



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

MARIANA FORNACIARI SCHAEFFER

COMPOSTO ORGÂNICO DA CASCA DO CACAU: CARACTERÍSTICAS
AGRONÔMICAS E ECONÔMICAS.

VITÓRIA/ES

2021

MARIANA FORNACIARI SCHAEFFER

**COMPOSTO ORGÂNICO DA CASCA DO CACAU: CARACTERÍSTICAS
AGRONÔMICAS E ECONÔMICAS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (Modalidade Profissional) da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em Saneamento Ambiental e Saúde Pública.

Orientador: Prof. Dr. Ednilson Silva Felipe

VITÓRIA/ES

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

MARIANA FORNACIARI SCHAEFFER

**COMPOSTO ORGÂNICO DA CASCA DO CACAU: CARACTERÍSTICAS
AGRONÔMICAS E ECONÔMICAS.**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (Modalidade Profissional) da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisição parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável na área de concentração em Saneamento Ambiental e Saúde Pública.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. D.Ing. Ricardo Franci
Golçalves
PPGES/UFES

D.Sc. Carlos Alberto Spaggiari Souza
Examinador Externo - CEPLAC

Prof. DSc Ednilson Silva Felipe
Orientador – PPGES/UFES

AGRADECIMENTOS

Graças a Deus, que sempre foi muito bondoso comigo;

Aos meus pais, Ermídio e Laidir, que são a minha base e possibilitaram essa conquista;

Aos meus familiares e amigos, pelo apoio e torcida.

"Tudo é possível. O impossível apenas demora mais."

(Dan Brown).

RESUMO

A casca do cacau foi motivo de vários estudos de aproveitamento, porém nenhum deles vistos como práticos e aplicáveis pelo cenário gerador: pequenos produtores que geram milhares de toneladas de cascas por ano e as abandonam nas plantações. A compostagem se mostrou como um método fácil e atraente para redução dos grandes acúmulos de cascas de cacau nas propriedades agrícolas. A técnica foi utilizada como uma solução alternativa viável para geração de um produto de valor agregado. Foi destaque neste estudo, o alto valor econômico do composto produzido quando da avaliação do conteúdo de nutrientes em relação aos produtos minerais no mercado atualmente. O produto deste processo apresentou quantidades significativas de nutrientes, que apesar da concentração de nutrientes ser distante da quantidade de nutrientes fornecidos por fertilizantes comerciais, o composto orgânico pode trazer grandes benefícios com a introdução da matéria orgânica no solo, que também foi destaque no produto final. Em comparação com as Instruções Normativas nº.25 de 2009 e nº. 27 de 2006 do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e proposta da União Europeia CE (2016), o composto da casca do cacau atendeu todos os parâmetros indicados para classificação como fertilizante orgânico, inclusive para metais contaminantes, uma grande preocupação atual com o uso de fontes residuais como matéria-prima para fertilizantes. O uso do fertilizante da casca do cacau poderia reduzir o consumo de fertilizantes minerais, contribuindo para a preservação de recursos e reciclagem da matéria orgânica. Com o retorno do resíduo do cacau como um produto agrícola, poderia ocorrer à utilização do recurso disponível, fechando um ciclo e promovendo diversos benefícios em cadeia, dentro das novas diretrizes Nexus e Economia Circular. E também, somado a estes resultados, este projeto pode dar suporte e material técnico para que novos trabalhos analisem a viabilidade de um sistema de compostagem em maior escala, produzindo até mesmo para comércio.

PALAVRAS-CHAVE: Casca do cacau; compostagem; fertilizante orgânico.

ABSTRACT

The cocoa pod husk has been the subject of several studies of use, but none of them seen as practical and applicable by the generator scenario: small producers that generate thousands of tons of barks per year and abandon them in the plantations. Composting proved to be an easy and attractive method to reduce the large accumulations of cocoa shells on agricultural properties. The technique was used as a viable alternative solution for generating a value-added product. It was highlighted in this study, the high economic value of the compost produced when assessing the content of nutrients in relation to mineral products on the market today. The product of this process showed significant amounts of nutrients, that although the concentration of nutrients is far from the amount of nutrients provided by commercial fertilizers, the organic compound can bring great benefits with the introduction of organic matter in the soil, which were also highlights in the final product. Compared to Normative Instructions No. 25 of 2009 and No. 27 of 2006 from MAPA - Ministry of Agriculture, Livestock and Supply and proposal of the European Union CE (2016), the cocoa husk compound met all the parameters indicated for classification as organic fertilizer, including for contaminating metals, a major current concern with the use of waste sources as raw material for fertilizers. The use of cocoa husk fertilizer could reduce the consumption of mineral fertilizers, contributing to the preservation of resources and recycling of organic matter. With the return of the cocoa residue as an agricultural product, the use of the available resource could occur, closing a cycle and promoting several chain benefits, within the new Nexus and Circular Economy guidelines. Also, added to these results, this project can provide support and technical material for new works to analyze the feasibility of a composting system on larger scales, even producing for trade.

KEYWORDS: cocoa pod husk; composting; organic fertilizer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Segurança Ambiental: água, comida e energia em equilíbrio	29
Figura 2: Fruto do cacau apresentando suas sementes envoltas da polpa.....	31
Figura 3: Produção de cacau (amêndoas secas) no Espírito Santo em kg	32
Figura 4: Casqueiros deixados na plantação após colheita do cacau.....	33
Figura 5: Calha para escoamento do líquido ("chorume") resultante do processo	82
Figura 6: Leiras de compostagem sendo montadas.....	83
Figura 7: Composto final após 90 dias de compostagem.....	85
Figura 8: Valores médios da temperatura durante a compostagem da casca do cacau.....	88
Figura 9: Teores de macronutrientes que se destacaram ao final do período da compostagem da casca do cacau.	90
Figura 10: Teores de micronutrientes ao longo do período da compostagem da casca do cacau.	91
Figura 11: Teores de contaminantes ao longo do período da compostagem da casca do cacau.....	92
Figura 12: Representação das perdas na compostagem da casca do cacau	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Requisitos mínimos de nutrientes e limites máximos de contaminantes para fertilizantes sólidos orgânicos de acordo com a nova proposta da UE.	51
Tabela 2: Especificações e limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos simples.....	53
Tabela 3 Temperatura e tempo necessário para higienização de um composto orgânico.....	53
Tabela 4: Resultados da análise da casca do cacau baseada na metodologia MAPA (2017). Resultados na base de matéria seca (massa/massa).....	80
Tabela 5: Resultados das análises agronômicas durante a compostagem. Base de matéria seca (massa/massa).	89
Tabela 6: Nutrientes presentes no composto orgânico base úmida a 37%.....	117
Tabela 7: Total de NPK em kg por ano fornecido pelo composto.	118
Tabela 8 Valores médios das unidades de fertilizantes.	119
Tabela 9 preço sugerido para o composto orgânico.	119
Tabela 10: Recomendações NPK para produção de 1000kg de amêndoas secas (kg)	120
Tabela 11 Total de nutrientes que poderia ser captado no composto orgânico da produção da fazenda de acordo com seu volume de cascas anual	121
Tabela 12: Volume total de composto utilizando como limitante o teor de potássio.	122
Tabela 14: Economia potencial na Fazenda com o uso do fertilizante orgânico.	123

LISTA DE SIGLAS

CEPEC - Centro de pesquisas do Cacau

CEPLAC - Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

EC - Economia Circular

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MMA - Ministério do Meio Ambiente

ONU - Organização das Nações Unidas

PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL	17
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.2.1	Objetivo específico 1	18
1.2.2	Objetivo específico 2	18
1.2.3	Objetivo específico 3:	18
1.3	ESBOÇO METODOLÓGICO E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	18
2	ARTIGO 1 DISCUSSÃO DA PROBLEMÁTICA NA RECUPERAÇÃO DAS CASCAS DO FRUTO DO CACAUEIRO.....	20
2.1	INTRODUÇÃO	22
2.2	METODOLOGIA.....	23
2.3	IMPACTOS AMBIENTAIS RESULTANTES DO USO DE FERTILIZANTES MINERAIS.....	23
2.4	ECONOMIA CIRCULAR E NEXUS.....	26
2.5	ASPECTOS GERAIS DA PRODUÇÃO DO CACAU	30
2.6	RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DO CACAU.....	32
2.7	PROBLEMÁTICAS DO DESCARTE INADEQUADO DAS CASCAS	33
2.8	ABORDAGENS BIOTECNOLÓGICAS PARA APROVEITAMENTO DAS CASCAS	34
2.8.1	Uso da casca do cacau como fertilizante	38
2.9	COMPOSTAGEM ORGÂNICA.....	40
2.9.1	Principais parâmetros envolvidos no processo da compostagem	43
2.9.1.1	Temperatura.....	44
2.9.1.2	Relação Carbono / Nitrogênio	46
2.9.1.3	Umidade	46
2.9.1.4	Tamanho das partículas.....	47
2.9.1.5	Aeração.....	48
2.10	QUALIDADE DO COMPOSTO ORGÂNICO	48
2.10.1	Legislações aplicáveis	50
2.11	VALOR ECONÔMICO DO COMPOSTO ORGÂNICO	54
2.12	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56

3	ARTIGO 2 ANÁLISE DO PROCESSO DA COMPOSTAGEM E DAS CARACTERÍSTICAS DO FERTILIZANTE ORGÂNICO PRODUZIDO A PARTIR DAS CASCAS DO FRUTO DO CACAUEIRO	72
3.1	INTRODUÇÃO	74
3.1.1	Compostagem orgânica.....	75
3.1.2	Qualidade do composto orgânico	76
3.2	METODOLOGIA.....	79
3.2.1	Área do estudo	79
3.2.2	Caracterização inicial das cascas do cacau	80
3.2.3	Estruturação e montagem das leiras	81
3.2.4	Operacionalização das leiras.....	83
3.2.5	Coleta e preparo das amostras.....	84
3.2.6	Análise dos resultados.....	84
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85
3.3.1	Aspectos gerais	85
3.3.2	Acompanhamento da temperatura	86
3.3.3	Qualidade do composto obtido	88
3.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
4	ARTIGO 3 ESTIMATIVA DO VALOR ECONÔMICO DO COMPOSTO ORGÂNICO DA CASCA DO CACAU E DA ECONOMIA EM SUBSTITUIÇÃO DO FERTILIZANTE MINERAL.....	102
4.1	INTRODUÇÃO	106
4.1.1	Características do composto da casca de cacau.....	108
4.1.2	Valor econômico do composto orgânico	109
4.2	METODOLOGIA.....	110
4.2.1	Estimativa da quantidade de nutrientes NPK fornecidos pelo composto orgânico.....	110
4.2.2	Cálculos da estimativa do valor econômico do composto orgânico.....	111
4.2.3	Recomendação nutricional para a cultura do cacau	113
4.2.4	Análise da quantidade de NPK necessário.....	113
4.2.5	Estimativa da economia de adubo mineral na cultura do cacau	114
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	116

4.3.1	Estimativa da quantidade de nutrientes NPK fornecida pelo composto orgânico.....	116
4.3.2	Cálculos da estimativa do valor econômico do composto orgânico.....	119
4.3.3	Recomendação nutricional para a cultura do cacau	120
4.3.4	Análise da quantidade de NPK necessário.....	120
4.3.4.1	Nitrogênio (N)	120
4.3.4.2	Fósforo (P_2O_5)	120
4.3.4.3	Potássio (K_2O).....	121
4.3.5	Estimativa de economia de adubo mineral na cultura do cacau	122
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	123
5	CONCLUSÃO.....	125

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento da biomassa nutricional dos resíduos da agricultura vem ganhando destaque nas últimas décadas, como forma de emprego do recurso, redução de custo e diminuição de impactos ambientais. Somado ao alto custo dos fertilizantes e a crescente escassez de fontes minerais, alavancaram-se pesquisas por alternativas aos insumos agrícolas usuais, incluindo o uso dos resíduos. A reciclagem dos resíduos que são perdidos no campo atrai a atenção dos pesquisadores que trabalham na busca de soluções para que os resíduos se tornem utilizáveis e com maior valor agregado (SANTOS, 2016; BATISTA, 2014; GONZALES et al., 2013; SODRÉ et al., 2012).

A cacauicultura é uma cultura permanente e grande geradora de resíduos. As cascas do cacau geradas durante o beneficiamento das amêndoas representam cerca de 80% do volume do fruto maduro. As cascas, em sua maior parte, ficam abandonadas nas plantações. Calcula-se que a cada tonelada de sementes secas são geradas 10 toneladas de cascas frescas (MANSUR et al., 2014; GONZALES et al., 2013). Considerando a produção no Brasil na temporada 2018/2019, segundo a ICCO (International Cocoa Organization), foram geradas quase dois milhões de toneladas de cascas de cacau no país.

Este método do abandono das cascas é adotado pela maioria dos cacauicultores no mundo, gerando problemas sociais (ocupam imensas áreas, geram odores pútridos e interferem na paisagem), ambientais (poluem rios e solos) e econômicos (desenvolvimento de doenças no próprio cacauzeiro, prejuízos na safra, desperdício de energia e nutrientes) (VÁSQUEZ et al., 2019; MANSUR et al., 2014; GONZALES et al., 2013).

Diversos estudos foram realizados a fim de buscar utilizações para as cascas do cacau. Envolvendo a geração de biogás (BATISTA, 2014; ACOSTA et al., 2018), geração de biodiesel (ADJIN-TETTEH et al., 2018), uso como catalisador na produção de biodiesel (OFORI-BOATENG e LEE, 2013), uso como briquetes para queima como combustível (SYAMSIRO et al., 2012), utilização como compostos alimentícios (VRIESMANN, TEÓFILO e PETKOWICZ, 2012), uso na produção de

fibra (CAMPOS-VEGA, NIETO-FIGUEROA e OOMAH, 2018), e uso na alimentação animal (FIGUEIREDO et al., 2018), dentre outros.

Além disso, alguns autores defenderam as cascas como potenciais matérias primas para uso como fertilizantes orgânicos. Um estudo conduzido na Faculdade de Agricultura de Fazendas Culturais, em Kumasi (Gana), mostrou que a cinza da casca do cacau poderia ser aplicada ao solo como fertilizante, sendo uma ótima fonte de potássio e podendo ser utilizada como substituta aos fertilizantes comerciais (ADU-DAPAAH, COBBINA e ASARE, 1994). Chepote (2003), em sua pesquisa no município de Valença (Bahia) concluiu que a adubação orgânica utilizando um composto produzido com a casca do cacau mais esterco bovino, além de promover aumento expressivo na produção do cacauzeiro, permitiu a redução do emprego de fertilizantes minerais. Sodré et al., (2012) consideraram fácil a produção e aplicação do biofertilizante da casca do fruto do cacauzeiro, sendo possível usá-lo como fonte de potássio na produção de mudas.

Porém, apesar de serem numerosos os estudos e possibilidades de aproveitamento da casca do cacau, pouco tem sido feito no Brasil e no mundo, seja por parte dos próprios produtores e/ou pelas autoridades públicas. Cabe ressaltar que são raros os estudos que envolveram aplicabilidade técnica das propostas da maioria dos autores que sugeriram investigar soluções biotecnológicas para estes resíduos, e, além disso, poucos entraram nas questões econômicas envolvidas (VÁSQUEZ et., al, 2019).

Assim, seria preciso um procedimento de aproveitamento das cascas de cacau mais acessível e de fácil gestão. Alguns autores que estudaram o método da compostagem orgânica para a produção de fertilizantes concluíram como uma das ferramentas e soluções mais baratas e atraentes do aproveitamento de biomassas residuais, possibilitando minimizar o acúmulo dos grandes volumes de resíduos no solo (SHAFAWATI e SIDDIQUEE, 2013; JURADO, 2014).

Todavia, ainda são muito complexas todas as avaliações relacionadas à produção e qualidade do fertilizante orgânico produzido a partir da compostagem de resíduos. São poucos os estudos e são muitas as variações que cada matéria-prima residual pode apresentar. Um mesmo produto pode variar muito, pois naturalmente os

resíduos são heterogêneos. Lim, Lee e Wu (2016) descreveram em sua revisão que os estudos sobre o processo de compostagem de resíduos eram raros.

Do mesmo modo, também são poucos os estudos realizados sobre a compostagem da casca do cacau, se mostrando necessária uma avaliação deste processo e das características do fertilizante orgânico produzido, investigando sua qualidade e valorização frente aos nutrientes obtidos, possibilitando enxergá-lo como um provável insumo agrícola substituto parcial ou integral aos fertilizantes comerciais.

Desta forma, esta pesquisa se debruçou sobre o seguinte problema: quais seriam as características agronômicas do composto orgânico da casca do cacau e seu valor econômico em nutrientes? Este tema se mostrou relevante por contribuir com avanços científicos e tecnológicos, influenciando em futuras decisões no âmbito do desenvolvimento ambiental e econômico das regiões produtoras de cacau.

Observou-se como importante o desenvolvimento de novas linhas de metodologias com foco em produção do composto orgânico da casca do cacau, agregando valor aos resíduos dos cultivos agrícolas. Com o retorno do resíduo do cacau como um produto agrícola, poderia ocorrer à utilização do recurso disponível, fechando um ciclo e promovendo diversos benefícios em cadeia. Neste contexto, as idéias de Economia Circular e Nexus foram aplicadas como ferramentas orientadoras para o uso cíclico dos recursos (MORAGA et., al, 2019).

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desse trabalho é fazer uma análise do processo da compostagem e das características agronômicas e econômicas do fertilizante orgânico produzido a partir das cascas do fruto do cacau.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.2.1 Objetivo específico 1

Discutir a problemática da recuperação das cascas do fruto do cacau.

1.2.2 Objetivo específico 2

Analisar o processo da compostagem e as características do fertilizante orgânico produzido a partir das cascas do fruto do cacau.

1.2.3 Objetivo específico 3:

Estimar o valor econômico do composto orgânico da casca do cacau e a economia em substituição ao fertilizante mineral.

1.3 ESBOÇO METODOLÓGICO E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente pesquisa foi caracterizada por sua finalidade como aplicada, pois pretendeu contribuir com questões de ordem prática no contexto social em que o pesquisador se insere visando à solução de um problema (CRESWELL, 2010; BARROS e LEHFELD, 2011). Em relação ao objetivo, foi considerada uma pesquisa exploratória, pois buscou desenvolver e esclarecer idéias de um tema pouco explorado (GIL, 2008). Do ponto de vista quanto à natureza, essa pesquisa foi caracterizada como qualitativa, pois buscou o entendimento do fenômeno, suas relações e mudanças e tentou compreender as consequências (TRIVISIOS, 1987).

Essa pesquisa teve como procedimentos as pesquisas bibliográficas e documentais, sendo que a maior parte dos dados utilizados foram secundários, através de relatórios de pesquisa, livros acadêmicos, artigos científicos e publicações da área. Também foi realizado o procedimento experimental, pois exigiu o uso de técnicas e instrumentos, controlando variáveis e avaliando seus efeitos (GIL, 2008).

A maioria dos dados bibliográficos foi buscada em bancos de dados virtuais. Os sítios de acesso incluíram: Science Direct, Google Acadêmico e Research Gate. Também foram empreendidas buscas em sítios de órgãos como o do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA); da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC); do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Para a conclusão do objetivo geral desta pesquisa foram destacados três objetivos específicos divididos em três artigos nesta dissertação. No primeiro objetivo, utilizando as fontes bibliográficas citadas anteriormente, foi abordada a problemática de recuperação das cascas do cacau, levando ao leitor a conhecer o que já foi desenvolvido por outros pesquisadores. Também foi aprofundado o tema da compostagem dos resíduos induzindo a compreensão da recuperação de nutrientes por este método.

Para a conclusão do segundo objetivo dessa pesquisa, foi abordado o processo da compostagem através de um experimento conduzido em uma fazenda na região do município de Linhares, Espírito Santo. Foram apresentadas todas as etapas do procedimento e as características agrônômicas do fertilizante orgânico sólido produzido neste processo em comparação com as legislações aplicáveis.

O terceiro objetivo focou em estimar o valor econômico do composto orgânico da casca do cacau em comparação com os fertilizantes minerais disponíveis no mercado, buscando assim, apresentar a valorização em teor nutricional e o seu possível uso e economia como substituto de fertilizantes minerais na fazenda deste estudo.

2 ARTIGO 1 DISCUSSÃO DA PROBLEMÁTICA NA RECUPERAÇÃO DAS CASCAS DO FRUTO DO CACAUEIRO.

RESUMO

Apesar da exploração dos frutos do cacaueiro ocorrer há muitas décadas, atualmente ainda se convive com um problema antigo desta atividade: o desperdício das cascas do cacau. O interesse no beneficiamento segue somente para as amêndoas, matéria-prima do chocolate, que representam apenas cerca de 20% do fruto. Neste artigo foi abordada a problemática de recuperação das cascas do cacau, levando ao leitor a conhecer o que já foi desenvolvido por outros pesquisadores. Também foi aprofundado o tema da compostagem dos resíduos induzindo a compreensão da recuperação de nutrientes por este método. Para a confecção deste artigo foram utilizadas pesquisas bibliográficas e documentais, sendo que a maior parte dos dados foram buscados em relatórios de pesquisa, livros acadêmicos, artigos científicos e publicações da área. A maioria dos dados bibliográficos foi buscada em bancos de dados virtuais, incluindo Science Direct, Google Acadêmico e Research Gate e sítios de órgãos como o do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) e do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Nesta revisão pode-se concluir que apesar de serem numerosos os estudos e possibilidades de aproveitamento da casca do cacau, pouco tem sido feito no Brasil e no mundo, seja por parte dos próprios produtores e/ou pelas autoridades públicas. Cabe ressaltar que foram raros os estudos que envolveram aplicabilidade técnica das propostas da maioria dos autores que sugeriram investigar soluções biotecnológicas para estes resíduos, onde poucos entraram nas questões econômicas envolvidas. Alguns autores sugeriam que a compostagem orgânica poderia ser a forma mais barata e aplicável de recuperar nutrientes da casca do cacau, porém também não investigaram a qualidade do composto produzido e seu valor nutricional em comparação aos produtos já disponíveis no mercado. Desta forma, conclui-se que ainda existe a necessidade de um estudo do procedimento da compostagem e avaliação do fertilizante orgânico produzido a partir das cascas do cacau, buscando sua avaliação nutricional e econômica.

