidades de reaproveitamento. **Revista LOGS: Logística e Operações Globais Sustentáveis**, v. 1, n. 1, p. 198–220, 2019.

BONFIM, F. P. G. *et al.* **Caderno dos Microrganismos eficientes - Instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM**. 2ª edição ed. Viçosa, Minas Gerais: [s.n.]. v. 2

BORGES, R. *et al.* Germinação de sementes de tomate submetidas a diferentes concentrações

de cloreto de sódio e substratos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 28, p. 571–577, 3 dez. 2018.

BOULTER-BITZER, J. I.; TREVORS, J. T.; BOLAND, G. J. A polyphasic approach for assessing maturity and stability in compost intended for suppression of plant pathogens. **Applied Soil Ecology**, v. 34, n. 1, p. 65–81, nov. 2006.

BRAINER, M. S. DE C. P. Produção de coco: o nordeste é destaque nacional. **Caderno Setorial ETENE**, v. 61, p. 1–25, 2018.

BRASIL. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. p. 246, 2019.

BRASIL. Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS); altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF. 2010.

CABRAL, M. M. S. *et al.* Composição da fibra da casca de coco verde in natura e após pré-tratamentos químicos. **Engevista**, v. 19, n. 1, p. 99, 30 jan. 2017.

CÁCERES, R.; MALÍŃSKA, K.; MARFÀ, O. Nitrification within composting: A review. **Waste Management**, v. 72, p. 119–137, fev. 2018.

CAPELIN, L. J. *et al.* Avaliação dos efeitos da fibra de coco e da microcelulose cristalina nas propriedades de argamassas cimentícias. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 1, 2020.

CARNEIRO, L. J. *et al.* Nutrient loss in composting of agroindustrial residues. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 4, p. 796–807, ago. 2013.

CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S. DE; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 533–535, dez. 2002.

CASALI, V. W. D. **Caderno dos Microrganismos Eficientes (EM): Instruções práticas sobre o uso ecológico e social dos EM**. 3ª edição ed. Viçosa, Minas Gerais: Departamento de Fitotecnia/Universidade Federal de Viçosa, 2020.

CESTONARO, T. *et al.* Desempenho de diferentes substratos na decomposição de carcaça de frango de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1318–1322, dez. 2010.

CESTONARO, T. *et al.* Full scale composting of food waste and tree pruning: How large is the variation on the compost nutrients over time? **Science of The Total Environment**, v. 754, p. 142078, fev. 2021.

CHEN, T.; ZHANG, S.; YUAN, Z. Adoption of solid organic waste composting products: A critical review. **Journal of Cleaner Production**, v. 272, 1 nov. 2020.

CIMÓ, L. *et al.* Doses de Fósforo na fertirrigação de mudas em substrato a base de fibra de coco e influência na produção do repolho. **Irriga**, v. 22, n. 1, p. 34–43, 30 mar. 2017.

CONAMA. Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008: Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

Brasília, DF. 2008, p. 64–68.

CONGHOS, M. M.; AGUIRRE, M. E.; SANTAMARÍA, R. M. Sunflower Hulls Degradation by Co-composting with Different Nitrogen Sources. **Environmental Technology**, v. 27, n. 9, p. 969–978, set. 2006.

CONSOLIN FILHO, N. *et al.* Estudo de viabilidade da cama de aviário peletizada não compostada como adubo orgânico. **Natural Resources**, v. 10, n. 3, p. 145–161, 12 ago. 2020.

COOPER, M. **Efeito da aplicação de composto orgânico sobre o processo de encrostamento e a recuperação de solos degradados pela erosão hídrica**. Piracicaba: Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.

CORRADINI, E. *et al.* Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 837–846, 2009.

COSTA, M. S. S. D. M. *et al.* Composting time reduction of agro-industrial wastes. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 6, p. 1206–1217, dez. 2016.

COSTA, M. S. S. DE M. *et al.* Compostagem de resíduos da indústria de desfibração de algodão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 540–548, ago. 2005.