PALAVRAS-CHAVE: Nexus; compostagem; fertilizante orgânico.

DISCUSSION OF THE PROBLEM IN THE RECOVERY OF COCOA POD HUSK

ABSTRACT

Despite the fact that the exploitation of cacao fruits has been going on for many decades, today there is still an old problem with this activity: the waste of cocoa shells. The interest in processing goes only to almonds, the raw material for chocolate, which represents only about 20% of the fruit. In this article, the problem of recovering cocoa shells was addressed, taking the reader to know what has already been developed by other researchers. The topic of waste composting was also deepened, leading to an understanding of the recovery of nutrients by this method. For the preparation of this article, bibliographical and documentary research was used, and most of the data was sought in research reports, academic books, scientific articles and publications in the area. Most of the bibliographic data was searched in virtual databases, including Science Direct, Google Scholar and Research Gate and websites of agencies such as the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (MAPA), of the Executive Committee of the Plan of Lavaca Cacaueira (CEPLAC), the National Environment Council (CONAMA) and the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). In this review it can be concluded that although there are numerous studies and possibilities of using the cocoa hull, little has been done in Brazil and in the world, either by the producers themselves and / or by the public authorities. It is noteworthy that studies involving the applicability of the proposals of most authors that suggested investigating biotechnological solutions for these residues have been rare, where few have entered into the economic issues involved. Some authors suggested that organic composting could be the cheapest and most applicable way of recovering nutrients from the cocoa shell, but they also did not investigate the quality of the compost produced and its nutritional value compared to products already available on the market. Thus, it is concluded the need to study the composting procedure and the organic fertilizer produced, seeking its nutritional and economic evaluation.

KEYWORDS: Nexus; composting; organic fertilizer.

2.1 INTRODUÇÃO

O descarte inadequado da casca do cacau do cacau é uma prática comum no Brasil e no mundo. Frequentemente as cascas são abandonadas em montes conhecidos como "casqueiros" no meio das plantações trazendo diversos problemas ambientais, econômicos e sociais, como: perda de nutrientes, contaminação do solo e águas superficiais, atração de vetores, proliferação de fungos, reduções de produtividade, dentre outros (VÁSQUEZ et al., 2019; MANSUR et al., 2014; GONZALES et al., 2013; PELIZER, PONTIERI e MORAES, 2007; CRUZ et al., 2012).

Este modelo de produção está distante das novas visões para o desenvolvimento econômico de forma segura. Produzir e descartar se tornou um sistema linear em decadência e deve ser substituído pelas novas propostas de economia circular e Nexus, trazendo em conjunto uma série de mudanças e estratégias para implementar o desenvolvimento sustentável. A casca do cacau é um recurso que deve ser aproveitado e recuperado, reduzindo desperdícios e podendo produzir um produto de valor agregado com retorno para o próprio pantio.

Os fertilizantes orgânicos se mostram como uma opção de substituição aos fertilizantes minerais. Estes últimos, em longo prazo, degradam a qualidade do ambiente e trazem uma cascata de impactos, como poluição e eutrofização dos rios, acidificação do solo, aquecimento global e perdas de produção. Os fertilizantes orgânicos, apesar de trazerem resultados menos imediatistas, aumentam a biodiversidade do solo, preservam a agregam matéria orgânica no cultivo e não colocam a qualidade e a segurança das culturas em risco.

Para isso, ser torna necessário o esclarecimento sobre o que foi desenvolvido no Brasil e no mundo até o momento para a recuperação dos nutrientes da casca do cacau. Assim, será possível um entedimento da problemática deste desperdício e uma possível avaliação da aplicabilidade do uso da casca como matéria prima para fabricação e uso do composto orgânico.

Este artigo está dividido em três partes. A primeira consistiu na apresentação do tema com as abordagens já realizadas sobre o assunto buscando situar o estudo no contexto geral do conhecimento juntamente da abordagem do procedimento

metodológico desenvolvido. A terceira parte os resultados foram discutidos. E por fim, feitas as considerações finais.

2.2 METODOLOGIA

Para a confecção deste artigo foram utilizadas pesquisas bibliográficas e documentais, sendo que a maior parte dos dados foram secundários, através de relatórios de pesquisa, livros acadêmicos, artigos científicos e publicações da área. A maioria dos dados bibliográficos foi buscada em bancos de dados virtuais. Os sítios de acesso incluíram: Science Direct, Google Acadêmico e Research Gate. Também foram empreendidas buscas em sítios de órgãos como o do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA); da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC); do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Foi realizada a estruturação do artigo por temas e em cada um deles discutida a problemática envolvendo a recuperação da casca do cacau.

2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS RESULTANTES DO USO DE FERTILIZANTES MINERAIS

As plantas necessitam de nutrientes disponíveis em concentrações adequadas para se desenvolverem, caso contrário, elas serão negativamente afetadas. Estes nutrientes são subdivididos em macronutrientes primários: Nitrogênio (N), Fósforo (P) expresso na fórmula mineral como pentóxido de fósforo (P_2O_5) e Potássio (K) expresso como Óxido de Potássio (K_2O); macronutrientes secundários: Cálcio (Ca) expresso na forma de óxido de Cálcio (CaO), Magnésio (Mg) expresso como óxido de Magnésio (MgO) e Enxofre (S); e micronutrientes: Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Zinco (Zn), Cobalto (Co), Silício (Si) e outros (BRASIL, 2004).

Estes elementos são absorvidos pelas plantas em quantidades e concentrações específicas. Os macronutrientes são necessários em maiores quantidades e

possuem função estrutural. Os micronutrientes são necessários em menores quantidades e fazem parte das enzimas e possuem função reguladora. A disponibilidade dos nutrientes essenciais é enriquecida pela adição dos fertilizantes (MALAVOLTA, 2006).

O Nitrogênio (N) é um macronutriente primário exigido, em geral, em maior quantidade que qualquer outro nutriente. O N é crucial para a estrutura das proteínas e ácidos nucléicos. Ele participa intimamente dos processos fisiológicos que ocorrem nas plantas. Sua disponibilidade na maioria dos solos é pequena. Solos ricos em matéria orgânica tendem a prover este nutriente ao plantio com maior eficiência. A uréia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ - 45-46%N) é o fertilizante sólido mineral mais utilizado na agricultura brasileira como principal fonte de N (MALAVOLTA, 2006; DE ALMEIDA, 2016).

O potássio (K) é o segundo nutriente mais consumido na agricultura brasileira. Este elemento participa ativamente da atividade enzimática das plantas, sendo essencial para diversas funções vitais, como catalizador das reações e processos osmóticos. Um dos principais fertilizantes fosfatados comercializados no país é o cloreto de potássio (58%-60% K_2O) (MALAVOLTA, 2006; DE ALMEIDA, 2016).

E dentre os três macronutrientes primários, o Fósforo (P) é o menos requerido pelas plantas, mas em contrapartida, é o nutriente mais consumido no país devido a carência deste elemento nos solos brasileiros. Ele é essencial para a formação dos frutos, das sementes, para a formação e crescimento das raízes. Ele participa ativamente do metabolismo energético da planta. Uma das principais fontes minerais de P comercializadas são os adubos MAP (46 a 60% de P_2O_5) ou DAP (38 a 46% de P_2O_5) (MALAVOLTA, 2006; DE ALMEIDA, 2016).

Historicamente o uso dos fertilizantes agrícolas minerais proporcionou o alcance de produções de alimentos e grãos em escalas recordes, mas este uso ocorre muitas vezes em excesso, causando perdas expressivas de nutrientes no plantio. Grandes volumes que são depositados nas culturas são perdidos por processos erosivos, lixiviação e volatilização. O N é o nutriente que mais se perde por erosão (IPNI, 2019; DE ALMEIDA, 2016).

O Brasil é um grande produtor agrícola, sendo também um grande consumidor de fertilizantes (o quarto maior do mundo). Apesar de ser um grande demandante, a produção interna de insumos para fertilizantes é insuficiente para atender ao consumo. A maioria do volume de fertilizantes utilizados é produzida em outros países. Segundo o International Plant Nutrition Institute, o consumo aparente de fertilizantes e matérias-primas no Brasil em 2017 foi de 34.144.651 toneladas, sendo que deste total, aproximadamente, apenas 25% corresponderam à produção nacional. Os restantes dos fertilizantes utilizados proveram de importações (IPNI, 2019).

Estudos demonstraram que o uso contínuo ou em excesso destes nutrientes minerais pode provocar sérios problemas, tais como, a deterioração do solo, emissões de gases de efeito estufa, poluição dos corpos hídricos e lençol freático, aquecimento global, poluição do ar, degradação da qualidade e acidificação do solo. Assim, apesar de melhorarem os níveis de produtividade de alimentos, os fertilizantes minerais resultam, simultaneamente, em uma cascata de impactos ambientais (CONANT, BERDANIER e GRACE, 2013; GU et al., 2015).

Ainda, por processos de lixiviação e escoamento, o excesso dos fertilizantes aplicado no solo pode chegar aos rios e provocar a eutrofização do ambiente (CONANT, BERDANIER e GRACE, 2013; GU et al., 2015). Segundo Gu et al., (2017), do total de nitrogênio aplicado para a produção de alimento na China entre 2003 a 2010, foi verificado que não chegou a 40% o total e nitrogênio absorvido por planta. Como uma alternativa para redução do impacto ambiental e busca pela sustentabilidade na agricultura, Li et., al (2018) constatou que seria necessária uma redução da taxa de uso dos fertilizantes químicos.

Uma opção para a redução do uso dos fertilizantes minerais poderia ser o uso dos fertilizantes orgânicos. Segundo o art. 2.º, III, b do Decreto nº 4.954: 2004 fertilizantes orgânicos são definidos como:

Produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais.

O uso de fertilizantes orgânicos aumenta a biodiversidade do solo, com o surgimento de microrganismos e fungos, contribuindo para o crescimento das plantas. Além disso, em longo prazo, existe um aumento da produtividade do solo, diferente do que acontece com os fertilizantes convencionais, inorgânicos. Segundo Adnan et al., (2017), uma das causas do uso em excesso dos fertilizantes químicos é a escolha dos produtores, que não optam pelo uso orgânico, pois temem a perda dos rendimentos na produção.

Uma pesquisa realizada em 2016 com produtores de maçã na China foi conduzida com o objetivo de avaliar quais seriam os parâmetros que afetariam a escolha entre o uso de fertilizantes químicos e orgânicos. Para analisar o que impulsionaria a decisão, foram elaborados questionários semi-estruturados. Na seção de rendimento, mais de 90% dos entrevistados informaram que acreditavam que a substituição do fertilizante químico comprometeria o rendimento de suas fazendas (WANG et al., 2018).

Watteau e Villemin (2011) afirmaram que os fertilizantes orgânicos podem ser uma alternativa para melhorar e reconstruir as propriedades físicas do solo, aumentar produções sem colocar a qualidade ou a segurança das culturas em risco. Porém, devem ser mostrados aos agricultores os efeitos positivos da substituição de fertilizantes químicos por orgânicos e o uso correto dos mesmos.

2.4 ECONOMIA CIRCULAR E NEXUS

Apesar do conceito abrangente e ainda pouco difundido, a Economia Circular (EC) é uma ferramenta orientadora que busca preservar e utilizar os estoques dos recursos disponíveis. A recuperação destes recursos, incluindo a utilização de resíduos, pode promover a EC, mas seria necessária uma avaliação holística abrangendo todas as dimensões ambiental, social e econômica para explicar toda essa dinâmica (IACOVIDOU et al., 2017).

Nas últimas décadas ficou mais evidente que o modelo econômico linear consumista se tornou insustentável e devendo assim ser substituído. No modelo linear de organização econômica atual, os materiais empregados nos produtos percorrem

uma via de mão única. Extraem-se os recursos naturais, converte-os em bens, distribui-os e depois os mesmos são rejeitados. É o modelo "extrair-produzir-descartar" (ASHBY, 2016).

Neste caminho, seguem-se passos largos para a exaustão das matérias-primas. Com menos recursos disponíveis, custos cada vez mais elevados de extração, maior demanda com nações cada vez mais populosas, economias de rápida evolução, este modelo traz instabilidade e insegurança em relação ao futuro. Como o uso adequado dos recursos não é o que orienta o processo produtivo e econômico, o cenário fica cada vez mais preocupante (CAREDDU, 2019).

Desta forma, a EC vem sendo vista como uma base para mudança de paradigma, desassociando crescimento econômico e o aumento do consumo dos recursos, uma relação, até então, inexorável. Os sistemas circulares são baseados em "recuperar-reutilizar-reciclar", reduzindo e evitando o grande acúmulo de resíduos, perdas de energia e exploração excessiva de recursos (NOVOTNY, 2013; CAREDDU, 2019).

Participando do movimento mundial neste novo conceito estratégico, a Fundação Ellen MacArthur, constituída em 2010, com o objetivo de incentivar a transição para essa nova economia vem inserindo a EC na agenda de tomadores de decisão de grandes empresas, governos e academia (BORSCHIVER e TAVARES, 2018). Segundo a Fundação, diferentemente do que ocorre na economia linear, na EC os resíduos são insumos para a produção de novos produtos.

O modelo econômico circular está sendo sugerido como uma solução prática para a crescente crise de recursos do planeta. As reservas de recursos estratégicos de alguns metais e minerais estão diminuindo, enquanto o custo da exploração e extração de materiais está se elevando. A reciclagem se mostra como a estratégia mais frequente nos diferentes conceitos discutidos para a EC (KIRCHHERR, REIKE e HEKKERT, 2017).

Porém, na EC abordar somente reciclagem não é suficiente, pois é necessário trabalhar para que a qualidade dos materiais se mantenha em relação ao seu estado original ou até mesmo, que seja possível agregar valor nesta etapa. O termo utilizado se chama upcycle ou "superciclagem", na economia circular "tropicalizada".

A superciclagem faz parte da EC, na qual os materiais são reutilizados no mesmo ciclo produtivo ou em cadeia de valor ainda mais elevada (KIRCHHERR, REIKE e HEKKERT, 2017).

Desta forma, a idéia é ir além de retornar continuamente um nutriente para um novo ciclo, como exemplo os biodegradáveis. É poder inseri-lo novamente no ambiente ou processo com valor agregado, no máximo de vezes possível e com menor custo do que extraí-lo de materiais virgens. Os materiais biodegradáveis podem ser compostados e devolvidos à biosfera. Portanto, uma solução circular que poderia ser implementada é a transformação dos resíduos orgânicos em fertilizante (CAREDDU, 2019).

O uso cíclico da casca do cacau, retornando-as como aditivo ao solo, com a reciclagem dos nutrientes presentes, vai ao encontro ao conceito da EC, transformando este resíduo tão expressivo da cadeia do beneficiamento do cacau em valor. Ainda, seria um método de minimizar os impactos negativos que os resíduos promovem, reinserindo materiais que teriam como destino o descarte e fornecendo uma oportunidade econômica local, se mostrando clara a atividade upcycling. Na conclusão do seu estudo, Cortés et al. (2020) apresentou que a compostagem era uma forma adequada para obter produtos comerciais a partir dos resíduos de acordo com os princípios da Economia Circular.

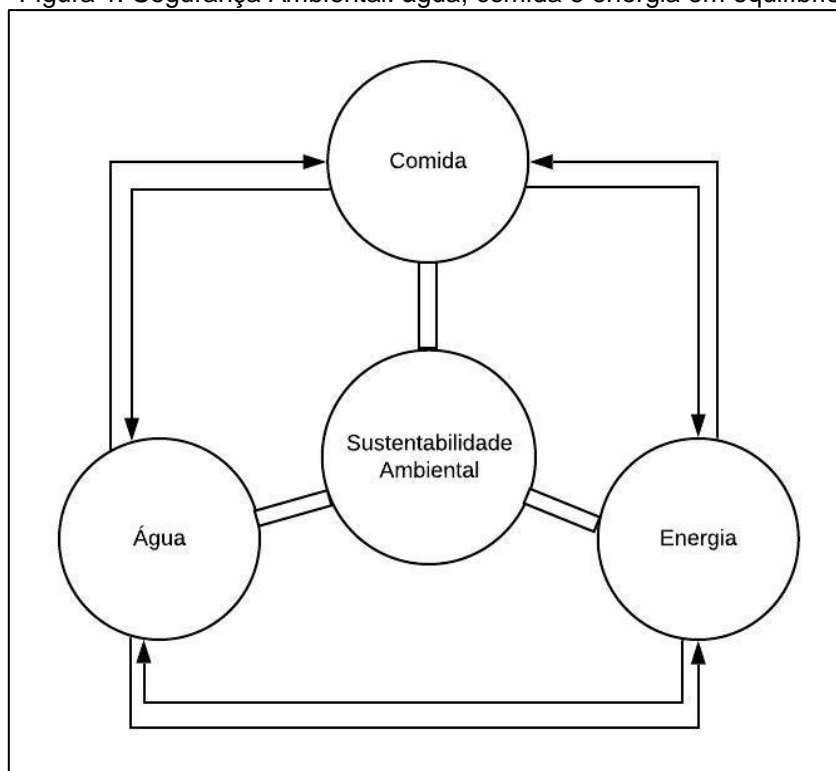
Mas os conceitos da EC necessitam caminhar em conjunto com uma série de mudanças e estratégias com o foco em implementar os objetivos do desenvolvimento sustentável. Assim, a abordagem Nexus se idealiza para atingir um processo integrado, examinando simultaneamente as interações entre vários setores (por exemplo, alimentos, saúde, água e energia).

A estrutura integrada de Nexus engloba o equilíbrio entre a oferta de recursos naturais e a demanda humana sobre o meio ambiente, provendo segurança da subsistência ambiental. E assim, reorganizando a cadeia de resíduos como recursos valorizados, em vez de externalidades negativas de produção, se reduzem as pegadas ambientais e ineficiência econômica, originando meios para se alcançar a subsistência (BIGGS et al., 2015).

Para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável é necessária a interação de todas as partes relevantes para formulação de políticas de governança, com uma visão holística da heterogeneidade dos meios e recursos, com todos os possíveis impactos ambientais, econômicos e sociais a serem explorados (HANNIBAL e VEDLITZ, 2018).

Os estudos Nexus englobam uma série de problemáticas, conexões e interações de recursos, nos principais eixos comida, água e energia, conforme apresentado na Figura 1 a seguir. Como premissa central, qualquer alteração de um dos eixos, os outros dois serão afetados. O desperdício de recursos é fator central das ineficiências e gestão inadequada abordadas no Nexus e deve ser trabalhado. A exploração de novos recursos também deve ser limitada. Considerando o atual crescimento populacional, as demandas por água e comida deverão aumentar em 60% até 2050 (LIN et, al, 2018; HANNIBAL e VEDLITZ, 2018).

Figura 1: Segurança Ambiental: água, comida e energia em equilíbrio



Fonte: adaptado de BIGGS et al., 2015.

A abordagem Nexus trabalha o equilíbrio na oferta de recursos naturais e a demanda do homem sobre o meio ambiente, ou seja, a segurança ambiental para subsistência humana. Os sistemas econômicos devem crescer mantendo os

sistemas ambientais funcionando adequadamente, sem comprometer as gerações futuras. Ainda, considerando os possíveis impactos que a população poderá sofrer com as mudanças climáticas e a recorrências de eventos extremos, como ondas de calor e chuvas volumosas, o novo modelo de desenvolvimento traz maior estabilidade e segurança em relação ao futuro (LIN et, al, 2018; BIGGS et al., 2015).

Na cacauicultura, os agricultores dependem de água, que depende de energia para chegar às plantações. Além disso, dependem de fertilizantes minerais, que consomem energia para serem produzidos e adicionados nos cultivos. Ineficiências no gerenciamento de água e energia podem gerar produções ineficientes, desperdício de água e excesso de fertilizantes (HANNIBAL e VEDLITZ, 2018).

O sistema de compostagem vem sendo desenvolvido na busca pela melhoria econômica e mitigação dos impactos ambientais e mesmo que as técnicas de compostagem ainda estejam em processo de aprimoramento, este método de manejo de resíduos orgânicos interage com os princípios Nexus, pois reutiliza resíduo e gera produto com valor agregado. Apesar das vantagens, os estudos econômicos e ambientais sobre este método ainda são escassos na literatura (LIN et, al, 2018).

2.5 ASPECTOS GERAIS DA PRODUÇÃO DO CACAU

O cacauero (*Theobroma cacao* L.) é uma planta pertencente à família da Malvaceae, sendo natural das florestas tropicais da América do Sul e Central. O fruto do cacauero adquiriu grande espaço e importância econômica no mundo devido à expansão do consumo de chocolate. Cada fruto contém entre 20 a 40 sementes com 2 a 3 cm de comprimento envoltas numa polpa esbranquiçada levemente doce e ácida (VALLE, 2012; ALVERSON, 1999) (Figura 2).

Figura 2: Fruto do cacaveiro apresentando suas sementes envoltas da polpa



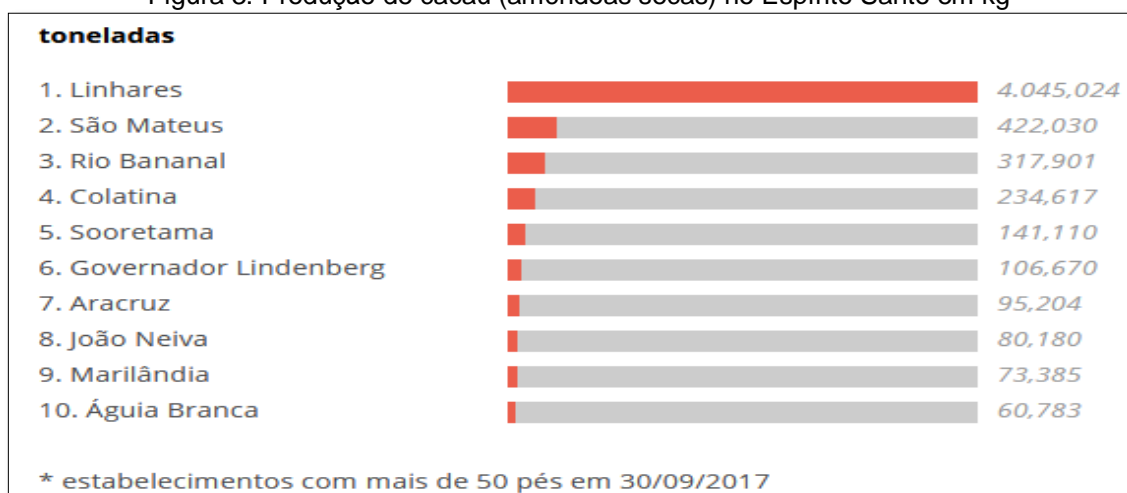
Fonte: Elaboração própria do autor.

Entretanto, o cacaveiro pode ser acometido por várias doenças que implicam nos volume e qualidade da produção de amêndoas. A podridão-parda e a vassoura-de-bruxa são doenças comuns encontradas em vários países e causam perdas imensas. O Brasil, até os anos 80, ocupou a segunda maior produção mundial de cacau, porém com o avanço das doenças, muitas plantações foram dizimadas (DIAS et al., 2001, DANTAS NETO et al., 2005; VALLE, 2012).

Segundo informações da ICCO, os maiores produtores mundiais de amêndoas de cacau em 2018 foram: Costa do Marfim, Gana e Equador. O Brasil ocupou a sétima posição. A produção de amêndoas de cacau no Brasil durante a temporada 2018/2019 foi de mais de 190 mil toneladas e a produção total mundial chegou a mais de 4,7 milhões de toneladas (ICCO, 2019).

No estado do Espírito Santo se concentra a terceira maior produção do Brasil e o município de Linhares é o maior produtor de cacau do estado. A cacauicultura está entre as principais atividades agrícolas do município, dominando a maior área de plantio de lavoura permanente da região, com cerca de 22.568ha. Linhares foi responsável por 90% da produção de cacau do Espírito Santo, segundo dados de 2017 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), conforme visualizado na Figura 3.

Figura 3: Produção de cacau (amêndoas secas) no Espírito Santo em kg



Fonte: IBGE, 2017.

2.6 RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DO CACAU

As atividades agrícolas produzem uma grande quantidade de resíduos diversos, gerados nos processos de podas e colheitas, sendo conhecidos como resíduos agrícolas e agroindustriais. A cadeia do cacau é uma fonte geradora de resíduos em grandes quantidades. As cascas, advindas da quebra do fruto para retirada das sementes, representam a maioria deste volume, cerca de 80% do peso fresco da fruta. O restante dos resíduos, a polpa e pedúnculo, são de volume menor frente ao montante das cascas. As amêndoas, matéria-prima do chocolate, representam aproximadamente 20% do fruto (VALLE, 2012).

Calcula-se que a cada uma tonelada de sementes secas são geradas dez toneladas de cascas frescas (MANSUR et al., 2014; GONZALES et al., 2013). Considerando a produção no Brasil na temporada 2018/2019, segundo a International Cocoa Organization, foram geradas quase dois milhões de toneladas de cascas de cacau no país (ICCO, 2019).

A casca comumente não é aproveitada. Geralmente este resíduo é abandonado nas proximidades das áreas de quebra do fruto ou dentro das áreas do cacauzeiro, formando os chamados "casqueiros", como mostrado na Figura 4 (MANSUR et al., 2014; GONZALES et al., 2013).

Figura 4: Casqueiros deixados na plantação após colheita do cacau



Fonte: Disponível em <<https://globoplay.globo.com/v/4266178/>>.2015. Acesso em 27 de junho de 2019.

Esta prática de "abandono" das cascas é comum no Brasil e também em vários outros países, incluindo os maiores produtores mundiais de amêndoas de cacau. Na Indonésia, onde anualmente são geradas milhares de toneladas de cascas, se adota a prática de dispor as mesmas na área do plantio (SYAMSIRO, et al., 2012; ICCO, 2019).

No Peru, os resíduos agrícolas do beneficiamento das amêndoas do cacau também são descartados. No sul da Bahia, onde a área plantada de cultivo do cacau ultrapassa 400 mil hectares, as cascas do fruto ficam depositadas no mesmo local da plantação (CRUZ et al., 2012; SANTOS, 2013). Em Gana, segundo maior produtor de cacau do mundo, com mais de 1,6 milhões de hectares cultivados, o volume de cascas é tão expressivo (milhares de toneladas) que além do abandono nas plantações, as cascas são queimadas ou aterradas, buscando reduções de volumes (KAMP e ØSTERGÅRD, 2016).

2.7 PROBLEMÁTICAS DO DESCARTE INADEQUADO DAS CASCAS

Este método do abandono das cascas é adotado pela maioria dos cacauicultores no mundo, gerando problemas sociais, ambientais e econômicos. As pilhas de cascas, além de ocuparem imensas áreas tornando-as ociosas, se decompõem lentamente

e sem tratamento adequado, geram odores pútridos. Além disso, o não aproveitamento das cascas do cacau representa perda de energia e matéria prima, pois elas possuem vários componentes interessantes e com diversas utilizações industriais (VÁSQUEZ et al., 2019; MANSUR et al., 2014; GONZALES et al., 2013; PELIZER, PONTIERI e MORAES, 2007; CRUZ et al., 2012).

Os casqueiros interferem negativamente na paisagem local, provocam a poluição dos rios e do solo devido à concentração elevada de matéria orgânica e ainda formam um microclima favorável ao desenvolvimento dos microorganismos, que podem causar doenças no próprio cacauero (VÁSQUEZ et al., 2019).

Segundo Sodré (2017), as pilhas de cascas dispostas no solo são fontes de transmissão de surtos epidêmicos de diversas doenças nos cacaueros, assim como as cascas jogadas diretamente na plantação, que entram em contato com o solo, maior fonte hospedeira de inóculo de doenças. Existem pesquisas desde a década de 80 que demonstram que os "casqueiros" constituem-se como fonte de inóculo da doença podridão-parda, sendo imprescindíveis as aspersões de fungicidas extras na superfície dos casqueiros que ficam depositados nas plantações (SODRÉ, 2017; CEPEC, 1989).

Entretanto, ainda são necessários estudos aplicados que foquem nos métodos de aproveitamento, pois atualmente ainda é considerado muito pequeno o índice de uso das cascas do cacau frente ao ritmo de geração. De acordo com Jayeola et al., (2018), muitos problemas de gestão de resíduos poderiam ser resolvidos através de estudos adicionais sobre tecnologia da bioconversão de cascas. Assim, em busca do aproveitamento integral do cacau, novas tecnologias devem ser estimuladas (GONZALES et al., 2013).

2.8 ABORDAGENS BIOTECNOLÓGICAS PARA APROVEITAMENTO DAS CASCAS

Diversos estudos no Brasil e no mundo, como o de Batista (2014), Acosta et al., (2018), Adjin-Tetteh et al., (2018), Ofori-Boateng e Lee (2013), Syamsiro et al., (2012), Vriesmann, Teófilo e Petkowicz (2012), Campos-Vega, Nieto-Figueroa e

Oomah (2018), Figueiredo et al., (2018), dentre outros, foram efetuados a fim de buscarem utilizações para as cascas do cacau, reduzindo os volumes resíduos que ficam amontoados e abandonados nas plantações e também trazendo possíveis soluções para os diversos problemas sociais e ambientais que a falta do gerenciamento correto deste resíduo provoca.

Batista (2014), que tinha como objetivo verificar as rotas tecnológicas mais promissoras para o aproveitamento energético dos resíduos da casca do cacau, coco e café, avaliou que a rota mais adequada para o aproveitamento energético da casca do cacau foi a de biodigestão anaeróbia, devido a alta biodegradabilidade orgânica do resíduo e do teor de umidade presente na casca. Por ser considerado um resíduo perecível e com teor de celulose baixo não foi favorável o aproveitamento das cascas pelas rotas da pirólise e combustão direta, sendo uma das possíveis produções viáveis o biofertilizante.

Acosta et al., (2018) também avaliaram o potencial de bioenergia do resíduo de cacau via digestão anaeróbia. O estudo de caso foi desenvolvido na cidade de Cantón Balao, no Equador. Os resultados foram comparados com resíduos agrícolas para avaliar a qualidade e o rendimento da biomassa do cacau como uma nova fonte potencial de produção de energia e encontraram que até 50% da matéria orgânica dos resíduos de cacau foi transformada em biogás com 60% de metano, valores comparáveis com as biomassas mais difundidas de outros resíduos. E assim concluíram que os resíduos do cacau também podem ser fontes potenciais para geração de biogás.

Na região de Ashanti, em Gana, Adjin-Tetteh et al. (2018) investigaram a conversão térmica das cascas do cacau em bio-óleo, via pirólise rápida, e, diferentemente de Batista (2014), constataram que o aproveitamento energético do resíduo pela rota pirólise foi uma boa alternativa de conversão, gerando um produto com valor agregado a partir de métodos sustentáveis de recuperação.

As cascas de cacau também foram testadas como catalisadoras no processo de transesterificação para a produção do bio-óleo de soja. Ofori-Boateng e Lee (2013) encontraram nas cascas alto percentual de potássio, elemento que provou possuir boa atividade catalítica. Constataram que o uso do resíduo do cacau como

catalisador pode produzir biodiesel com alto rendimento, com desempenho no motor semelhante ao diesel do petróleo, com origem natural e mais barata.

Pesquisadores da Indonésia investigaram experimentalmente o uso da casca do cacau como fonte de energia renovável fazendo a combustão destes resíduos em uma câmara. A Indonésia é o terceiro maior produtor de amêndoas de cacau do mundo e anualmente gera mais de um milhão de toneladas de cascas, que em sua maioria ficam dispostas na área do plantio. Os resultados da pesquisa mostraram que as cascas têm um alto valor de aquecimento de 17,0 MJ/kg e o aumento do percentual de cascas nos briquetes carbonizado aumentou o tempo de queima do mesmo como combustível (SYAMSIRO, et al., 2012).

Atualmente, uma boa parte da biomassa utilizada na formulação de produtos químicos tem sido proveniente da biomassa residual devido ao seu custo mais baixo do que a biomassa virgem. Mansur et al., (2014) propuseram convergir cascas de cacau por pirólise e reação catalítica para produzir produtos químicos, e obtiveram vários compostos úteis derivados da biomassa do cacau, como cetonas, ácidos carboxílicos benzenos e fenóis.

Vriesmann, Teófilo e Petkowicz (2012) extraíram e caracterizaram a pectina da casca do cacau, um polissacarídeo natural amplamente utilizado como aditivo alimentar, definindo como um método alternativo do processamento das cascas dos cacauzeiros, sendo uma opção de destino para o grande volume de resíduos gerados nas plantações.

Os compostos de cascas de cacau podem ter diversas aplicações na indústria de alimento, valorizando estes resíduos. Segundo Campos-Vega, Nieto-Figueroa e Oomah (2018), os resíduos da casca do cacau podem fazer parte na produção de fibra dietética, pectinas, antioxidantes e minerais, com alto potencial benéfico para a saúde.

Outra utilização para os resíduos de cacau seria para alimentação animal. Um estudo realizado em Florestal, Minas Gerais, no qual se avaliou o efeito da substituição do feno de capim tifton 85 por inclusões crescentes da casca do cacau secas e trituradas (0, 8, 16, 24% da matéria seca) em dietas de novilhas leiteiras,

constatou que a casca do cacau é altamente fibrosa e que pode ser parte integrante na alimentação de bovinos em até 16% em substituição ao feno tifton. Maiores concentrações implicaram na redução da digestibilidade dos nutrientes (FIGUEIREDO, et al., 2018).

Porém, apesar de serem numerosos os estudos e possibilidades de aproveitamento da casca do cacau, pouco tem sido feito, seja por parte dos próprios produtores e/ou pelas autoridades públicas. Cabe ressaltar que foram raros os estudos de viabilidade econômica da aplicabilidade das propostas da maioria dos autores que se propuseram a investigar soluções biotecnológicas para os resíduos do cacau.

É possível constatar que os resíduos do beneficiamento do cacau são negligenciados por serem um "problema" dos produtores de cacau, um problema que fica na colheita. A maior parte do cacau é produzida por pequenos agricultores, sem condições técnicas e financeiras para investirem em tecnologias complexas e inviáveis economicamente ou com retornos financeiros ainda não estudados. Na Indonésia, os pequenos proprietários produzem cerca de 96% da safra total anual (OTHMIHALY, INGRAM, e VON CRAMON-TAUBADEL, 2019).

Ainda, os sete maiores produtores mundiais de cacau foram países classificados como em desenvolvimento ou subdesenvolvidos de acordo com os resultados de Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 2018. O IDH é uma medida comparativa utilizada para classificar os países em desenvolvidos (desenvolvimento humano muito alto), em desenvolvimento (desenvolvimento humano médio e alto) e subdesenvolvidos (desenvolvimento humano baixo) (ONU, 2018).

O IDH utiliza métodos de cálculo que inclui índices de educação, Produto Interno Bruto, Paridade do Poder de Compra per capita e expectativa de vida. No ranking 2018 o IDH compilado pela Organização das Nações Unidas (ONU) traz os dois países africanos, que detém juntos 50% da produção mundial de cacau, como subdesenvolvidos (ONU, 2018).

Assim, seria necessária uma metodologia de aproveitamento das cascas de cacau mais acessível, aplicada nas propriedades rurais e de fácil gestão. As cascas possuem alta disponibilidade e baixo custo de aquisição, sendo atraentes para uso

in loco, principalmente. Alguns autores estudaram o método da compostagem orgânica, concluindo como uma das ferramentas e soluções mais baratas e atraentes de aproveitamento desta biomassa, possibilitando minimizar o acúmulo desses grandes volumes de resíduos no solo.

2.8.1 **Uso da casca do cacau como fertilizante**

O alto custo dos fertilizantes comerciais e a crescente preocupação com a qualidade e sustentabilidade ambiental fazem o uso da casca de cacau como fertilizante na agricultura uma alternativa atrativa. Os autores Vriesmann, Amboni e Petkowicz (2011) e Mansur et al., 2014 avaliaram a composição química da casca do cacau e observaram que além de ser uma fonte de nutrientes minerais, também possui moléculas orgânicas em altas concentrações favorecendo a entrada de matéria orgânica no solo quando for adicionado aos sistemas de cultivos.

Um estudo conduzido na Faculdade de Agricultura de Fazendas Culturais, Kumasi (Gana), mostrou que as cinzas da casca do cacau poderiam ser aplicadas ao solo como fertilizante, sendo ótimas fontes de potássio e podendo ser utilizadas como substitutas aos fertilizantes comerciais (ADU-DAPAAH, COBBINA e ASARE, 1994).

Chepote (2003) em sua pesquisa, no município de Valença (Bahia), concluiu que a adubação utilizando o composto da casca do cacau promoveu aumento expressivo na produção do cacaueiro e nos teores de Ca, Mg, C e Mn, no Latossolo Vermelho-Amarelo. O composto foi preparado utilizando a mistura de cascas de cacau trituradas e esterco de curral (1/3 do volume correspondente as cascas). A adubação orgânica ainda permitiu a redução do emprego de fertilizantes minerais. A compostagem de casqueiros de cacau foi utilizada como uma fonte alternativa de fertilizantes e contribuiu concomitantemente para a inativação do inóculo do agente causador da podridão-parda (CHEPOTE et al., 1990).

Sodré et al., (2012) consideraram fácil a produção e aplicação do biofertilizante da casca do fruto do cacaueiro, sendo possível usá-lo como fonte de potássio na produção de mudas. Chepote et al. (2013) apresentaram que a aplicação de

composto de casca de cacau mais esterco promoveu crescimento do diâmetro do caule do próprio cacauzeiro, além de um aumento significativo nas concentrações de fósforo, magnésio e zinco na folha do cacauzeiro.

Santos (2013), em sua tese, que tinha por objetivo identificar prováveis aplicações biotecnológicas do extrato da casca do cacau assegurando o uso para humanos e o meio ambiente, preparou o composto da casca do fruto do cacauzeiro em uma fazenda experimental da CEPLAC (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira) em Iheus, Bahia. A autora defendeu que seria possível utilizar o composto proveniente das cascas do cacau como fonte de potássio, aplicando na produção de mudas e adubação dos cacauzeiros, gerando valorização dos resíduos gerados a aumento na produção dos frutos.

Deste modo, o uso da biomassa do cacau como adubo orgânico poderia promover a sustentabilidade da cadeia de produção do cacau. Além disso, considerando o que a produção mundial de cacau é sustentada por pequenas propriedades, a exploração destes resíduos se tornaria uma renda alternativa para milhares de agricultores (TOTHMIHALY, INGRAM e CRAMON-TAUBADEL, 2019).

Finalmente, tendo as cascas de cacau como resíduos orgânicos e biodegradáveis, com quantidades significativas de macro e micronutrientes, a alternativa do sistema de compostagem se mostra como uma opção atrativa e viável para fazer a recuperação dos resíduos do cacau, onde pode ser possível a transformação dos restos da fruta em um fertilizante orgânico. A inserção deste composto ao solo poderia reduzir a dependência externa de nutrientes (RODRIGUES et al., 2011). Lim, Lee e Wu (2016) descreveram em sua revisão que a compostagem pode ser uma opção promissora para o gerenciamento dos resíduos orgânicos e por tender a ser mais econômica, esse sistema atenderia especialmente os países em desenvolvimento.

Os autores Pelegrín et., al (2018) produziram um composto orgânico de biomassa da planta invasora cana-do-reino e de lodo de esgoto urbano na usina de compostagem da Universidade Miguel Hernandez Orihuela na Espanha. Os mesmos concluíram que a compostagem foi um método de estabilização dos resíduos

orgânicos e que os produtos obtidos ao fim da maturação do processo possuíam valor comercial, viabilizando o processo de compostagem.

Avaliando os estudos já realizados pelos autores Chepote (2003), Chepote et al. (2013) e Santos (2013), envolvendo a compostagem das cascas do cacau, foi perceptível que nenhum dos mesmos abordou diretamente e detalhadamente o procedimento. Ainda, se mostrou ainda necessário o levantamento do valor nutricional e econômico do composto orgânico produzido com a casca do cacau. Seria necessário desenvolver a metodologia simplificada da compostagem com foco em agregar valor ao resíduo diretamente nas propriedades cacauceiras.

Com o retorno do resíduo do cacau como um produto, como uma matéria-prima, um insumo agrícola, ocorreria à utilização do recurso disponível, fechando um circuito e promovendo diversos benefícios em cadeia. Neste contexto, as ideias de Economia Circular e Nexus poderiam ser aplicadas como ferramentas orientadoras que abordam o uso cíclico dos recursos (MORAGA et al., 2019; SINGH e ORDOÑEZ, 2016).

Além disso, a compostagem tem a capacidade de reduzir o volume e a massa dos resíduos pelo processo de decomposição da matéria orgânica. Os autores Sánchez-Monedero et al., (2002) e Chefetz et al., (1996) descreveram que a capacidade de redução é de aproximadamente 50% do volume do material em relação a matéria prima e o composto final. Essa característica seria uma grande vantagem aos resíduos de cacau, visto que são muito volumosos e ocupam grandes áreas de plantio.

2.9 COMPOSTAGEM ORGÂNICA

A compostagem nada mais é que um processo biológico de decomposição de materiais orgânicos em condições aeróbias, comumente. Esta técnica acelera a atividade natural de degradação da matéria orgânica por microrganismos transformando-a em um composto fértil e estável, rico em húmus e nutrientes. É uma forma de devolver ao ambiente o que ele nos forneceu, lançando-os de volta ao ciclo

natural e enriquecendo o solo para a agricultura (MMA, 2019; MAKAN, ASSOBHEI e MOUNTADAR, 2014; WATTEAU e VILLEMEN, 2011).

Resíduos orgânicos são compostos carbônicos suscetíveis a degradação por microrganismos. Esta decomposição ocorre de forma cíclica e natural no ambiente, mas se ocorrer de forma desequilibrada pode provocar diversos fatores adversos, como: emissão de gases poluentes como o metano, acúmulo de pragas e insetos, poluição dos cursos d'água com o chorume. A compostagem é uma forma eficiente de biodegradação de forma controlada (PEREIRA NETO, 2007).

O composto orgânico retornado ao solo pode trazer diversos benefícios, apesar de mostrar resultados menos imediatistas em relação aos fertilizantes minerais, ao longo prazo, o solo tenderá a ser mais produtivo. A matéria orgânica presente em maiores concentrações aumenta a capacidade de retenção de água no solo, favorecendo a fixação dos nutrientes e menores perdas por lixiviação, que é a causa de vários outros problemas, como a contaminação das águas dos receptores hídricos e erosão (DINIZ FILHO et al., 2007).

São numerosos os benefícios da fertilização orgânica sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Segundo Nyamangara et al., 2003 utilizar os fertilizantes orgânicos produzidos pelo procedimento da compostagem é a chave da agricultura sustentável. Adicionar matéria orgânica ao solo é um dos meios de buscar um solo economicamente produtivo, desenvolvendo um sistema agrícola seguro e satisfatório (RATHOD et al., 2013; TEJADA, HERNANDEZ e GARCIA, 2009).