COTTA, J. A. DE O. *et al.* Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 65–78, mar. 2015.

DORES-SILVA, P. R.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. DE O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química Nova**, v. 36, n. 5, p. 640–645, 2013.

DREW, M. C.; HOLD, P. S.; PICCHIONI, G. A. Inhibition by NaCl of Net CO₂ Fixation and Yield of Cucumber. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 115, n. 3, p. 472–477, maio 1990.

ECKHARDT, D. P. *et al.* Cattle Manure Bioconversion Effect on the Availability of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium in Soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 26 jul. 2018.

EGRINYA ENEJI, A. *et al.* Influence of Composting Conditions on Plant Nutrient Concentrations in Manure Compost. **Journal of Plant Nutrition**, v. 26, n. 8, p. 1595–1604, jul. 2003.

ELISABET MASIN, C. *et al.* Bioconversion of agro-industrial wastes: Combined compost and vermicompost processes using *Eisenia fetida* for stabilization of poultry litter. **International journal of recycling organic waste in agriculture**, v. 9, n. 2, p. 107–118, 1 jun. 2020.

FAO. **Food and Agriculture Data**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciênc. agrotec., Lavras**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.
- FIEC (Federação das Indústrias do Estado do Ceará). Especial Setorial: Bebidas. **Especial Setorial**, p. 8, 2018.
- FILHO, V. J. F. **Qualidade das águas subterrâneas rasas do aquífero Barreiras: estudo de caso em Benevides - PA**. Orientador: Dr. Paulo Pontes Araújo. 2018. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal do Pará, Belém. 2018.
- FIOREZE, M.; SERANTONI, N.; DE ABREU AZEVEDO, M. Método simplificado de compostagem para tratamento de cama de frango. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, v. 13, n. 1, p. 20, 6 abr. 2020.
- FONSECA, C. B. **Compostagem de lodo da industrialização de pescado com casca de arroz em diferentes volumes**. [s.l.] Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2017.
- GIACOMINI, S. J. *et al.* Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1097–1104, set. 2003.
- GIL, A. *et al.* Multivariate analysis and biodegradability test to evaluate different organic wastes for biological treatments: Anaerobic co-digestion and co-composting. **Waste Management**, v. 78, p. 819–828, 1 ago. 2018.
- GONÇALEZ, J. C. Aproveitamento da casca do coco-verde (*Cocos nucifera L.*) para produção de polpa celulósica. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 321–330, 31 mar. 2016.
- HAN, Z. *et al.* Effects of ambient temperature and aeration frequency on emissions of ammonia and greenhouse gases from a sewage sludge aerobic composting plant. **Bioresource Technology**, v. 270, p. 457–466, dez. 2018.
- HAOUAS, A. *et al.* Evaluation of the nutrients cycle, humification process, and agronomic efficiency of organic wastes composting enriched with phosphate sludge. **Journal of Cleaner Production**, v. 302, p. 127051, jun. 2021.
- IBGE. Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes. **Produção Agrícola Municipal**, 2019.
- JANG, J. Y. *et al.* Thermal stability and flammability of coconut fiber reinforced poly(lactic acid) composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 43, n. 5, p. 2434–2438, jul. 2012.
- JIANG, J. *et al.* Inoculation with nitrogen turnover bacterial agent appropriately increasing nitrogen and promoting maturity in pig manure composting. **Waste Management**, v. 39, p. 78–85, maio 2015.
- KIEHL, E. J. **Novo Fertilizantes Orgânicos**. 1ª edição ed. Piracicaba: Editora Degaspari, 2010.