O maior desempenho das plantações em kg/ha devido ao solo mais produtivo poderia contribuir com maior rentabilidade aos produtores e também reduzir as taxas de desmatamento das florestas. Uma pesquisa com produtores de cacau na Indonésia constatou a baixa eficiência produtiva das plantações, que se concentram, em sua maioria, em pequenos produtores. Assim, o aumento na produção por área plantada reduziria as taxas de desmatamento das florestas no país, que atualmente é uma das maiores do mundo (TOTHMIHALY, INGRAM e VON CRAMON-TAUBADEL, 2019).

Além disso, o aumento da nutrição das plantas, com maior eficiência produtiva, ajudaria na redução do custo de compra de fertilizantes sintéticos, mantendo o cultivo mais sustentável com matéria prima facilmente disponível. Os fertilizantes inorgânicos são caros e muitas vezes escassos para os pequenos agricultores, o que justificaria o interesse em utilizar os resíduos como fonte de nutrientes para as plantações (MOYIN-JESU, 2007).

O composto afeta positivamente a estrutura do solo, melhorando sua porosidade. Com a porosidade, as raízes ganham maior aeração e a absorção de nutrientes ocorre com maior qualidade. O composto orgânico estabilizado possui pH geralmente alcalino, isso favorece um aumento do pH do solo corrigindo a acidez, beneficiando assim o desenvolvimento das comunidades microbianas benéficas. Geralmente o produto final da compostagem possui pH entre 7,5 e 9,0, o que é um grande benefício, pois pode atuar ainda como corretor de solos ácidos (TUOMELA, 2000; LIN, 2018; SANT'ANNA, 2001; FOURTI, 2013).

A qualidade e características do composto orgânico produzido também estão relacionadas com presença de nutrientes, com a quantidade de cada um deles, com os tipos de matérias primas e com os fatores que afetam o processo da compostagem. Os nutrientes de origem orgânica podem ser utilizados em qualquer cultura, juntamente com outros nutrientes minerais ou não (SANT'ANNA, 2001).

Um estudo realizado com pequenos produtores rurais da Etiópia concluiu que o uso integrado de fertilizantes minerais e orgânicos foi a opção mais sustentável para alavancar a produção agrícola e a matéria orgânica do solo e em mais de 70% dos produtores entrevistados neste estudo perceberam que o uso dos resíduos agrícolas gerados em seus cultivos foi a opção mais viável para melhorar a fertilidade do solo (NIGUSSIE, KUYPER e NEERGAARD, 2015).

Márquez-Hernández, et al. (2013) conduziram um projeto em Santomera, no sudeste da Espanha, fazendo o uso combinado de composto orgânico (esterco animal e resíduos da plantação de oliveira) e fertilização inorgânica convencional no cultivo de tomate. Em suas abordagens foi possível reduzir a fertilização inorgânica em cerca de 40% com a combinação dos fertilizantes orgânicos e inorgânicos. Além

disso, trouxe uma biomassa microbiana positiva ao solo, melhorando suas características.

Os autores Márquez-Hernández, et al. (2013) também descreveram que o rendimento dos frutos em qualidade e quantidade foi notável. Segundo eles, o composto pode ser empregado em várias culturas, dependendo da sua qualidade em nutrientes. Composto rico em nutrientes pode ser usado na horticultura e cultivos em geral, inclusive jardinagem em casa. Um composto com qualidade média pode ser aplicado em paisagismos e o de baixa qualidade como cobertura de aterro e projetos de reflorestamento.

Geralmente o sistema de compostagem é visto como de baixo custo devido à baixa complexidade técnica (GALGANI, VAN DER VOET e KOREVAAR, 2014). Porém, segundo os autores Rynk (2001) e Blumenstein et al (2012), a análise econômica em um sistema de compostagem é difícil de ser determinada, pois engloba muitos parâmetros: capital, trabalho, biomassa, processamento, energia, custos de manutenção, volume de produção, receitas de composto, dentre outros itens a serem calculados.

Karak, Bhagat e Bhattacharyya (2012) descreveram que em alguns países europeus, ao decorrer de 20 anos contados a partir de 1995, ocorreu um aumento significativo, em mais de 50%, da taxa de compostagem e ainda estavam em crescimento o número de instalações de novas usinas de compostagem. Este fato pode estar associado ao baixo custo de investimento no processo comparado com outras tecnologias e a capacidade de trabalhar com os recursos de forma circular, evitando custos e desperdícios (LIM, LEE e WU 2016; CURRAN e WILLIAMS, 2012).

2.9.1 Principais parâmetros envolvidos no processo da compostagem

O processo da compostagem mais simplificado e de baixo custo ocorre em pátios onde a matéria orgânica é disposta em montes em formato de pilhas ou leiras. Este último formato é uma configuração bem usual (LIN et al., 2018). As leiras nas

dimensões usuais de 1,5 metros de altura por 2,0 metros de largura possuem as melhores configurações para manter um clima adequado aos microrganismos decompositores. O comprimento das leiras é em função da estrutura física do pátio da compostagem (FORMENTINI et al., 2014).

Os microrganismos são os responsáveis por degradarem os resíduos orgânicos durante o processo de compostagem e existem diversos fatores que devem ser acompanhados para fornecer um ambiente propício aos mesmos. Os principais fatores são: temperatura, relação carbono/nitrogênio, umidade, tamanho das partículas e aeração (LÓPEZ-GONZÁLEZ et al., 2015; LIM, LEE e WU, 2016; SHAFAWATI e SIDDIQUEE, 2013).

Estes fatores exercem em conjunto o equilíbrio da atividade biológica. Ao decorrer do processo de compostagem, as populações complexas de diversos grupos de microrganismos se proliferam, como bactérias e fungos, que vão se sucedendo de acordo com as características do meio. Ocorrem diversas reações físicas, químicas e biológicas durante a compostagem da matéria orgânica dos resíduos sólidos. Porém todas as atividades microbiológicas e reações ainda são pouco conhecidas (SAID-PULLICINO, ERRIQUENS e GIGLIOTTI, 2007; ADAMS e FROSTICK, 2008).

2.9.1.1 Temperatura

A temperatura é resultado da atividade biológica. É um fator importante no processo de compostagem, principalmente no que diz respeito à rapidez da biodegradação, à eliminação de patógenos, sanitização de resíduos orgânicos e eliminação das sementes das ervas daninhas. A temperatura passa a exercer influência a partir do primeiro dia da confecção da leira, sendo possível perceber o aquecimento da massa. Os limites da temperatura representam os intervalos ótimos para cada classe de microrganismo. A degradação dos resíduos no composto prossegue geralmente em três fases: A primeira fase mesofílica, a segunda fase conhecida como termofílica e as fases finais de resfriamento e maturação (ONWOSI, 2017).

No início, no composto cru e imaturo, vão predominar as bactérias mesofílicas que promovem o desprendimento de calor, água e gás carbônico da matéria orgânica. Esta etapa tem duração média de dois a cinco dias e predominam temperaturas moderadas, até cerca de 40 °C., Segundo os autores Jurado et al. (2014) e Faverial e Sierra (2014), esta fase também pode durar poucas horas ou vários dias devido as variações das matérias primas, dos tipos de bactérias predominantes e da caracterísitca da biodegradailidade de cada nutriente disponível.

Com o aumento da temperatura na leira, ocorre a morte dos microrganismos mesofílicos e a multiplicação dos termofílicos. Nesta etapa ocorrem reações de oxidação mais intensas e as temperaturas podem chegar até a 75°C, mas a faixa comum é entre 45 a 65°C. A fase termofílica pode ter a duração de poucos dias ou de até vários meses, de acordo com as características do material sendo compostado. As altas temperaturas por volta dos 60°C são importantes para sanitização do composto (PEREIRA NETO, 2007; CHOWDHURY et al., 2013; TUOMELA, 2000; LIN et al., 2018).

Após a fase termofílica, a temperatura vai declinando e em seguida define-se uma nova fase, que se caracteriza por baixa ou nenhuma matéria orgânica para ser assimilada pelos microrganismos, ocorrendo o resfriamento e a biostabilização do composto. Os processos biológicos passam a serem lentos e o composto se torna humificado. A tendência para o composto final é possuir temperatura parecida com a do ambiente circundante, em torno de 30 a 35°C. Esta fase final de resfriamento dura em média 60 a 90 dias. O ciclo completo da compostagem fica em torno de 120 dias (KIEHL, 1985; GARCÍA-GÓMEZ e BERNAL, 2005; PEREIRA NETO, 2007; CHOWDHURY et al., 2013; TUOMELA, 2000; LIN et al., 2018).

Sodré et al (2019) estudaram as variações de temperatura e umidade durante a compostagem da casca triturada do cacauieiro. Em sua pesquisa foram utilizadas cascas de até 2cm de largura em pilhas de 100cm de altura x 50cm de largura x 150cm de comprimento. A temperatura foi medida a cada 10 dias e a duração da compostagem foi de 110 dias, pois de acordo com os autores foi tempo suficiente para estabilização do composto. Como resultado, encontraram temperaturas de

40°C na fase termofílica logo nos primeiros dias da compostagem e durante a estabilização as temperaturas ficaram próximas dos 30°C.

2.9.1.2 Relação Carbono / Nitrogênio

A concentração de nutrientes são fatores limitantes no processo de compostagem porque são fundamentais para o crescimento dos microrganismos decompositores. A relação carbono-nitrogênio (C/N) é de extrema importância, pois o carbono e o nitrogênio são necessários para a síntese celular e como fontes de energia para o desenvolvimento dos microrganismos. A faixa ótima de projeto utiliza cerca de trinta partes de carbono para cada parte de nitrogênio (C/N 30/1) (KIEHL, 1985; TUOMELA et al., 2000; LIN et al., 2018).

Uma alta concentração C/N poderá limitar a taxa de compostagem, pois há um excesso de substrato degradável para os microrganismos, assim o processo será mais lento. Se a relação C/N for muito baixa pode ocorrer grande perda de nitrogênio pela volatilização da amônia. Uma opção seria a mistura de resíduos com diferentes relações C/N para montar um equilíbrio maior na leira da compostagem (KIEHL, 1985; TUOMELA et al., 2000; LIN et al., 2018).

Porém, estas faixas não são tão rígidas, podendo variar de 20/1 a 40/1 de relação C/N como concentrações aceitáveis. Como intervalo de faixa ótima, pode ser considerada uma relação C/N de 25/1 a 35/1. Segundo Kiehl (1985), a casca do cacau possui a relação C/N de 38/1. Mas, independentemente da relação C/N inicial, no final da compostagem a relação C/N tende para um mesmo valor final, entre 10 e 20/1 (PROSAB, 1999; FORMENTINI et al., 2014).

2.9.1.3 Umidade

A presença de água é indispensável para as necessidades fisiológicas dos microrganismos. Os teores de umidade entre 55 e 60% são considerados satisfatórios para evitar a anaerobiose ou restringir a atividade microbológica pela

falta da umidade necessária e ainda, para manter a oxigenação, as leiras devem ser reviradas em ciclos predeterminados (TIAN et al., 2012).

Segundo Alves (1996), o teor de umidade dos resíduos depende da sua granulometria, porosidade e grau de compactação. Geralmente, valores abaixo de 40% fazem com que as atividades dos microrganismos fiquem restritas e lentas e valores acima de 60% podem levar a falta de oxigênio, pois a água permanece nos poros do material. Água em excesso pode ocasionar a mudança de composição para o formato anaeróbia, gerando mau cheiro e depreciando a qualidade do composto. Também pode ocorrer a formação de chorume, acarretando em perda de nutrientes por lixiviação. Sodré et al (2019) verificaram que o teor médio de água retida nas casca do cacau eiro   de 80%, sendo característico do material.

2.9.1.4 Tamanho das partículas

O tamanho das partículas do material a ser compostado também exerce influência no processo. Se elas forem menores que 1cm de diâmetro pode existir o risco das leiras ficarem muito compactadas e reduzir o fornecimento de oxig nio para os microrganismos atuarem. Se forem muito grandes elas podem demorar a serem degradadas, tornando a compostagem mais lenta (DALPIAN, 2004; LIN et al., 2018)

Assim, o ideal é que para manter um processo de compostagem mais seguro e com maior velocidade de decomposi o,   aconselhável que as partículas estejam entre 1 a 5cm de diâmetro (TUOMELA, 2000; LIN et al., 2018; DALPIAN, 2004; PEREIRA NETO, 2007). J  para KIEHL (2004), os materiais utilizados na compostagem não devem ter dimensões superiores a 3 cm de diâmetro. Nos trabalhos dos autores Chepote (2003), Sodré et al. (2012) e Sodré et al. (2019) as leiras e compostagem foram preparadas após as cascas do cacau serem trituradas ou picadas em tamanhos de até 2,5cm.

2.9.1.5 Aeração

O oxigênio é determinante no processo de compostagem. Se estiver em baixa concentração, a decomposição será lenta, produzirá odores e será mais complexo atingir a estabilização. Se estiver em excesso a massa do composto poderá resfriar e ressecar, também prejudicando a atividade microbiana (AMORIM, 2002; LIN et al., 2018; KIEHL, 1985).

O procedimento de aeração reabastece o oxigênio nas leiras de compostagem. Ele se dá através do revolvimento das leiras favorecendo também a obtenção de um composto mais homogêneo. A reviragem das leiras de compostagem demanda grande mão de obra no trabalho caso seja realizada manualmente. O reviramento pode ter o contato com temperaturas elevadas da decomposição e necessita de força pelo peso elevado da matéria prima, principalmente se ela for muito úmida. A mecanização nesta etapa por meio de maquinário pode melhorar as condições de trabalho, reduzindo tempo e custo de mão de obra (FORMENTINI, 2014).

O ciclo do reviramento pode variar a cada três a vinte dias, essenciais para atender a demanda de oxigênio necessária aos microrganismos e para a estabilização da matéria orgânica (PEREIRA NETO, 2007). Durante os procedimentos envolvendo a compostagem da casca de cacau, os autores Chepote (2003), Sodré et al. (2012) e Sodré et al. (2019) fizeram reviradas das leiras a cada 21, 10 e 8 dias, respectivamente, até a estabiliza o do composto.

2.10 QUALIDADE DO COMPOSTO ORGÂNICO

Os critérios de qualidade de um composto dependem de uma série de fatores, como concentra es de nutrientes, tamanho das partículas, umidade, teor de matéria orgânica, teor de contaminantes e estabilidade. Em geral, são observadas várias características físicas, químicas e biológicas do produto e são estudados seus efeitos relevantes quando inserido no ambiente (HOGG et al., 2002).

A finalidade do composto também   observada como um fator de critério, pois caso ele seja destinado a fins menos nobres, como cobertura de aterros, sua escolha será

menos rigorosa em termos de qualidade. Entretanto, priorizar a proteção da saúde pública e do solo é a diretriz mais importante do ponto de vista das legislações relacionadas às especificações do produto para consumo e comércio. Composto orgânico com altas concentrações de metais pesados é um empecilho para sua aplicação na agricultura (HOGG et al., 2002).

Todavia, ainda são muito complexas todas as avaliações relacionadas à qualidade do fertilizante orgânico produzido a partir da compostagem de resíduos. São poucos os estudos e são muitas as variações que cada material pode apresentar. Não foram estudadas as particularidades de cada matéria-prima e de cada composto orgânico produzido. Um mesmo material pode variar muito, pois naturalmente, os resíduos são muito heterogêneos (MÁRQUEZ-HERNÁNDEZ, 2013).

Os fertilizantes minerais são extraídos de minas e transformados nas indústrias para serem diretamente assimilados pelas plantas ou sofrerem as menores variações possíveis quando adicionados ao plantio. São concebidos para um determinado mercado e podem ser replicados com características idênticas. Entretanto, os resíduos são gerados sem essa finalidade. Eles são resultados indesejados na produção e suas características são heterogêneas (tamanho, cor, peso, forma, textura, diferentes concentrações de nutrientes). Um mesmo resíduo pode até mesmo variar de uma região para outra (LI et al., 2018; ESBENSEN e VELIS, 2016).

Além disso, a prática de substituição total do fertilizante orgânico pelo mineral pode gerar algumas problemáticas, principalmente porque os resíduos orgânicos podem não fornecer todas as necessidades nutricionais ao cultivo e no tempo certo, visto que possuem capacidade mais lenta de liberação de nutrientes. Assim, grandes quantidades de composto seriam necessárias para suprir a demanda das plantações (MÁRQUEZ-HERNÁNDEZ, 2013; CHOI et al., 2014).

Assim, apesar de serem numerosos os benefícios da fertilização orgânica sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e considerando que utilizar os fertilizantes orgânicos produzidos pelo procedimento da compostagem de resíduos como a chave da agricultura sustentável, deve-se buscar um solo economicamente produtivo, desenvolvendo um sistema agrícola seguro e satisfatório (RATHOD et al., 2013; TEJADA, HERNANDEZ e GARCIA, 2009; NYAMANGARA et al., 2003).

2.10.1 Legislações aplicáveis

Mundialmente, as diretrizes de qualidade de um fertilizante orgânico são consideradas recentes, datadas na década de 80, e no momento atual, os padrões, regulamentos e critérios ainda estão voltados aos produtos já estabelecidos no mercado e não para produtos emergentes do mercado de resíduos. Os limites e restrições de qualidade do produto focam nas faixas de metais pesados permitidos, para que impactos nocivos do uso dos fertilizantes recuperados de resíduos possam ser evitados. E assim, a meta de volume de reciclagem de resíduo orgânico muitas vezes se esbarra na meta de proteção ambiental (KRÜGER, 2016; CHOJNACKA et al., 2019; LUPTON, 2017).

A nova proposta de regulamento do Parlamento Europeu, a CE (2016) estabeleceu regras relativas à disponibilização no mercado de produtos fertilizantes considerando a Economia Circular como estratégia econômica. O principal objetivo da revisão do atual regulamento relativo aos adubos (CE n° 2003/2003, realizada em 2010) foi estimular iniciativas e produções em maiores escalas de adubos orgânicos, transformando resíduos em produtos de valor agregado, retornando como nutrientes para as plantações. Assim, foram definidos alguns requisitos mínimos para comercialização de fertilizantes orgânicos, como teor de nutrientes, concentrações de carbono orgânico e contaminantes. Na tabela 1, a seguir, estão discriminados os requisitos mínimos de nutrientes e limites máximos de contaminantes para fertilizantes orgânicos de acordo com a nova proposta da União Europeia.

Tabela 1: Requisitos mínimos de nutrientes e limites máximos de contaminantes para fertilizantes sólidos orgânicos de acordo com a nova proposta da UE.

Parâmetro	Unidade	Proposta UE 2016
Umidade a 60-65°C	%	< 60
Carbono Orgânico	%	> 15
Nitrogênio (N)	%	> 2,5 ^a
Fósforo (P ₂ O ₅)	%	> 2 ^a
Potássio (K ₂ O)	%	> 2 ^a
Cádmio (Cd)	ppm	< 1,5
Chumbo (Pb)	ppm	< 120
Cromo total (Cr)	ppm	< 2
Níquel (Ni)	ppm	< 50

a: Pelo menos um dos NPK nas quantidades mínimas.

Fonte: adaptado de CE (2016).

Este novo regulamento nos países da União Européia busca estabelecer critérios ambientais e de segurança para a produção e consumo de adubos inovadores produzidos a partir de matérias primas orgânicas e assim incentivar o investimento em grande escala na economia circular e Nexus. Espera-se que surja uma nova cadeia de valor com a eficiência na utilização de recursos (CE, 2016).

No Brasil, existem alguns parâmetros e orientações para fabricação, uso e comércios dos fertilizantes orgânicos. Os parâmetros legais apresentados em Legislação Federal sobre fertilizantes orgânicos são:

- Decreto Federal nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004 dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura.
- Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009: aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem ea rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.
- Instrução Normativa nº 27, de 05 de junho de 2006:aprova os limites máximos de agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas admitidos nos fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes destinados à agricultura.

- Instrução Normativa nº 53, de 23 de outubro de 2013: estabelece as definições, a classificação, o registro e renovação de registro de estabelecimento, o registro de produto, a autorização de comercialização e uso de materiais secundários, o cadastro e renovação de cadastro de prestadores de serviços de armazenamento, de acondicionamento, de análises laboratoriais, de empresas geradoras de materiais secundários e de fornecedores de minérios, a embalagem, rotulagem e propaganda de produtos, as alterações ou os cancelamentos de registro de estabelecimento, produto e cadastro e os procedimentos a serem adotados na inspeção e fiscalização da produção, importação, exportação e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores, substrato para plantas e materiais secundários.
- Resolução CONAMA Nº 481, de 03 de outubro de 2017: estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências.

O Decreto Federal nº. 4.954 de 2004 estabeleceu algumas definições para os fertilizantes orgânicos. No art. 2.º, III, b estão descritas as definições para classificação dos fertilizantes orgânicos em simples, mistos e compostos:

- l) fertilizante orgânico simples: produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas;
- m) fertilizante orgânico misto: produto de natureza orgânica, resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, contendo um ou mais nutrientes de plantas;
- n) fertilizante orgânico composto: produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria-prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas;

O estudo conduzido por Chepote (2003), no qual avaliou o efeito do composto da casca do fruto do cacau no crescimento e produção do cacauzeiro, foi preparado o fertilizante orgânico misto, utilizando a mistura de cascas de cacau trituradas com esterco de curral. Ainda seria necessário o estudo para avaliação detalhada do composto orgânico simples da casca do cacau, visando simplificar a compostagem.

Na Instrução Normativa nº.25 de 2009 do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, no Anexo II da referida norma, é possível encontrar as

especificações técnicas para produção e comercialização de fertilizantes orgânicos simples no país, adaptadas na seguir na Tabela 2. Também na Tabela 2 foram inseridos os limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos conforme definido no Anexo V da Instrução Normativa nº. 27 de 2006 do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Tabela 2: Especificações e limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos simples.

Parâmetros	Unidade	IN 25/2009 e IN 27/2006 MAPA
Umidade a 60-65°C	%	< 50
Carbono Orgânico	%	> 15
Nitrogênio (N)	%	>0,5
Cádmio (Cd)	ppm	< 3
Chumbo (Pb)	ppm	< 150
Cromo total (Cr)	ppm	< 200
Níquel (Ni)	ppm	< 70
pH em CaCl ₂	-	> 6
Relação C/N	-	< 20

^a: Soma NPK, NP, NK, PK conforme declarado.
 Fonte: Adaptado de Brasil (2009) e Brasil (2006).

Para o procedimento da compostagem, a Resolução nº. 481 de 2017 do CONAMA, estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, definindo o tempo e temperatura necessários para a higienização do composto, conforme Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 Temperatura e tempo necessário para higienização de um composto orgânico.

Sistemas de compostagem	Temperatura (° C)	Tempo (dias)
Sistema de compostagem aberto	> 55	14
Sistema de compostagem fechado	> 60	3

Fonte: Adaptado de Brasil (2017).

Assim, verifica-se que existem preocupações relacionadas aos níveis de contaminação das matérias primas alternativas para a produção de fertilizantes que estão a cada momento se tornando mais importantes diante do cenário de escassez de fontes minerais e deterioração do solo cultivado. Porém, essa gestão sustentável baseada nos novos conceitos da EC e Nexus ainda carece de estudos e

implementações de práticas em maiores escalas para aumentar os níveis de segurança no uso de resíduos e a valorização econômica do fertilizante orgânico de fontes de desperdícios. Também pouco se sabe sobre a eficácia dos fertilizantes orgânicos a base de resíduos e seu custo x benefício ao ser fonte complementar ou substituta em relação aos fertilizantes comerciais (CHOJNACKA et al. 2019; LUPTON, 2017).

2.11 VALOR ECONÔMICO DO COMPOSTO ORGÂNICO

O mercado de fertilizantes originados de resíduos ainda foi pouco estudado. Apesar do uso dos resíduos na agricultura ser historicamente relatado e o conceito e propostas de EC e Nexus estarem cada vez mais evidentes, os estudos sobre as fontes orgânicas em substituição aos fertilizantes minerais está caminhando a passos lentos (FAO, 2019; LECUYER, CHATELLIER e DANIEL, 2013; OTT, 2012; DUFLO, KREMER e ROBINSON, 2011; HEISEY e NORTON, 2007; CHAPMAN e EDMOND, 2000).

Um estudo no mercado de fertilizantes da França mostrou que faltam substitutos adequados aos fertilizantes químicos. Os mesmos são produzidos com composições específicas e controladas, tornando fáceis as escolhas dos consumidores, diferentemente das matérias primas substitutas geradas de resíduos, que devido às diversas origens, composições e formatos, não são padronizados e podem variar as quantidades de nutrientes e possibilidades de possuírem contaminantes ultrapassando as tolerâncias (LUPTON, 2017).

Na Europa facilmente se encontram dados disponíveis sobre os volumes de resíduos gerados nas atividades econômicas que são direcionados ao mercado de fertilizantes orgânicos, porém nas atividades rurais estes números não são precisos, e assim, também não são levantados adequadamente os volumes e preços utilizados destes resíduos na agricultura. A carência de dados se dá pelo fato de serem transações informais, da falta de cobrança de relatórios oficiais dos setores responsáveis e por não existirem dados em banco oficial disponível sobre o preço acordado (LUPTON, 2017).

A demanda para uso dos fertilizantes orgânicos derivados de resíduos na agricultura depende de vários fatores, não somente do preço por tonelada paga em relação aos fertilizantes habituais, mas também do valor do transporte, da qualidade agrônômica, da disponibilidade para aquisição, do odor, da facilidade na aplicação, da incerteza no retorno da cultura, dentre outros (LUPTON, 2017; LAZARUS e KOEHLER, 2002; NÚÑEZ e MCCANN, 2008). Segundo Lupton (2017), ainda são necessárias muitas pesquisas e estudos econômicos para correlacionar adequadamente o preço dos fertilizantes orgânicos com os fertilizantes minerais, porém, os valores podem ser reajustados segundo índices oficiais de variação dos preços dos produtos já estabelecidos no mercado.

Geralmente, os preços por kg do nutriente nos produtos formulados à base de resíduos são mais altos que os fertilizantes minerais. Isso porque são necessários tratamentos adicionais, como reduções de possíveis contaminantes, aditivos para aumento das concentrações de nutrientes, disponibilidade das matérias primas que podem ser sazonais. O composto orgânico ainda é menos atrativo e de menor procura por exigir um volume maior de compra pela baixa concentração dos macronutrientes primários NPK em relação aos fertilizantes minerais comercializados popularmente (GOJIYA, DEB e IYER, 2019; CHOJNACKA, 2019).

Williamson (2011) analisou o comportamento dos agricultores na ocorrência do aumento do preço dos fertilizantes a base de nitrogênio. Ele observou um uso em menor quantidade deste fertilizante mineral neste período. Lupton (2017), observando alguns dados disponíveis, notou que nos períodos onde ocorreu aumento no preço dos fertilizantes minerais, a aquisição de estrumes de animais para uso no solo das plantações como substituto aos fertilizantes químicos teve um ligeiro aumento. Assim, para determinar o uso do composto orgânico seria necessária a análise da qualidade deste composto em relação aos nutrientes que possui frente ao uso químico.

Segundo Chojnacka (2019), a comparação do preço dos nutrientes em produtos à base de resíduos com fertilizantes minerais não mostra incentivo econômico para a implementação da compostagem, uma vez que são comercializados até mesmo por doação aos agricultores. O adubo com o menor preço de nutrientes não é suficiente

para a fertilização devido às menores concentrações de NPK. Para avaliação da viabilidade econômica, devem ser levados em consideração todos os benefícios relacionados a uma nova técnica de recuperação com reduções de custo e os benefícios ambientais que o fertilizante orgânico traz ao cultivo. Se benefícios como redução de recursos não renováveis, gerenciamento de resíduos, recuperação de energia ou custos não forem reduzidos, a compostagem pode ser inviável.

2.12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações reunidas neste capítulo permitem concluir que o abandono das cascas do fruto do cacau é comum no Brasil e no mundo, trazendo várias problemáticas sociais, ambientais e econômicas com este descarte inadequado (MANSUR et al., 2014; GONZALES et al., 2013; SYAMSIRO, et al., 2012; ICCO, 2019; KAMP e ØSTERGÅRD, 2016; CRUZ et al., 2012; SANTOS, 2013).

Foram feitas várias abordagens econômicas com o intuito de buscar alternativas de uso da casca como fonte de geração de biogás (BATISTA, 2014; ACOSTA et al., 2018), geração de biodiesel (ADJIN-TETTEH et al., 2018), uso como catalisador na produção de biodiesel (OFORI-BOATENG e LEE, 2013), uso como briquetes para queima como combustível (SYAMSIRO et al., 2012), utilização como compostos alimentícios (VRIESMANN, TEÓFILO e PETKOWICZ, 2012), uso na produção de fibra (CAMPOS-VEGA, NIETO-FIGUEROA e OOMAH, 2018), e uso na alimentação animal (FIGUEIREDO et al., 2018). Porém todos os estudos abordados se mostraram pouco práticos e aplicáveis no ambiente gerador, o que pode justificar o motivo da falta de recuperação dessa biomassa nutricional.

Os autores Adu-dapaah, Cobbina e Asare (1994), Chepote (2003) e Sodré et al., (2012) concluíram que a compostagem orgânica poderia ser a forma mais barata e aplicável de recuperar nutrientes da casca do cacau utilizando a casca como matéria prima para a produção do fertilizante orgânico, porém também não investigaram a qualidade do composto produzido e seu valor nutricional em comparação aos produtos já disponíveis no mercado. Poucos foram os estudos sobre a compostagem da casca do cacau (GONZALES et al., 2013). Desta forma conclui-se

a necessidade da avaliação do procedimento da compostagem e do fertilizante orgânico produzido, buscando verificar a qualidade nutricional e o valor econômico do composto.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, N. et al. Cocoa residues as viable biomass for renewable energy production through anaerobic digestion. **Bioresource technology**, v. 265, p. 568-572, 2018.
- ADAMS, J. D. W.; FROSTICK, L. E. Investigating microbial activities in compost using mushroom (*Agaricus bisporus*) cultivation as an experimental system. **Bioresource technology**, v. 99, n. 5, p. 1097-1102, 2008.
- ADJIN-TETTEH, M. et al. Thermochemical conversion and characterization of cocoa pod husks a potential agricultural waste from Ghana. **Industrial Crops and Products**, v. 119, p. 304-312, 2018.
- ADNAN, N. et al. Adoption of green fertilizer technology among paddy farmers: A possible solution for Malaysian food security. **Land use policy**, v. 63, p. 38-52, 2017.
- ADU-DAPAAH, H. K.; COBBINA, J.; ASARE, E. O. Effect of cocoa pod ash on the growth of maize. **The Journal of Agricultural Science**, v. 122, n. 1, p. 31-33, 1994.
- ALVERSON, W. S. et al. Phylogeny of the core Malvales: evidence from ndhF sequence data. **American Journal of Botany**, v. 86, n. 10, p. 1474-1486, 1999.
- ALVES, W. L. Compostagem e vermicompostagem no tratamento de lixo urbano. **Jaboticabal: Funep**, 1996.
- AMORIM, A. C. Caracterização dos dejetos de caprinos: reciclagem energética e de nutrientes. 2002.
- SANTOS, M. M. N. . **Aproveitamento tecnológico da casca do cacau para geração de energia**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.
- ASHBY, M. F. Chapter 14-the vision: a circular materials economy. **Materials and Sustainable Development. Butterworth-Heinemann, Boston**, p. 211-239, 2016.

BARROS, A.I J. P. de; LEHFELD, Neide Aparecida de Souza. Fundamentos de metodologia: um guia para a iniciação científica. In: **Fundamentos de metodologia: um guia para a iniciação científica**. 2011. p. 132-132.

BATISTA, R. R. **Rotas de aproveitamento tecnológico de resíduo orgânico agrícola: casca de coco, casca de cacau e casca de café-destinadas à geração de energia**. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.

BIGGS, E. M. et al. Sustainable development and the water–energy–food nexus: A perspective on livelihoods. **Environmental Science & Policy**, v. 54, p. 389-397, 2015.

BLUMENSTEIN, B. et al. Economic assessment of the integrated generation of solid fuel and biogas from biomass (IFBB) in comparison to different energy recovery, animal-based and non-refining management systems. **Bioresource technology**, v. 119, p. 312-323, 2012.

BORSCHIVER, S.; TAVARES, A. **Economia circular e o setor energético**. 2018.

BRASIL, **Decreto-lei nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. Diário Oficial da União, DF, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009**. Aprova as Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem ea rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Brasília: DOU, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 27, de 05 de junho de 2006**. Aprova os limites máximos de agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas

daninhas admitidos nos fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes destinados à agricultura. Brasília: DOU, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 53, de 23 de outubro de 2013**. Estabelece as definições, a classificação, o registro e renovação de registro de estabelecimento, o registro de produto, a autorização de comercialização e uso de materiais secundários, o cadastro e renovação de cadastro de prestadores de serviços de armazenamento, de acondicionamento, de análises laboratoriais, de empresas geradoras de materiais secundários e de fornecedores de minérios, a embalagem, rotulagem e propaganda de produtos, as alterações ou os cancelamentos de registro de estabelecimento, produto e cadastro e os procedimentos a serem adotados na inspeção e fiscalização da produção, importação, exportação e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores, substrato para plantas e materiais secundários. Brasília: DOU, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 481, de 03 de outubro de 2017**. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Brasília: DOU, 2017.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Decreto Federal nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. Brasília: DOU, 2004.

CAMPOS-VEGA, R.; NIETO-FIGUEROA, K. H.; OOMAH, B. D. Cocoa (Theobroma cacao L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds. **Trends in Food Science & Technology**, v. 81, p. 172-184, 2018.

CAREDDU, N. Dimension stones in the circular economy world. **Resources Policy**, v. 60, p. 243-245, 2019.

CE - COMISSÃO EUROPEIA. Pacote da Economia Circular. Proposta de Regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho que estabelece regras relativas à disponibilização no mercado de produtos fertilizantes com a marcação CE e que altera os Regulamentos (CE) n.º 1069/2009 e (CE) n.º 1107/2009. 45. 2016.

CEPEC - Centro de pesquisas do Cacau. **A polêmica dos casqueiros de cacau... finalmente uma solução.** Revista difusão agropecuária. pag 13. Ano 1, número 1, outubro/novembro/dezembro de 1989.

CHAPMAN, K.; EDMOND, H. Mergers/acquisitions and restructuring in the EU chemical industry: patterns and implications. **Regional Studies**, v. 34, n. 8, p. 753-767, 2000.

CHEFETZ, B. et al. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste. **Journal of Environmental quality**, v. 25, n. 4, p. 776-785, 1996.

CHEPOTE, R. E. Efeito do composto da casca do fruto do cacau no crescimento e produção do cacauzeiro. **Agrotrópica**, v. 15, n. 1, p. 1-8, 2003.

CHEPOTE, R. E. et al. Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacauzeiro no sul da Bahia. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brazil**, 2013.

CHEPOTE, R. E.; SANTANA, J. L. C.; DELEON, F. Como utilizar composto de casca de cacau na adubação do cacauzeiro. **Difusão Agropecuária, Ilhéus**, v. 2, n. 1, p. 11-17, 1990.

CHOI, B. et al. Effect of rapeseed green manure amendment on soil properties and rice productivity. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 45, n. 6, p. 751-764, 2014.

CHOJNACKA, K. et al. Recovery of fertilizer nutrients from materials-Contradictions, mistakes and future trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 110, p. 485-498, 2019.

CHOWDHURY, A. K. M. et al. Olive mill waste composting: a review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 85, p. 108-119, 2013.

CONANT, R. T.; BERDANIER, A. B.; GRACE, P. R. Patterns and trends in nitrogen use and nitrogen recovery efficiency in world agriculture. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 27, n. 2, p. 558-566, 2013.

CORTÉS, A. et al. Environmental assessment of viticulture waste valorisation through composting as a biofertilisation strategy for cereal and fruit crops. **Environmental Pollution**, p. 114794, 2020.

CRESWELL, J. W. Projeto de pesquisa métodos qualitativo, quantitativo e misto. In: **Projeto de pesquisa métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 2010. p. 296-296.

CRUZ, G. et al. Production of activated carbon from cocoa (*Theobroma cacao*) pod husk. **J Civil Environment Engg**, v. 2, n. 1-6, p. 2, 2012.

CURRAN, T.; WILLIAMS, I. D. A zero waste vision for industrial networks in Europe. **Journal of hazardous materials**, v. 207, p. 3-7, 2012.

DALPIAN, J. J. Compostagem de resíduos sólidos contendo gordura e celulose de indústria de produtos cárneos: valoração de resíduos a sub-produtos. 2004.

DANTAS NETO, A. et al. Characterization of a cocoa population for mapping of genes of resistance to Witches' Broom and Phytophthora pod rot. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 380-386, 2005.

DE ALMEIDA, R. E. M. Fertilizantes de aumentada: uso de ureia de liberação controlada ou com inibidores em sistemas agrícolas. **Embrapa Pesca e Aquicultura-Documentos (INFOTECA-E)**, 2016.

DIAS, L. A. dos S. et al. Melhoramento genético do cacauero. **Viçosa: Funape**, 2001.

DINIZ FILHO, E. T. et al. A prática da compostagem no manejo sustentável de solos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 2, n. 2, p. 27-36, 2007.

DUFLO, E.; KREMER, M.; ROBINSON, J. Nudging farmers to use fertilizer: Theory and experimental evidence from Kenya. **American economic review**, v. 101, n. 6, p. 2350-90, 2011.

ESBENSEN, K. H.; VELIS, C. **Transition to circular economy requires reliable statistical quantification and control of uncertainty and variability in waste**. 2016.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. World Fertilizer Trends and Outlook to 2022. 2019.

FAVERIAL, J.; SIERRA, J. Home composting of household biodegradable wastes under the tropical conditions of Guadeloupe (French Antilles). **Journal of Cleaner Production**, v. 83, p. 238-244, 2014.

FIGUEIREDO, M. R. P. et al. Cocoa byproduct in diets for dairy heifers. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47, 2018.

FORMENTINI, E. A. et al. **Compostagem orgânica: uma tecnologia ao alcance dos agricultores**. 2014.

FOURTI, O. The maturity tests during the composting of municipal solid wastes. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 72, p. 43-49, 2013.

GALGANI, P.; VAN DER VOET, E.; KOREVAAR, G. Composting, anaerobic digestion and biochar production in Ghana. Environmental–economic assessment in the context of voluntary carbon markets. **Waste Management**, v. 34, n. 12, p. 2454-2465, 2014.

GARCÍA-GÓMEZ, A.; BERNAL, M. P.; ROIG, Asunción. Organic matter fractions involved in degradation and humification processes during composting. **Compost science & utilization**, v. 13, n. 2, p. 127-135, 2005.

GIL, A. C.. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

GOJIYA, A.; DEB, D.; IYER, K. R. Feasibility study of power generation from agricultural residue in comparison with soil incorporation of residue. **Renewable Energy**, v. 134, p. 416-425, 2019.

GONZALES, A. D. G. et al. Desenvolvimento sustentável para o resgate da cultura do cacau baseado no aproveitamento de resíduos. **Inter. Cient. Saúd. Amb**, v. 1, n. 2, p. 41-52, 2013.

GU, B. et al. Integrated reactive nitrogen budgets and future trends in China. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 28, p. 8792-8797, 2015.

GU, B. et al. Nitrogen use efficiencies in Chinese agricultural systems and implications for food security and environmental protection. **Regional Environmental Change**, v. 17, n. 4, p. 1217-1227, 2017.

HANNIBAL, B.; VEDLITZ, A. Throwing it out: Introducing a nexus perspective in examining citizen perceptions of organizational food waste in the US. **Environmental science & policy**, v. 88, p. 63-71, 2018.

HEISEY, P. W.; NORTON, G. W. Fertilizers and other farm chemicals. **Handbook of agricultural economics**, v. 3, p. 2741-2777, 2007.

HOGG, D. et al. **Comparison of compost standards within the EU, North America and Australia, The Waste and Resources Action Programme (WRAP), Oxon**. 2002. ISBN 1-84405-003.

IACOVIDOU, E. et al. A pathway to circular economy: Developing a conceptual framework for complex value assessment of resources recovered from waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p. 1279-1288, 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Censo agropecuário de 2017. 2017. Disponível em:

<<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censo-agropecuário2017#lavouras-permanentes>>. Acesso em 20 de junho de 2019.

ICCO - International Cocoa Organization. Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XLV, No.1, Cocoa year 2018/19. Published: 28-02-2019.

IPNI – INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. **Consumo aparente de fertilizantes e matérias-primas em 2017**. Disponível em: <<http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132>>. Acesso em 16 de jun. de 2019.

JAYEOLA, C. O. et al. Production of Bioactive Compounds From Waste. In: **Therapeutic, Probiotic, and Unconventional Foods**. Academic Press, 2018. p. 317-340.

JURADO, M. et al. Exploiting composting biodiversity: study of the persistent and biotechnologically relevant microorganisms from lignocellulose-based composting. **Bioresource technology**, v. 162, p. 283-293, 2014.

KAMP, A.; ØSTERGÅRD, H. Environmental sustainability assessment of fruit cultivation and processing using fruit and cocoa residues for bioenergy and compost. Case study from Ghana. **Journal of Cleaner Production**, v. 129, p. 329-340, 2016.

KARAK, T.; BHAGAT, R. M.; BHATTACHARYYA, P. Municipal solid waste generation, composition, and management: the world scenario. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 42, n. 15, p. 1509-1630, 2012.

KIEHL, E. J. Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. 2004. **Piracicaba, ESALQ. 173p.**

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Agronômica Ceres, 1985.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, conservation and recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017.

KRÜGER, O. Recycled fertilizers: Do we need new regulations and analytical methods?. **Waste Management**, v. 100, n. 50, p. 1-2, 2016.

LAZARUS, W. F.; KOEHLER, R. G. The economics of applying nutrient-dense livestock waste at low rates. **Applied Economic Perspectives and Policy**, v. 24, n. 1, p. 141-159, 2002.

LECUYER, B; CHATELLIER, V.; DANIEL, K. Les engrais minéraux dans les exploitations agricoles françaises et européennes. **Économie rurale. Agricultures, alimentations, territoires**, n. 333, p. 151-161, 2013.

LI, W. et al. Comprehensive environmental impacts of fertilizer application vary among different crops: Implications for the adjustment of agricultural structure aimed to reduce fertilizer use. **Agricultural Water Management**, v. 210, p. 1-10, 2018.

LIM, S. L.; LEE, L. H.; WU, T. Y. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 111, p. 262-278, 2016.

LIN, L. et al. Improving the sustainability of organic waste management practices in the food-energy-water nexus: A comparative review of anaerobic digestion and composting. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 89, p. 151-167, 2018.

LÓPEZ-GONZÁLEZ, J. A. et al. Dynamics of bacterial microbiota during lignocellulosic waste composting: Studies upon its structure, functionality and biodiversity. **Bioresource technology**, v. 175, p. 406-416, 2015.

LUPTON, S. Markets for waste and waste-derived fertilizers. An empirical survey. **Journal of Rural Studies**, v. 55, p. 83-99, 2017.

MAKAN, A.; ASSOBEI, O. M. A. R.; MOUNTADAR, M. Initial air pressure influence on in-vessel composting for the biodegradable fraction of municipal solid waste in Morocco. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 11, n. 1, p. 53-58, 2014.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Agronômica Ceres, 2006.

MANSUR, D. et al. Conversion of cacao pod husks by pyrolysis and catalytic reaction to produce useful chemicals. **biomass and bioenergy**, v. 66, p. 275-285, 2014.