- KUMAR, R. *et al.* Composting of sugar-cane waste by-products through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 17, p. 6707–6711, set. 2010.
- KUMARI, A. *et al.* Greenways for Solid Waste Management. In: **Handbook of Solid Waste Management**. Singapore: Springer Singapore, 2021. p. 1–40.
- KYAKUWAIRE *et al.* How Safe is Chicken Litter for Land Application as an Organic Fertilizer? A Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 19, p. 3521, 20 set. 2019.
- LACERDA, K. A. P. *et al.* Compostagem: alternativa de aproveitamento dos resíduos sólidos utilizando diferentes modelos de composteiras. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 40753–40763, 2020.
- LEAL, M. A. DE A. *et al.* Compostagem de misturas de capim-elefante e torta de mamona com diferentes relações C:N. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 11, p. 1195–1200, nov. 2013.
- LÓPEZ-GONZÁLEZ, J. A. *et al.* Tracking organic matter and microbiota dynamics during the stages of lignocellulosic waste composting. **Bioresource Technology**, v. 146, p. 574–584, out. 2013.
- MARTIN, M. H.; MARSCHNER, H. The Mineral Nutrition of Higher Plants. **The Journal of Ecology**, v. 76, n. 4, p. 1250, dez. 1988.
- MATOS, D. A. S.; RODRIGUES, E. C. **Análise Fatorial**. Brasília: Enap, 2019.
- NOOR, R. S. *et al.* Effect of compost and chemical fertilizer application on soil physical properties and productivity of sesame (*Sesamum Indicum* L.). **Biomass Conversion and Biorefinery**, 16 out. 2020.
- NUNES, M. U. C.; SANTOS, J. R.; SANTOS, T. C. Tecnologia para Biodegradação da Casca de Coco Seco e de Outros Resíduos do Coqueiro. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**. Circular Técnica, 46. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 5 p.
- OLIVEIRA, J. R. DE *et al.* **Projeto estudos hidrogeológicos da região metropolitana de Belém e adjacências**. Belém: [s.n.].
- 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, jun. 2010.
- PATIL, D. *et al.* Effects of Coconut Fibers on Mechanical Properties of Concrete. **International Journal of Innovations in Engineering and Science**, v. 6, n. 3, p. 1–5, 16 maio 2021.
- PEDROSA, T. D. *et al.* Monitoramento dos Parâmetros Físico-Químicos na Compostagem de Resíduos Agroindustriais. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 44–48, 2013.

PEREIRA, G. DE A. C. *et al.* Soil fertility and nutritional status of elephant grass fertilized with organic compost from small ruminant production and slaughter systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, 25 nov. 2020.

PITTA, C. S. R. *et al.* Year-round poultry litter decomposition and N, P, K and Ca release. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 36, n. 1043–1053, 2012.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing (Version 4.0.5)**. Vienna, Austria. Foundation for Statistical Computing, 2021. Disponível em: <https://www.r-project.org/>

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do Solo e Adubação**. São Paulo: Editora Kp. 1991.

RODRIGUES, L. A. *et al.* Qualidade de mudas de Moringa oleifera Lam. cultivadas em substratos com fibra de coco verde e compostos orgânicos. **Revista Ceres**, v. 63, n. 4, p. 545–552, ago. 2016.

RODRIGUES, P. N. F. *et al.* Efeito do composto orgânico e compactação do solo no milho e nutrientes do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 788–793, 2011.

ROGERI, D. A. *et al.* Composition of Poultry Litter in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.

ROSA, M. DE F. *et al.* Utilização da Casca de Coco como Substrato Agrícola. **Embrapa Agroindústria Tropical**. Série Documentos. Fortaleza, Ceará. 24 p. 2002.

SALDARRIAGA, J. F. *et al.* Selecting Monitoring Variables in the Manual Composting of Municipal Solid Waste Based on Principal Component Analysis. **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, n. 7, p. 1811–1819, 25 jul. 2019.

SANTI, A. L. *et al.* Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1346–1357, set. 2012.

SANTOS, P. L. DOS *et al.* Caracterização e Avaliação da potencialidade dos Solos do Município de Santa Izabel do Pará - Estado do Pará. **Embrapa Amazônia Oriental. Documentos**, 100, p. 19, 2001.

SCHAUB, S. M.; LEONARD, J. J. Composting: An alternative waste management option for food processing industries. **Trends in Food Science & Technology**, v. 7, n. 8, p. 263–268, ago. 1996.