MÁRQUEZ-HERNÁNDEZ, C. et al. Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero. **Revista Internacional de botánica experimental**, v. 82, p. 55-61, 2013.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Compostagem**. 2019. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/7594-compostagem-2019>>. Acesso em 15 maio de 2019.

MORAGA, G. et al. Circular economy indicators: What do they measure?. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 146, p. 452-461, 2019.

MORAGA, G. et al. Circular economy indicators: What do they measure?. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 146, p. 452-461, 2019.

MOYIN-JESU, E. I. Use of plant residues for improving soil fertility, pod nutrients, root growth and pod weight of okra (*Abelmoschus esculentum* L). **Bioresource technology**, v. 98, n. 11, p. 2057-2064, 2007.

NIGUSSIE, A.; KUYPER, T. W.; DE NEERGAARD, A. Agricultural waste utilisation strategies and demand for urban waste compost: evidence from smallholder farmers in Ethiopia. **Waste Management**, v. 44, p. 82-93, 2015.

NOVOTNY, V. Water–energy nexus: retrofitting urban areas to achieve zero pollution. **Building Research & Information**, v. 41, n. 5, p. 589-604, 2013.

NÚÑEZ, J. T.; MCCANN, L. Determinants of manure application by crop farmers. **Journal of soil and water conservation**, v. 63, n. 5, p. 312-321, 2008.

NYAMANGARA, J. et al. Fertilizer use efficiency and nitrate leaching in a tropical sandy soil. **Journal of environmental quality**, v. 32, n. 2, p. 599-606, 2003.

OFORI-BOATENG, C.; LEE, K. T. The potential of using cocoa pod husks as green solid base catalysts for the transesterification of soybean oil into biodiesel: Effects of

biodiesel on engine performance. **Chemical Engineering Journal**, v. 220, p. 395-401, 2013.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Relatório do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)**. 2018. Disponível em: <http://hdr.undp.org/sites/default/files/2018_human_development_report.pdf>. Acesso em: 29 maio. 2019.

ONWOSI, C. O. et al. Composting technology in waste stabilization: on the methods, challenges and future prospects. **Journal of Environmental Management**, v. 190, p. 140-157, 2017.

OTT, H. Fertilizer markets and their interplay with commodity and food prices. **Report for the European Commission Joint Research Centre, Brussels**, 2012.

PELEGRÍN, M. et al. Composting of the invasive species *Arundo donax* with sewage and agri-food sludge: Agronomic, economic and environmental aspects. **Waste Management**, v. 78, p. 730-740, 2018.

PELIZER, L. H.; PONTIERI, M. H.; MORAES, I de O. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 2, n. 1, p. 118-127, 2007.

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

PROSAB - PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos**. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.

RATHOD, D. D. et al. Integrated use of organic and inorganic inputs in wheat-fodder maize cropping sequence to improve crop yields and soil properties. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 59, n. 11, p. 1439-1455, 2013.

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, n. 8, p. 788-793, 2011.

RYNK, R. Exploring the economics of on-farm composting. **Biocycle**, v. 42, n. 2, p. 61-61, 2001.

SAID-PULLICINO, D.; ERRIQUENS, F. G.; GIGLIOTTI, G. Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. **Bioresource technology**, v. 98, n. 9, p. 1822-1831, 2007.

SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A. et al. Chemical and structural evolution of humic acids during organic waste composting. **Biodegradation**, v. 13, n. 6, p. 361-371, 2002.

SANT'ANNA, F. **Compostagem**. 2001. Disponível em: <<http://www.ibam.org.br/publique/media/Boletim5rs.pdf>>. Acesso: em 03 de agosto de 2019.

SANTOS, R. X. **Potential biotechnological applications of bark extract cocoa: mecanismo faction, antimicrobial activity and not genotoxic**. Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa de pós-graduação em genética e biologia molecular (doutorado), 2013.

SHAFAWATI, S. N.; SIDDIQUEE, S. Composting of oil palm fibres and *Trichoderma* spp. as the biological control agent: A review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 85, p. 243-253, 2013.

SINGH, J.; ORDOÑEZ, I. Resource recovery from post-consumer waste: important lessons for the upcoming circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 134, p. 342-353, 2016.

SODRÉ, G. A. **Cultivo do cacauzeiro no estado da Bahia**. 2017.

SODRÉ, G. A. et al. **Estudo das variações de temperatura e umidade durante a compostagem da casca do fruto do cacaueteiro**. 2019. p. 1-388–416.

SODRÉ, G. A. et al. Extrato da casca do fruto do cacaueteiro como fertilizante potássico no crescimento de mudas de cacaueteiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 881-887, 2012.

SYAMSIRO, M. et al. A preliminary study on use of cocoa pod husk as a renewable source of energy in Indonesia. **Energy for Sustainable development**, v. 16, n. 1, p. 74-77, 2012.

TEJADA, M.; HERNANDEZ, M. T.; GARCIA, C. Soil restoration using composted plant residues: Effects on soil properties. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 1, p. 109-117, 2009.

TIAN, Y. et al. Composting of waste paint sludge containing melamine resin and the compost's effect on vegetable growth and soil water quality. **Journal of hazardous materials**, v. 243, p. 28-36, 2012.

TOTHMIHALY, A.; INGRAM, V.; VON CRAMON-TAUBADEL, S. How can the environmental efficiency of Indonesian cocoa farms be increased?. **Ecological economics**, v. 158, p. 134-145, 2019.

TOTHMIHALY, A.; INGRAM, V.; VON CRAMON-TAUBADEL, S. How can the environmental efficiency of Indonesian cocoa farms be increased?. **Ecological economics**, v. 158, p. 134-145, 2019.

TRIVISIOS, A. N. Introdução à pesquisa em ciências sociais. **A pesquisa**, p. 133, 1987.

TUOMELA, M. et al. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. **Bioresource technology**, v. 72, n. 2, p. 169-183, 2000.

VALLE, R. R. Ciência, tecnologia e manejo do cacaueteiro. **Itabuna BA**, 2012.

VÁSQUEZ, Z. S. et al. Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. **Waste management**, v. 90, p. 72-83, 2019.

VRIESMANN, L. C.; TEOFILO, R. F.; PETKOWICZ, C. L. Extraction and characterization of pectin from cacao pod husks (*Theobroma cacao* L.) with citric acid. **LWT**, v. 49, n. 1, p. 108-116, 2012.

VRIESMANN, L.; AMBONI, R. D. de M. C.; PETKOWICZ, C. L. Cacao pod husks (*Theobroma cacao* L.): composition and hot-water-soluble pectins. **Industrial Crops and Products**, v. 34, n. 1, p. 1173-1181, 2011.

WANG, Y. et al. What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers?. **Journal of cleaner production**, v. 199, p. 882-890, 2018.

WATTEAU, F.; VILLEMIN, G. Characterization of organic matter microstructure dynamics during co-composting of sewage sludge, barks and green waste. **Bioresource technology**, v. 102, n. 19, p. 9313-9317, 2011.

WATTEAU, F.; VILLEMIN, G. Characterization of organic matter microstructure dynamics during co-composting of sewage sludge, barks and green waste. **Bioresource technology**, v. 102, n. 19, p. 9313-9317, 2011.

WILLIAMSON, J. M. The role of information and prices in the nitrogen fertilizer management decision: New evidence from the agricultural resource management survey. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, p. 552-572, 2011.

3 ARTIGO 2 ANÁLISE DO PROCESSO DA COMPOSTAGEM E DAS CARACTERÍSTICAS DO FERTILIZANTE ORGÂNICO PRODUZIDO A PARTIR DAS CASCAS DO FRUTO DO CACAUEIRO

RESUMO

Neste experimento foi realizada a compostagem da casca do cacau utilizando-se a infraestrutura de uma propriedade privada produtora de cacau no município de Linhares, Espírito Santo. Foram preparadas 3 pilhas com cascas frescas com configurações aproximadas de 2,0m de comprimento, 2,0m de largura e 1,5m de altura que ficaram sobre uma lona de polietileno de 88m². A compostagem foi acompanhada durante 90 dias, quando finalizou-se o procedimento. Os parâmetros analisados seguiram o escopo de análises físico-químicas para fertilizante orgânico sólido para fins agronômicos preconizados pelo MAPA (2017) e os resultados foram comparados com as Instruções Normativas n°. 25 de 2009 e n°. 27 de 2006 do MAPA e com a nova proposta de regulamento do Parlamento Europeu para adubo orgânico, a CE (2016). Os resultados mostraram que a compostagem da casca do cacau foi um processo simples e de baixa tecnologia. Todas as pilhas tiveram temperaturas maiores que 55 °C por mais de duas semanas, o que indicou a higienização do material. Também constatou-se uma perda de volume expressiva do composto, reduzindo em torno de 50% da sua massa inicial. No geral, o composto final obtido apresentou um nível adequado de estabilidade e maturidade, e houve concentrações notáveis de matéria orgânica e nutrientes, em especial para o nutriente potássio em sua forma mineral (K₂O). O somatório dos teores dos três macronutrientes primários foi representativo para um composto orgânico, chegando a quase 13% na base de matéria seca. Em comparação com as legislações aplicáveis utilizadas neste projeto, o composto da casca do cacau atendeu todos os parâmetros indicados para classificação como fertilizante orgânico. O uso do fertilizante da casca do cacau poderia reduzir o consumo de fertilizantes minerais, contribuindo para a preservação de recursos e reciclagem da matéria orgânica. Sugere-se um alto valor econômico agregado quando da avaliação do conteúdo de nutrientes em relação aos produtos minerais no mercado atualmente.

PALAVRAS-CHAVE: Compostagem; fertilizante orgânico; casca do cacau.

ANALYSIS OF THE COMPOSTING PROCESS AND CHARACTERISTICS OF THE ORGANIC FERTILIZER PRODUCED FROM CACAUEIRO FRUIT SKIN

ABSTRACT

In this experiment, the cocoa husk was composted using the infrastructure of a private cocoa producer in the municipality of Linhares, ES. 3 piles were prepared with fresh peels with configurations of approximately 2.0m in length, 2.0m in width and 1.5m in height and were placed on a 88m² polyethylene tarpaulin. Composting was monitored for 90 days, when the procedure was completed. The parameters analyzed followed the scope of physical-chemical analyzes for solid organic fertilizer for agronomic purposes recommended by MAPA (2017) and the results were compared with Normative Instructions no. 25 of 2009 and no. 27 of 2006 of MAPA and with the new proposal of regulation of the European Parliament for organic fertilizer, the EC (2016). The results showed that composting the cocoa shell was a simple and low-tech process. All batteries had temperatures greater than 55 °C for more than two weeks, which indicated the cleaning of the material. There was also a significant loss of volume of the compound, reducing around 50% of its initial mass. In general, the final compound obtained showed an adequate level of stability and maturity, and there were notable concentrations of organic matter and nutrients, especially the potassium nutrient in its mineral form (K₂O). The sum of the contents of the three primary macronutrients was representative for an organic compound, reaching almost 13% on a dry matter basis. In comparison with the applicable legislation used in this project, the cocoa husk compound met all the parameters indicated for classification as organic fertilizer. The use of cocoa husk fertilizer could reduce the consumption of mineral fertilizers, contributing to the preservation of resources and recycling of organic matter. High economic added value is suggested when assessing nutrient content in relation to mineral products on the market today.

KEYWORDS: Composting; organic fertilizer; cocoa pod husk.

3.1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento dos resíduos da agricultura vem ganhando destaque nas últimas décadas, como forma de emprego do recurso, redução de custo e diminuição de impactos ambientais. Somado ao alto custo dos fertilizantes e a escassez de fontes minerais, alavancaram-se pesquisas por novas alternativas aos insumos agrícolas usuais, incluindo o uso dos resíduos. A reciclagem dos resíduos que são perdidos no campo atrai a atenção dos pesquisadores que trabalham na busca de soluções para que os resíduos se tornem utilizáveis e com maior valor agregado (SANTOS, 2016; BATISTA, 2014; GONZALES et al., 2013).

A cacauicultura é uma cultura permanente e grande geradora de resíduos. As cascas do cacau que são geradas durante o beneficiamento das amêndoas representam cerca de 80% do volume do fruto. As mesmas, em sua maioria, ficam abandonadas nas plantações. Calcula-se que a cada tonelada de sementes secas são geradas 10 toneladas de cascas frescas (MANSUR et al., 2014; GONZALES et al., 2013). Considerando a produção no Brasil na temporada 2018/2019, segundo a ICCO (International Cocoa Organization), foram geradas quase dois milhões de toneladas de cascas de cacau no país.

O método da compostagem para produção de fertilizante orgânico pode ser uma das ferramentas mais atraentes de aproveitamento da casca do cacau, possibilitando minimizar o acúmulo desses grandes volumes de resíduos no solo. A cada ano a compostagem vem ganhando mais importância como método de escolha mais bem sucedido de gerenciamento sustentável de resíduos orgânicos (NEHER et al., 2013).

Além disso, a técnica da compostagem vai de encontro ao desenvolvimento da Economia Circular e conceitos Nexus, trazendo a prática da recuperação de resíduos orgânicos transformando-os em insumos com valor agregado para a produção agrícola. Na conclusão do seu estudo, Cortés et al., (2020) apresentou que a compostagem era uma forma adequada para obter produtos comerciais a partir dos resíduos de acordo com os princípios da Economia Circular.

A produção do composto orgânico para substituição total ou parcial dos fertilizantes minerais pode permitir melhores resultados econômicos e redução da pobreza de

muitos países em desenvolvimento (GHISELLINI, CIALANI e ULGIATI, 2016). De acordo com Lin et al., (2018) é um método adequado aos países pobres, pois é geralmente de baixo custo e impacto ambiental.

Assim, avaliando a necessidade de desenvolver e aprimorar alternativas aplicáveis de gestão de resíduos da cacauicultura, de aumentar a eficiência no uso dos recursos e limitar os impactos ambientais, o objetivo deste artigo foi abordar o procedimento da compostagem da casca do cacau e apresentar as características agrônômicas do fertilizante orgânico sólido produzido neste processo, contribuindo para a preservação de recursos e reciclagem da matéria orgânica.

Este artigo está dividido em quatro partes. A primeira consistiu na apresentação do tema com as abordagens já realizadas sobre o assunto buscando situar o estudo no contexto geral do conhecimento. A segunda parte abordou o procedimento metodológico desenvolvido. A terceira parte os resultados foram explicados e discutidos. E por fim, feitas as considerações finais.

3.1.1 Compostagem orgânica

A compostagem nada mais é que um processo biológico de decomposição de materiais orgânicos em condições aeróbias, comumente. Esta técnica acelera a atividade natural de degradação da matéria orgânica por microrganismos transformando-a em um composto fértil e estável, rico em húmus e nutrientes. É uma forma de devolver ao ambiente o que ele nos forneceu, lançando-os de volta ao ciclo natural e enriquecendo o solo para a agricultura (MMA, 2019; MAKAN, ASSOBHEI e MOUNTADAR, 2014; WATTEAU e VILLEMIN, 2011).

A qualidade e características do composto orgânico produzido também estão relacionadas com presença de nutrientes, com a quantidade de cada um deles, com os tipos de matérias primas e com os fatores que afetam o processo da compostagem. Os nutrientes de origem orgânica podem ser utilizados em qualquer cultura, juntamente com outros nutrientes minerais ou não melhorando os solos para a agricultura (ZHANG e SUN, 2018; LIM, LEE e WU, 2016).

O processo da compostagem mais simplificado e de baixo custo ocorre em pátios onde a matéria orgânica é disposta em montes de forma de pilhas ou leiras. Esta última forma é uma configuração bem usual (LIN et al., 2018). As leiras nas dimensões usuais de 1,5 metros de altura por 2,0 metros de largura possuem as melhores configurações para manter um clímax adequado aos microrganismos decompositores. O comprimento das leiras é em função da estrutura física do pátio da compostagem (FORMENTINI et al., 2014).

Os microrganismos são os responsáveis por degradarem os resíduos orgânicos durante o processo de compostagem e existem diversos fatores que devem ser acompanhados para fornecer um ambiente propício aos mesmos. Os principais fatores são: temperatura, relação carbono/nitrogênio, umidade, tamanho das partículas e aeração (LÓPEZ-GONZÁLEZ et al., 2015; LIM, LEE e WU, 2016; SHAWAWATI e SIDDIQUEE, 2013).

Estes fatores exercem, em conjunto, o equilíbrio da atividade biológica. Ao decorrer do processo de compostagem, as populações complexas de diversos grupos de microrganismos se proliferam, como bactérias e fungos, que vão se sucedendo de acordo com as características do meio. Ocorrem diversas reações físicas, químicas e biológicas durante a compostagem da matéria orgânica dos resíduos sólidos. Porém todas as atividades microbiológicas e reações ainda são pouco conhecidas (SAID-PULLICINO, ERRIQUENS e GIGLIOTTI, 2007; ADAMS e FROSTICK, 2008).

3.1.2 Qualidade do composto orgânico

Os critérios de qualidade de um composto dependem de uma série de fatores, como concentrações de nutrientes, tamanho das partículas, umidade, teor de matéria orgânica, teor de contaminantes e estabilidade. Em geral, são observadas várias características físicas, químicas e biológicas do produto e são estudados seus efeitos relevantes quando inserido no ambiente (HOGG et al., 2002).

A finalidade do composto também é observada como um fator de critério, pois caso ele seja destinado a fins menos nobres, como cobertura de aterros, sua escolha será

menos rigorosa em termos de qualidade. Entretanto, priorizar a proteção da saúde pública e do solo é a diretriz mais importante do ponto de vista das legislações relacionadas às especificações do produto para consumo e comércio. Composto orgânico com altas concentrações de metais pesados é um empecilho para sua aplicação na agricultura (HOGG et al., 2002).

Todavia, ainda são muito complexas todas as avaliações relacionadas à qualidade do fertilizante orgânico produzido a partir da compostagem de resíduos. São poucos os estudos e são muitas as variações que cada material pode apresentar. Não foram estudadas as particularidades de cada matéria-prima e de cada composto orgânico produzido. Um mesmo material pode variar muito, pois naturalmente, os resíduos são muito heterogêneos (MÁRQUEZ-HERNÁNDEZ, 2013)

Os fertilizantes minerais são extraídos de minas e transformados nas indústrias para serem diretamente assimilados pelas plantas ou sofrerem as menores variações possíveis quando adicionados ao plantio. São concebidos para um determinado mercado e podem ser replicados com características idênticas. Entretanto, os resíduos são gerados sem essa finalidade. Eles são resultados indesejados na produção e suas características são heterogêneas (tamanho, cor, peso, forma, textura, diferentes concentrações de nutrientes). Um mesmo resíduo pode até mesmo variar de uma região para outra (LI et al., 2018; ESBENSEN e VELIS, 2016).

A transformação de resíduos em fertilizante para uso na agricultura pode ser muito complexa. Os resíduos podem sofrer diversas variações em suas composições e possuírem uma série de contaminantes advindos de processamentos de atividades industriais, lixo doméstico ou despejos sanitários. A casca do cacau é uma fonte considerada mais "limpa", se enquadrando como uma matéria prima geradora de fertilizante classe A. Segundo o art. 2.º, I, da Instrução Normativa 25 n.º.25 de 2009 do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o fertilizante orgânico simples classe A pode ser definido como:

Classe "A": Fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

Assim, a casca do cacau pode ser considerada uma matéria prima alternativa como fertilizante classe A na agricultura. Isso favorece no atendimento da crescente preocupação com a qualidade do solo. Essa fonte residual se torna atrativa pela sua qualidade e disponibilidade. E ainda, uma possível solução para os altos custos dos fertilizantes minerais para os agricultores (CHEPOTE, 2003; BRASIL, 2009).

Além disso, os autores Vriesmann, Amboni e Petkowicz (2011) e Mansur et al., (2014) avaliaram a composição química da casca do cacau e encontraram quantidades altas de potássio (K) (2,8% a 3,8%), seguidas de cálcio (Ca) (0,25% a 0,46%) e magnésio (Mg) (0,11% a 0,25%). Observaram que além de ser uma fonte de nutrientes minerais, também possui moléculas orgânicas em altas concentrações favorecendo a entrada de matéria orgânica no solo quando for adicionada aos sistemas de cultivos. Segundo os autores, este alto conteúdo mineral e orgânico nas cascas do cacau possibilita a formação de um composto com qualidade e com potencial para substituição parcial dos fertilizantes minerais convencionais.

Mundialmente, as diretrizes de qualidade de um fertilizante orgânico são consideradas recentes, datadas na década de 80, e no momento atual, os padrões, regulamentos e critérios ainda estão voltados aos produtos já estabelecidos no mercado e não para produtos emergentes do mercado de resíduos. Os limites e restrições de qualidade do produto focam nas faixas de metais pesados permitidos, para que impactos nocivos do uso dos fertilizantes recuperados de resíduos possam ser evitados. E assim, a meta de volume de reciclagem de resíduo orgânico muitas vezes esbarra na meta de proteção ambiental (KRÜGER, 2016; CHOJNACKA et al., 2019; LUPTON, 2017).

A proposta de regulamento do Parlamento Europeu, a CE (2016), estabeleceu regras relativas à disponibilização no mercado de produtos fertilizantes considerando a Economia Circular como estratégia econômica. O principal objetivo da revisão do atual regulamento relativo aos adubos (CE n° 2003/2003, realizada em 2010) foi estimular iniciativas e produções em maiores escalas de adubos orgânicos, transformando resíduos em produtos de valor agregado, retornando como nutrientes para as plantações. Assim, foram definidos alguns requisitos mínimos para

comercialização de fertilizantes orgânicos, como teor de nutrientes, concentrações de carbono orgânico e contaminantes.