SCHNEIDER, V. E. *et al.* Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agrindústrias associadas. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**. Relatório de Pesquisa. Brasília, DF. 133 p. 2012.

SENA, L. M. *et al.* Compostagem e vermicompostagem como alternativa para tratamento e de destinação de resíduos orgânicos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento**

Sustentável, v. 14, n. 2, p. 266–272, 22 jul. 2019.

SILVA, A. C. DA. Reaproveitamento da casca de coco verde. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 5, p. 4077–4086, 18 dez. 2014.

SILVA, A. L. *et al.* Composting and vermicomposting residues of açai and babassu for sustainable agriculture in Amazon. **Cultura Agronômica: Revista de Ciências Agronômicas**, v. 29, n. 2, p. 217–231, 13 jul. 2020.

SILVA, V. B. DA *et al.* Decomposição e liberação de N, P e K de esterco bovino e de cama de frango isolados ou misturados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38:1537–15, 2014.

SINGH, A.; SHARMA, S. Composting of a crop residue through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting. **Bioresource Technology**, v. 85, n. 2, p. 107–111, nov. 2002.

SOUSA, L. B. *et al.* Evolution of nutrient availability in maturation phase of composting using proportions of different residues inoculated with *Beijerinckia indica*. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, n. 1, p. 35504, 1 mar. 2018.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Soils and soil fertility**. 6th. ed. [s.l.] Ames, Iowa [etc.] : Blackwell, 2005.

VALENTE, B. S. *et al.* Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, n. 224, p. 59–85, 17 set. 2008.

WANG, M. *et al.* Comparison of additives amendment for mitigation of greenhouse gases and ammonia emission during sewage sludge co-composting based on correlation analysis. **Bioresource Technology**, v. 243, p. 520–527, 1 nov. 2017.

WANG, Q. *et al.* Improving pig manure composting efficiency employing Ca-bentonite. **Ecological Engineering**, v. 87, p. 157–161, fev. 2016.

WANG, Q. *et al.* The physical structure of compost and C and N utilization during composting and mushroom growth in *Agaricus bisporus* cultivation with rice, wheat, and reed straw-based composts. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 105, n. 9, p. 3811–3823, 20 maio 2021.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2297–2305, dez. 2008.

XU, Z. *et al.* Effects of moisture and carbon/nitrogen ratio on gaseous emissions and maturity during direct composting of cornstalks used for filtration of anaerobically digested manure centrate. **Bioresource Technology**, v. 298, p. 122503, fev. 2020.

ZHANG, J. *et al.* Effects of different additives on the chemical composition and microbial diversity during composting of *Camellia oleifera* shell. **Bioresource Technology**, v. 330, p. 124990, jun. 2021a.

ZHANG, J.; YING, Y.; YAO, X. Effects of turning frequency on the nutrients of *Camellia oleifera* shell co-compost with goat dung and evaluation of co-compost maturity. **PLOS ONE**, v. 14, n. 9, p. e0222841, 26 set. 2019.

ZHANG, S. *et al.* Industrial-scale food waste composting: Effects of aeration frequencies on oxygen consumption, enzymatic activities and bacterial community succession. **Bioresource Technology**, v. 320, p. 124357, jan. 2021b.

ZHANG, T. *et al.* Effects of microorganism-mediated inoculants on humification processes and phosphorus dynamics during the aerobic composting of swine manure. **Journal of Hazardous Materials**, v. 416, p. 125738, ago. 2021c.

ZHONG, X.-Z. *et al.* Dynamic change of bacterial community during dairy manure composting process revealed by high-throughput sequencing and advanced bioinformatics tools. **Bioresource Technology**, v. 306, p. 123091, jun. 2020b.

ZHONG, X.-Z. *et al.* Insight into the microbiology of nitrogen cycle in the dairy manure composting process revealed by combining high-throughput sequencing and quantitative PCR. **Bioresource Technology**, v. 301, p. 122760, abr. 2020a.

ZHU, N. Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 1, p. 9–13, jan. 2007.