No Brasil, as Instruções Normativas nº. 25 de 2009 e nº. 27 de 2006 do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento apresentam as especificações técnicas para produção e comercialização de fertilizantes orgânicos e os limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes no país. Ainda, para o procedimento da compostagem, a Resolução nº. 481 de 2017 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, definindo o tempo e temperatura necessários para a higienização do composto.

Portanto, verifica-se que existem preocupações relacionadas aos níveis de contaminação das matérias primas alternativas para a produção de fertilizantes, que estão a cada momento se tornando mais importantes diante do cenário de escassez de fontes minerais e deterioração do solo cultivado. Porém, uma gestão sustentável baseada nos novos conceitos da EC e Nexus ainda carece de estudos e implementações de práticas em maiores escalas para aumentar os níveis de segurança no uso de resíduos e a valorização econômica do fertilizante orgânico de fontes de desperdícios. Também pouco se sabe sobre a eficácia dos fertilizantes orgânicos a base de resíduos e seu custo x benefício ao ser fonte complementar ou substituta aos fertilizantes comerciais (CHOJNACKA et al., 2019; LUPTON, 2017).

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Área do estudo

O experimento foi conduzido entre os meses de setembro a janeiro de 2020, utilizando-se a infraestrutura de uma fazenda de cacau no município de Linhares, Espírito Santo, localizada a cerca 20km do centro da cidade. As temperaturas médias no ano de 2019 a janeiro de 2020 na região variaram entre 22°C a 31°C e a precipitação média foi de 82mm, segundo dados do INCAPER (2019).

3.2.2 Caracterização inicial das cascas do cacau

As amostragens e caracterização da casca do cacau foram baseadas no Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2017). Foram realizadas análises agronômicas com a matéria prima (cascas de cacau frescas) e os resultados estão apresentados na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4: Resultados da análise da casca do cacau baseada na metodologia MAPA (2017).
Resultados na base de matéria seca (massa/massa).

Parâmetros	Unidade	Casca do cacau
Umidade a 60-65°C	%	81,58
pH em CaCl ₂	-	7,68
Matéria Orgânica Total	%	91,62
Matéria Orgânica Compostável	%	88,36
Carbono Orgânico	%	49,09
Relação C/N	-	44/1
Nitrogênio (N)	%	1,11
Fósforo (P ₂ O ₅)	%	0,27
Potássio (K ₂ O)	%	2,41
Cálcio (Ca)	%	0,79
Magnésio (Mg)	%	0,32
Enxofre (S)	%	0,2
Ferro (Fe)	%	0,04
Zinco (Zn)	%	47,7
Cobre (Cu)	ppm	11
Manganês (Mn)	ppm	60,8
Boro (B)	ppm	17,6
Cádmio (Cd)	ppm	1
Chumbo (Pb)	ppm	2,5
Cromo total (Cr)	ppm	17,5
Níquel (Ni)	ppm	19,5

Fonte: Elaboração própria do autor.

Pelos estudos já realizados, esperava-se encontrar altos teores de umidade. Sodré et al. (2019) apresentaram em seu artigo que o teor médio de água retida nas cascas do cacau foi de 80%, sendo característico do material. Os resultados confirmaram o encontrado pelos autores, apresentando umidade aproximada de 82%.

Os resultados dos macronutrientes presentes nesta matéria prima residual do plantio do cacau também apresentaram valores próximos da literatura. O autor Kiehl (1985) tinha relatado concentrações (base seca) de 1,28%, 0,41% e 2,54% para os elementos Nitrogênio (N), Fósforo (P_2O_5) e Potássio (K_2O), respectivamente. Os resultados encontrados neste estudo atual para Nitrogênio (N), Fósforo (P_2O_5) e Potássio (K_2O), respectivamente, foram 1,11%, 0,27% e 2,41%.

O pH da matéria prima casca do cacau apresentou valor próximo da neutralidade. Esse resultado esteve dentro da faixa considerada adequada para o processo da compostagem, que fica entre de 6 a 8. O pH pode sofrer variações ao longo do procedimento, geralmente com o decorrer da compostagem se tornando mais alcalino (HOGG et al., 2002; VICO et al., 2018; BERNAL, ALBURQUERQUE e MORAL, 2009).

Foi constatada uma relação C/N de 44/1. Segundo dados de Kiehl (1985), a casca do cacau possuiu a relação C/N de 38/1. A relação C/N foi considerada aceitável para o procedimento. Conforme os autores Lu et al. (2018) e Kiehl (1985) esta relação com alto teor de Carbono x Nitrogênio proporcionaria apenas menor velocidade ao processo de compostagem.

Desta forma, nenhum outro elemento foi adicionado ao processo para a redução da relação C/N. Este entendimento foi para buscar uma pesquisa inovadora e de aplicabilidade em campo, buscando uma abordagem das características agrônômicas do fertilizante da casca do cacau em comparação com a legislação aplicável. Assim, sendo importante uma avaliação sem a interferência de outro componente durante a compostagem.

3.2.3 Estruturação e montagem das leiras

Foi escolhida uma área do terreno sem vegetação, levemente inclinada para a realização do procedimento da compostagem. Foi escavada uma canaleta e fosso para direcionamento do resíduo líquido do processo. A área e as canaletas

receberam uma lona de polietileno de 88m². No fosso foi alocada uma caixa com capacidade para 100 litros (Figura 5).

Figura 5: Calha para escoamento do líquido ("chorume") resultante do processo



Fonte: Elaboração própria do autor.

As leiras foram preparadas com cascas frescas recolhidas no mesmo dia de uma máquina de quebra utilizando cerca de 5 mil unidades de frutos, aproximadamente, 2100kg de cascas frescas. As cascas foram transportadas até a lona com o auxílio de trator com carroça. As dimensões das cascas eram variadas. Os experimentos foram constituídos por um único método, havendo 3 repetições representadas por 3 leiras em formato de pirâmide, que foram produzidas com configurações aproximadas de 2,0m de comprimento, 2,0m de largura e 1,5m de altura (Figura 6).

Figura 6: Leiras de compostagem sendo montadas.



Fonte: Elaboração própria do autor.

3.2.4 Operacionalização das leiras

As leiras foram reviradas manualmente com o auxílio de uma pá. O revolvimento consistia em tombar o material para um lado e depois retorná-lo ao seu local. O procedimento foi realizado a cada 10 dias durante 90 dias, tempo dentro do previsto para duração da compostagem, promovendo a aeração da massa, reduzindo a compactação e aumentando a homogeneidade do substrato (KIEHL, 1985; FORMENTINI, 2014; PEREIRA NETO, 2007). As leiras ficaram cobertas com lona durante 80 dias de compostagem, evitando o contato com chuva e animais. Após a observação do alto índice de umidade ao fim dos 80 dias, as leiras foram expostas ao sol para redução da umidade durante 10 dias.

A cada ciclo de reviramento foram coletadas as informações de temperatura das leiras. A temperatura foi medida usando uma sonda de temperatura portátil, em cinco pontos diferentes a uma profundidade média de 30 cm do topo de cada leira. A temperatura registrada foi o valor médio das 5 leituras, conforme procedimentos citados pelo autor Asses et al. (2018) em seu estudo. Considerou-se que a fase ativa terminou quando a temperatura média estava próxima do ambiente e sem anotação do reaquecimento da massa. Não foi realizada a adição de água em nenhum momento por ser uma matéria prima com alta concentração de umidade.

3.2.5 Coleta e preparo das amostras

Foram coletadas amostras e realizadas análises agronômicas com a matéria prima - cascas de cacau frescas (resultados apresentados no item 5.3.2), amostras com 40 dias, 80 dias e 90 dias de compostagem. As amostras foram coletadas após a homogeneização de sete subamostras obtidas de cima para baixo da pilha de compostagem, de sete lugares diferentes, de acordo com o método utilizado por Bustamante et al. (2012). As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente lacrados e enviadas para laboratório especializado na região de Linhares no mesmo dia da coleta. As análises laboratoriais foram em triplicata dentro de cada escopo de parâmetros.

Os parâmetros analisados seguiram o escopo de análises físico-químicas para fertilizante orgânico sólido para fins agronômicos preconizados pelo MAPA (2017): Umidade a 60-65°C, pH em CaCl₂, Matéria Orgânica Total e Compostável, Carbono Orgânico, N Total, P₂O₅ Total, K₂O Total, Ca Total, Mg Total, S Total, Fe Total, Zn Total, Cu Total, Mn Total, B Total e Relação C/N, Cádmi Total, Cromo Total, Chumbo Total, Níquel Total. Todos os resultados foram emitidos por laboratório credenciado e especializado para este fim.

3.2.6 Análise dos resultados

Foi realizado o acompanhamento visual do composto e avaliação dos aspectos gerais do procedimento da compostagem e os resultados das temperaturas foram comparados com o estabelecido na Resolução CONAMA n°. 481 de 2017 para avaliação da higienização do composto.

Os resultados das análises físico-químicas do ensaio agronômico do composto foram comparados com os parâmetros definidos nas Instruções Normativas n°. 25 de 2009 e n°. 27 de 2006 do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e proposta da União Europeia CE (2016) buscando avaliar o atendimento aos requisitos de classificação de fertilizante orgânico para uso e comércio.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Aspectos gerais

O processo completo da compostagem durou 90 dias em concordância com o encontrado nos estudos de compostagem (KIEHL, 1985; FORMENTINI, 2014; PEREIRA NETO, 2007) e ocorreu simultaneamente nas três pilhas. O aspecto visual do composto alterou significativamente ao decorrer de cada viragem de pilha de compostagem. Ao fim do processo a massa ganhou uma coloração escura, indicando uma maior humificação da matéria orgânica. O composto final pode ser visualizado na Figura 7 a seguir. Não ocorreu mau cheiro durante todo o procedimento, o que indicou que a aeração a cada 10 dias foi suficiente para um processo aeróbico eficiente. Não foi constatada a atração de vetores.

Figura 7: Composto final após 90 dias de compostagem.



Fonte: Elaboração própria do autor.

A perda de volume foi significativa. As cascas, inicialmente, eram de diversas dimensões, variando entre 10cm a 5cm, existindo grande espaçamento entre elas. Conforme ocorriam os revolvimentos, os montes ficavam cada vez mais baixos devido a decomposição da casca e redução da granulometria. No geral a altura final ficou em média de 70 cm para cada pilha.

As pilhas reduziram em torno de 50% da sua massa inicial, em concordância com Cerri et al. (2008), que afirmaram que o rendimento final da compostagem é da ordem de 1/3 a 1/2 da sua massa inicial e que a grande parte da massa de resíduos é perdida sob a forma de vapor d' água, CO₂ e umidade sob a forma de chorume. Esta redução pode representar facilidade nas etapas de gerenciamento do composto orgânico, reduzindo áreas de pátio de compostagem, volumes para transporte e galpões de estocagem.

Foram gerados aproximadamente 300 litros de resíduo líquido que se desprenderam do processo da compostagem. Ou seja, a cada quilo de casca de cacau fresca, cerca e 0,140l de solução líquida foi gerada. Pelos altos índices de umidade contidos nas cascas, já eram esperados grandes volumes de chorume de decomposição. Sodré et al. (2012), em seu estudo, confirmaram que o líquido da decomposição das cascas de cacau possuía grande potencial nutritivo. Neste presente projeto, o foco foi avaliar o potencial do composto sólido.

Durante a produção do composto orgânico foi observada uma alta umidade presente no material mesmo atingindo o processo de maturação aos 80 dias, desta forma, os últimos 10 dias da compostagem o composto ficou exposto ao sol sem a lona. Foram coletadas amostras aos 90 dias.

3.3.2 Acompanhamento da temperatura

Observou-se, de acordo com a Figura 8, que as três pilhas apresentaram comportamento semelhante em relação a temperatura. A temperatura média das pilhas se elevou logo nos primeiros dias do processo de compostagem, alcançando valores superiores a 55 °C. A temperatura elevada no início do processo (acima de

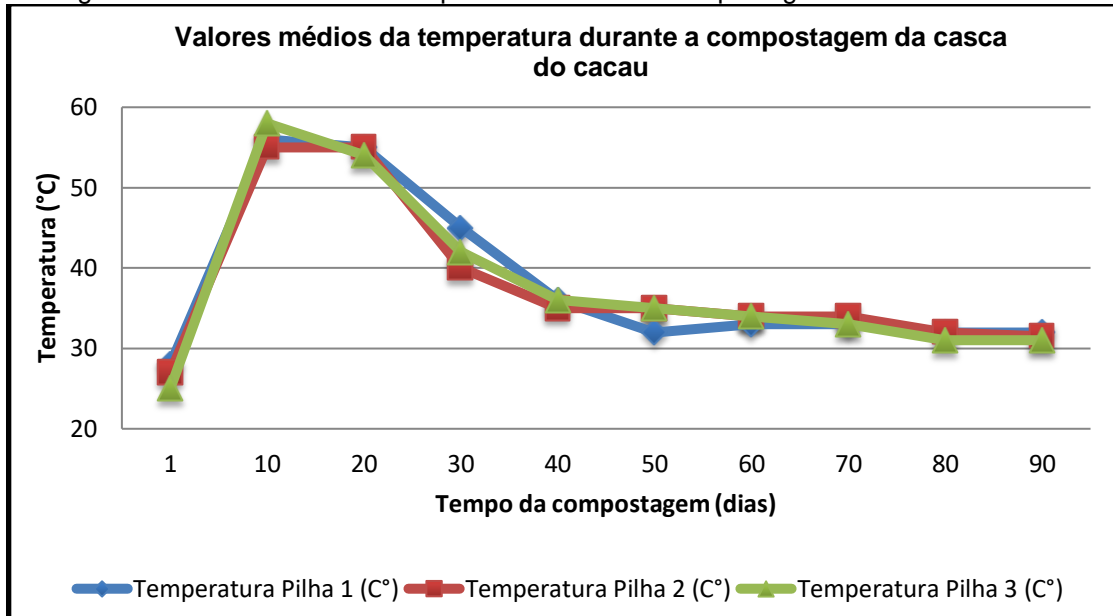
55°) mantida por mais de 14 dias foi de encontro ao recomendado pelo procedimento da compostagem na Resolução n°. 481 de 2017 da CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente.

A Resolução acima citada estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos definindo o tempo e temperatura necessários para a higienização do composto. Porém, os autores De Bertoldi, Vallini e Pera (1983), descreveram que caso a temperatura da compostagem permanecesse maior que 55 ° C por pelo menos três dias já indicaria um produto livre de organismos patogênicos. Assim, essa fase termofílica foi desejável, pois indicou a higienização do material e suficiente para inativação de sementes de ervas daninhas e patógenos.

Ao decorrer dos dias esses valores foram diminuindo gradativamente, se estabilizando e permanecendo nos valores ambientais entre 32°C a 35 °C. A redução da temperatura implicou que a maioria dos compostos orgânicos foram consumidos durante as fases mesofílica e termofílica e que poucos compostos facilmente degradáveis permaneceram na fase de resfriamento e maturação final. O composto começou a entrar na fase de maturação a partir do quinquagésimo dia, quando ocorreu a diminuição e estabilização da temperatura em médias próximas ao do meio externo. Isso pode ter ocorrido pelo fato da redução da ação microbiana pela falta de matéria prima disponível a ser degradada (MENG et al., 2016; CHEN et al., 2014).

Na Figura 8 a seguir, pode ser visualizado que a fase mesofílica ocorreu entre o dia 1 até o dia 8, após isso iniciou-se a fase termofílica, que se manteve até o dia 20, finalizando-se pela fase de maturação, que ocorreu do dia 21 até o 90. Segundo Kiehl (1985), a temperatura pode variar de acordo com vários fatores, como umidade, aeração e relação C/N.

Figura 8: Valores médios da temperatura durante a compostagem da casca do cacau.



Fonte: Elaboração própria do autor.

3.3.3 Qualidade do composto obtido

Na Tabela 5 a seguir estão apresentadas as principais propriedades do composto final. Nela estão os resultados das análises da casca do cacau, do composto em fase intermediária (40 dias), do composto em 80 dias e do composto final (90 dias) baseada na metodologia preconizada pelo Ministério da Agricultura para fertilizante sólido (MAPA, 2017) em comparação com as Instruções Normativas n°.25 de 2009 e n°. 27 de 2006 do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e proposta da União Europeia CE (2016).

Tabela 5: Resultados das análises agrônômicas durante a compostagem. Base de matéria seca (massa/massa).

Parâmetros	Unid	Casca do cacau	Composto 40 dias	Composto 80 dias	Composto (final)	INst. Norm. 25/2009 27/2006 MAPA	UE 2016
Umidade a 60-65°C	%	81,58	85,06	78,47	37,00	< 50	< 60
pH em CaCl ₂	-	7,68	8,08	8,66	8,35	> 6	
Matéria Orgânica Total	%	91,62	70,2	70,03	70,15		
Matéria Orgânica Compos.	%	88,36	63,37	62,1	61,4		
Carbono Orgânico	%	49,09	35,2	34,5	35,1	> 15	> 15
Relação C/N	-	44/1	14/1	9/1	9/1	< 20	
Nitrogênio (N)	%	1,11	2,45	4,02	2,80	> 0,5	> 2,5 ^a
Fósforo (P ₂ O ₅)	%	0,27	0,73	0,92	3,35		> 2 ^a
Potássio (K ₂ O)	%	2,41	4,74	5,04	6,78		> 2 ^a
Cálcio (Ca)	%	0,79	1,05	1,32	1,17		
Magnésio (Mg)	%	0,32	0,59	0,69	0,61		
Enxofre (S)	%	0,2	0,41	0,52	0,58		
Ferro (Fe)	%	0,04	0,19	0,006	0,03		
Zinco (Zn)	ppm	47,7	96,9	146,5	143		
Cobre (Cu)	ppm	11	19,5	22	23		
Manganês (Mn)	ppm	60,8	51,4	66,8	57,70		
Boro (B)	ppm	17,6	31,6	36,5	37,1		
Cádmio (Cd)	ppm	1	1,5	0,5	0,7	< 3	< 1,5
Chumbo (Pb)	ppm	2,5	4,5	1,5	1,8	< 150	< 120
Cromo total (Cr)	ppm	17,5	22,5	2,5	2,0	< 200	< 2
Níquel (Ni)	ppm	19,5	28,5	18,5	25,6	< 70	< 50

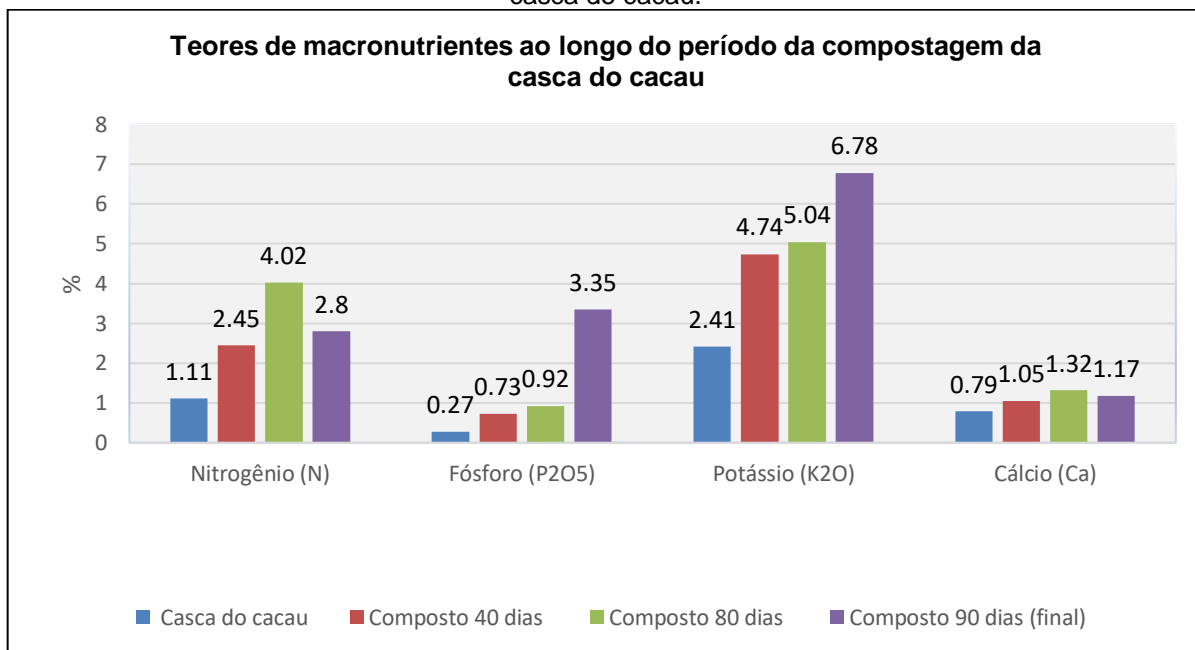
^a: Pelo menos um dos NPK nas quantidades mínimas.

Fonte: Elaboração própria do autor.

Os teores dos macronutrientes primários no composto final, Nitrogênio (N), Fósforo (P₂O₅) e Potássio (K₂O) foram de, respectivamente, 2,80%, 3,35% e 6,78%. O somatório dos teores dos três macronutrientes primários foi bem significativo no composto orgânico final, chegando a 12,93%. O teor do macronutriente secundário Cálcio (Ca) também se destacou, com 1,17% de concentração no resultado final do composto.

Estes valores ficaram dentro do esperado para compostos de materiais orgânicos e outros resíduos de origem vegetal. Além disso, as concentrações de NPK encontradas foram semelhantes e maiores do que relatadas em estudos anteriores (BUSTAMANTE et al., 2012). A Figura 9 a seguir apresenta os resultados dos nutrientes que mais se destacaram no composto final.

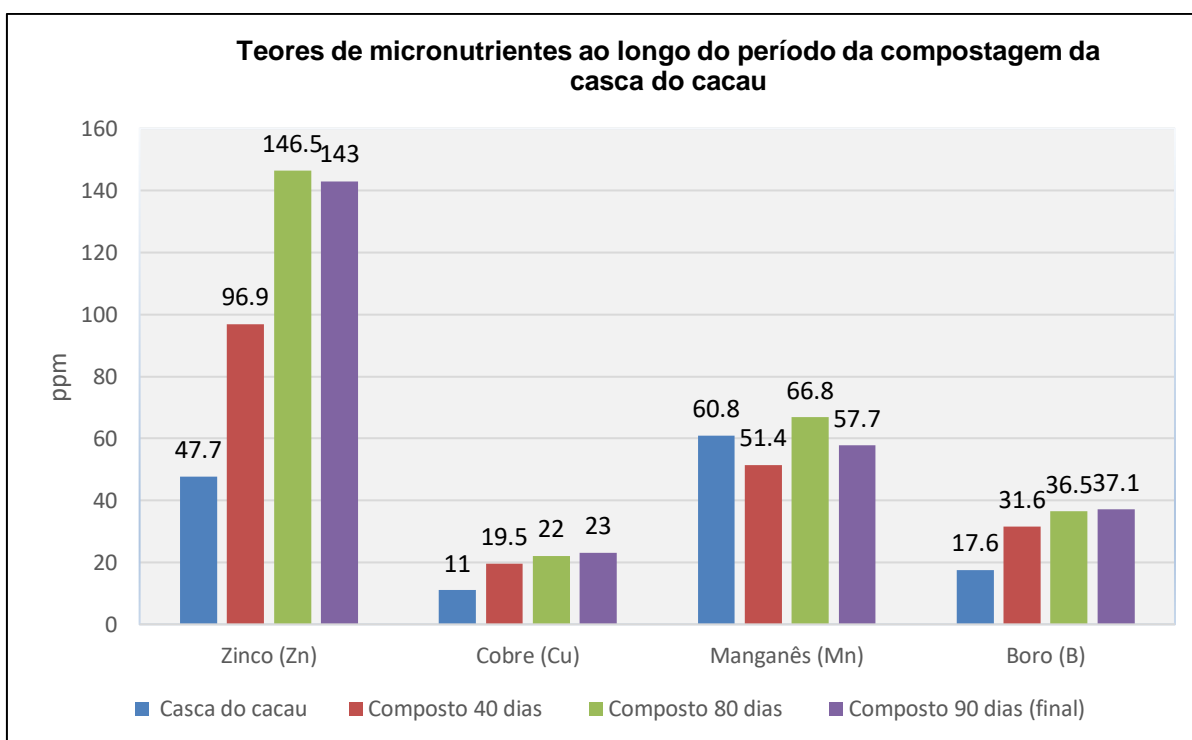
Figura 9: Teores de macronutrientes que se destacaram ao final do período da compostagem da casca do cacau.



Fonte: Elaboração própria do autor.

Outros micronutrientes também se destacaram no composto final, agregando valor nutricional ao adubo orgânico, como o Zinco (Zn), o Cobre (Cu), Manganês (Mn) e Boro (B) com concentrações finais, respectivamente, de 143ppm, 23ppm, 57,7ppm e 37,1ppm. A seguir os valores encontrados estão apresentados graficamente na Figura 10.

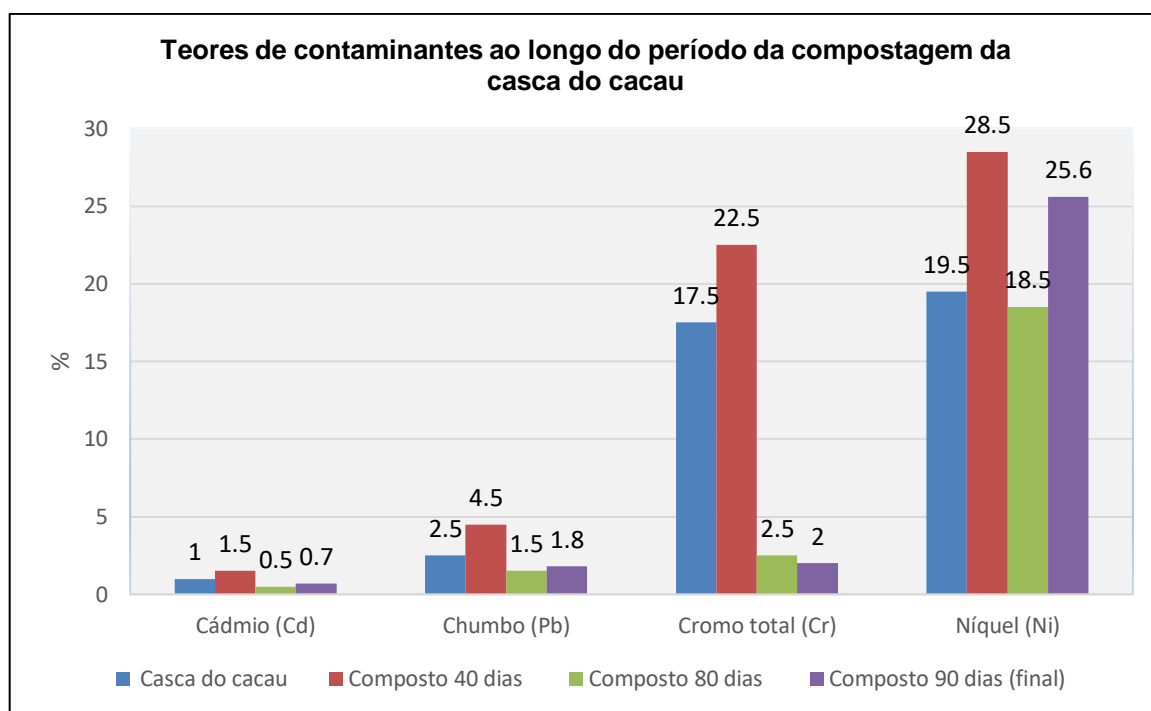
Figura 10: Teores de micronutrientes ao longo do período da compostagem da casca do cacau.



Fonte: Elaboração própria do autor.

Os teores de contaminantes no composto final se mantiveram dentro do exigido na Instrução Normativa 27/2006 do MAPA e na nova proposta da União Européia CE (2016) para uso e comercialização do adubo orgânico. Resultados apresentados na Figura 11.

Figura 11: Teores de contaminantes ao longo do período da compostagem da casca do cacau



Fonte: Elaboração própria do autor.

O estudo dos autores Alshahri e Alqahtani (2015) mostrou que os fertilizantes químicos podem possuir elevadas concentrações de metais pesados contaminantes. E assim, apesar do composto orgânico da casca do cacau não apresentar alta concentração de nutrientes como os fertilizantes minerais, ele é uma fonte menos agressiva ao meio ambiente e também traz grandes benefícios com a introdução da matéria orgânica no solo.

Em relação ao pH, a matéria prima casca do cacau apresentou valor próximo da neutralidade e foi sofrendo variações ao longo do procedimento, resultando no pH 8,35 ao final da compostagem. Esse resultado esteve dentro da faixa considerada adequada para o processo da compostagem, entre de 6 a 8,5. Valores alcalinos de pH até 8,5 são considerados adequados para o composto com fins agrícolas como aditivos fertilizantes nas culturas, pois esta faixa garante a compatibilidade com a maioria das plantas (HOGG et al., 2002; VICO et al., 2018; BERNAL, ALBURQUERQUE e MORAL, 2009; GIGLIOTTI et al., 2012).

O parâmetro umidade atendeu o especificado, atendendo as Instruções Normativas n°.25 de 2009 e n°. 27 de 2006 do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e

Abastecimento e proposta da União Europeia CE (2016), com 37% de umidade no composto final. Os autores Chowdhury et al., (2013) descreveram que o resultado em torno de 40% ficou dentro do conteúdo de umidade considerado ideal. Porém, a umidade, apesar de ser interessante como aditivo nas plantações, encarece o produto para transporte e comercialização e, com isso, valores muito acima do recomendado não são atraentes.

Foi notável a presença de matéria orgânica total e carbono orgânico no composto final, com valores de 70,15% e 35,1%, respectivamente, sendo muito superiores aos valores mínimos exigidos em atendimento as Instruções Normativas n°.25 de 2009 do MAPA e proposta da União Europeia CE (2016), para uso e comercialização do adubo orgânico. As frações orgânicas no composto agregaram valor ao produto. Hogg et al. (2002) citou que para que os produtos pudessem receber o rótulo ecológico europeu deveriam possuir mais de 20% de MO.

A relação C/N adotada neste experimento apesar de inicialmente ser alta no valor de 44/1 foi considerada adequada, pois permitiu a avaliação da compostagem da casca do cacau sem a interferência de outros aditivos, com a obtenção um produto final dentro dos padrões para uso e comercio. A relação C/N final de 9/1 definiu um composto maduro e estável. Tomati et al. (2002) confirmaram que a relação C/N no composto maduro está localizada abaixo de 22/1. Para Bernal, Albuquerque e Moral (2009) a relação C/N inferior a 20/1 é o indicativo de um composto pronto.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cada ano a compostagem vem ganhando mais importância como método de escolha mais bem sucedido de gerenciamento sustentável de resíduos orgânicos (NEHER et al., 2013). Este artigo abordou o procedimento da compostagem da casca do cacau e apresentou as características agronômicas do fertilizante orgânico sólido produzido neste processo. A compostagem se mostrou como um método fácil e atraente para redução dos grandes acúmulos de cascas de cacau nas propriedades agrícolas.

O produto deste processo apresentou quantidades significativas de nutrientes, chegando a quase 13% na base de matéria seca para os macronutrientes primários NPK. Apesar desta concentração de nutrientes ser distante da quantidade de nutrientes fornecidos por fertilizantes comerciais, o composto orgânico pode trazer grandes benefícios com a introdução da matéria orgânica no solo, que apresentou valores acima de 70% no produto final.

Em comparação com as Instruções Normativas n°.25 de 2009 e n°. 27 de 2006 do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e proposta da União Europeia CE (2016), o composto da casca do cacau atendeu todos os parâmetros indicados para classificação como fertilizante orgânico, inclusive para metais contaminantes, uma grande preocupação atual com o uso de fontes residuais como matéria prima para fertilizantes.

A valorização da casca do cacau foi de encontro aos novos conceitos da Economia Circular e Nexus, que buscam reduzir as fontes de desperdícios e transformá-las em produto de valor agregado, seguindo o descrito no estudo de Cortés et al., (2020). As análises laboratoriais mostraram que composto orgânico final pode ser uma fonte segura complementar ou substituta aos fertilizantes comerciais, podendo reduzir o consumo de fertilizantes minerais, contribuindo para a preservação de recursos e reciclagem da matéria orgânica. Assim, pode-se concluir que a compostagem é uma alternativa aplicável de gestão de resíduos da cacauicultura.

REFERÊNCIAS

ADAMS, J. D. W.; FROSTICK, L. E. Investigating microbial activities in compost using mushroom (*Agaricus bisporus*) cultivation as an experimental system. **Bioresource technology**, v. 99, n. 5, p. 1097-1102, 2008.

ALSHAHRI, F.; ALQAHTANI, M. Chemical fertilizers as a source of ²³⁸U, ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²²²Rn, and trace metal pollutant of the environment in Saudi Arabia. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 11, p. 8339-8348, 2015.

SANTOS, M. M. N. **Aproveitamento tecnológico da casca do cacau para geração de energia**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.

ASSES, N. et al. Comparative study of sewage sludge co-composting with olive mill wastes or green residues: Process monitoring and agriculture value of the resulting composts. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 114, p. 25-35, 2018.

BATISTA, R. R. **Rotas de aproveitamento tecnológico de resíduo orgânico agrícola: casca de coco, casca de cacau e casca de café-destinadas à geração de energia**. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.

BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresource technology**, v. 100, n. 22, p. 5444-5453, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009**. Aprova as Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Brasília: DOU, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009**. Aprova as Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem ea rotulagem dos fertilizantes

orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Brasília: DOU, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 27, de 05 de junho de 2006**. Aprova os limites máximos de agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas admitidos nos fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes destinados à agricultura. Brasília: DOU, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 481, de 03 de outubro de 2017**. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Brasília: DOU, 2017.

BUSTAMANTE, M. A. et al. Co-composting of the solid fraction of anaerobic digestates, to obtain added-value materials for use in agriculture. **Biomass and bioenergy**, v. 43, p. 26-35, 2012.

CE - COMISSÃO EUROPEIA. Pacote da Economia Circular. Proposta de Regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho que estabelece regras relativas à disponibilização no mercado de produtos fertilizantes com a marcação CE e que altera os Regulamentos (CE) n.º 1069/2009 e (CE) n.º 1107/2009. 45. 2016.

CE - COMISSÃO EUROPEIA. Pacote da Economia Circular. Proposta de Regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho que estabelece regras relativas à disponibilização no mercado de produtos fertilizantes com a marcação CE e que altera os Regulamentos (CE) n.º 1069/2009 e (CE) n.º 1107/2009. 45. 2016.

CERRI, C. E. P. et al. Compostagem. **São Paulo: Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo**, 2008.

CHEN, Y. et al. Utilization of solar energy in sewage sludge composting: fertilizer effect and application. **Waste management**, v. 34, n. 11, 2014.

CHEPOTE, R. E. Efeito do composto da casca do fruto do cacau no crescimento e produção do cacauzeiro. **Agrotrópica**, v. 15, n. 1, p. 1-8, 2003.

CHOJNACKA, K. et al. Recovery of fertilizer nutrients from materials-Contradictions, mistakes and future trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 110, p. 485-498, 2019.

CHOWDHURY, A. K. M. et al. Olive mill waste composting: a review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 85, p. 108-119, 2013

CORTÉS, A. et al. Environmental assessment of viticulture waste valorisation through composting as a biofertilisation strategy for cereal and fruit crops. **Environmental Pollution**, p. 114794, 2020.

DE BERTOLDI, M. de; VALLINI, G. et; PERA, A. The biology of composting: a review. **Waste Management & Research**, v. 1, n. 2, p. 157-176, 1983.

ESBENSEN, K. H.; VELIS, C. **Transition to circular economy requires reliable statistical quantification and control of uncertainty and variability in waste.** 2016.

FORMENTINI, E. A. et al. **Compostagem orgânica: uma tecnologia ao alcance dos agricultores.** 2014.

FORMENTINI, E. A. et al. **Compostagem orgânica: uma tecnologia ao alcance dos agricultores.** 2014.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner production**, v. 114, p. 11-32, 2016.

GIGLIOTTI, G. et al. Co-composting of olive husks with high moisture contents: organic matter dynamics and compost quality. **International biodeterioration & biodegradation**, v. 67, p. 8-14, 2012.

GONZALES, A. D. G. et al. Desenvolvimento sustentável para o resgate da cultura do cacau baseado no aproveitamento de resíduos. **Inter. Cient. Saúd. Amb**, v. 1, n. 2, p. 41-52, 2013.

HOGG, D. et al. **Comparison of compost standards within the EU, North America and Australia, The Waste and Resources Action Programme (WRAP), Oxon**. 2002. ISBN 1-84405-003.

ICCO - International Cocoa Organization. Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XLV, No.1, Cocoa year 2018/19. Published: 28-02-2019.

INCAPER - INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. Precipitação Total observada em 2019. 2019. Disponível em: <<https://meteorologia.incaper.es.gov.br/mapas-de-chuva-acumulado-mensal-e-anual-2019>>. Acesso em 20 de julho de 2020.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Agronômica Ceres, 1985.

KRÜGER, O. Recycled fertilizers: Do we need new regulations and analytical methods?. **Waste Management**, v. 100, n. 50, p. 1-2, 2016.

LI, W. et al. Comprehensive environmental impacts of fertilizer application vary among different crops: Implications for the adjustment of agricultural structure aimed to reduce fertilizer use. **Agricultural Water Management**, v. 210, p. 1-10, 2018.

LIM, S. L.; LEE, L. H.; WU, T. Y. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 111, p. 262-278, 2016.

LÓPEZ-GONZÁLEZ, J. A. et al. Biodiversity and succession of mycobiota associated to agricultural lignocellulosic waste-based composting. **Bioresource technology**, v. 187, p. 305-313, 2015.

LU, Q. et al. Effect of tricarboxylic acid cycle regulator on carbon retention and organic component transformation during food waste composting. **Bioresource technology**, v. 256, p. 128-136, 2018.

LUPTON, S. Markets for waste and waste-derived fertilizers. An empirical survey. **Journal of Rural Studies**, v. 55, p. 83-99, 2017.

MAKAN, A.; ASSOBEI, O. M. A. R.; MOUNTADAR, M. Initial air pressure influence on in-vessel composting for the biodegradable fraction of municipal solid waste in Morocco. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 11, n. 1, p. 53-58, 2014.

MANSUR, D. et al. Conversion of cacao pod husks by pyrolysis and catalytic reaction to produce useful chemicals. **biomass and bioenergy**, v. 66, p. 275-285, 2014.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. 2017.

MÁRQUEZ-HERNÁNDEZ, C. et al. Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero. **Revista Internacional de botánica experimental**, v. 82, p. 55-61, 2013.

MENG, L. et al. Effects of sucrose amendment on ammonia assimilation during sewage sludge composting. **Bioresource Technology**, v. 210, p. 160-166, 2016.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Compostagem**. 2019. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/7594-compostagem-2019>>. Acesso em 15 maio de 2019.

NEHER, D. A. et al. Changes in bacterial and fungal communities across compost recipes, preparation methods, and composting times. **PloS one**, v. 8, n. 11, p. e79512, 2013.

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

SAID-PULLICINO, D.; ERRIQUENS, F. G.; GIGLIOTTI, G. Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. **Bioresource technology**, v. 98, n. 9, p. 1822-1831, 2007

SHAFAWATI, S. N.; SIDDIQUEE, S. Composting of oil palm fibres and *Trichoderma* spp. as the biological control agent: A review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 85, p. 243-253, 2013.

SODRÉ, G. A. et al. **Estudo das variações de temperatura e umidade durante a compostagem da casca do fruto do cacauero**. 2019. p. 1-388–416.

SODRÉ, G. A. et al. Extrato da casca do fruto do cacauero como fertilizante potássico no crescimento de mudas de cacauero. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 881-887, 2012.

TOMATI, Umberto et al. Evaluation of commercial compost quality. **Waste management & research**, v. 20, n. 5, p. 389-397, 2002.

VICO, A. et al. Valorization of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) pruning biomass by co-composting with urban and agri-food sludge. **Journal of environmental management**, v. 226, p. 408-415, 2018.

VRIESMANN, L. C.; TEOFILO, R. F.; PETKOWICZ, C. L. Extraction and characterization of pectin from cacao pod husks (*Theobroma cacao* L.) with citric acid. **LWT**, v. 49, n. 1, p. 108-116, 2012.

VRIESMANN, L.; AMBONI, R. D. de M. C.; PETKOWICZ, C. L. Cacao pod husks (*Theobroma cacao* L.): composition and hot-water-soluble pectins. **Industrial Crops and Products**, v. 34, n. 1, p. 1173-1181, 2011.

WATTEAU, F.; VILLEMIN, G. Characterization of organic matter microstructure dynamics during co-composting of sewage sludge, barks and green waste. **Bioresource technology**, v. 102, n. 19, p. 9313-9317, 2011.

ZHANG, L; SUN, X. Effects of bean dregs and crab shell powder additives on the composting of green waste. **Bioresource technology**, v. 260, p. 283-293, 2018.

4 ARTIGO 3 ESTIMATIVA DO VALOR ECONÔMICO DO COMPOSTO ORGÂNICO DA CASCA DO CACAU E DA ECONOMIA EM SUBSTITUIÇÃO AO FERTILIZANTE MINERAL

RESUMO

O objetivo deste estudo foi estimar o valor econômico do adubo orgânico produzido por compostagem da casca do cacau e a possível redução de despesas com a substituição dos fertilizantes minerais pelo uso do fertilizante orgânico produzido na própria fazenda deste estudo. Foi produzido o fertilizante orgânico da casca do cacau de forma experimental em uma fazenda de cacau da região de Linhares, Espírito Santo, que apresentou um volume considerável de nutrientes em sua composição. Em comparação com as Instruções Normativas n°.25 de 2009 e n°. 27 de 2006 do MAPA e proposta da União Europeia CE (2016), o composto da casca do cacau atendeu todos os parâmetros indicados para classificação como fertilizante orgânico. Neste artigo, a estimativa do valor econômico agregado do composto foi determinada pela avaliação do seu conteúdo de nutrientes NPK em relação as fontes minerais populares de NPK. Foram utilizados os fertilizantes uréia, DAP e cloreto de potássio neste comparativo com seus custos médios fornecidos pelo Banco Mundial (dados de junho 2020). Para avaliar uma possível substituição de uso de nutrientes minerais NPK pelos nutrientes gerados no composto orgânico, foi considerado o volume previsto de geração anual de nutrientes pela compostagem versus o volume anual de fertilizantes minerais recomendado para o plantio de cacau da fazenda neste estudo. Como resultado, o valor agregado de nutrientes da tonelada do composto orgânico foi de R\$266,34. Se fosse produzido composto orgânico com todo o volume de cascas geradas anualmente na fazenda, poderiam ser gerados 244.377 kg de macronutrientes primários. Considerando a proporção de adição de NPK na fazenda sugerida por Prezotti et al. (2013) para o cultivo do cacau, foi considerada a introdução de todo o volume de composto para atender a demanda anual do nutriente potássio (K_2O), considerado neste estudo como limitante para não causar possível distúrbio no balanço nutricional do plantio. Neste formato, a redução de custos com a compra de fertilizantes minerais seria R\$174.550,69/ano para a fazenda. Este artigo pode contribuir com uma avaliação econômica do composto orgânico voltado para recuperação de nutrientes da casca

do cacau, incentivando novos processos de recuperação de nutrientes e uso de resíduos no ciclo Nexus e Economia Circular.

PALAVRAS-CHAVE: Fertilizante orgânico; NPK; economia circular e Nexus.

ESTIMATE OF THE ECONOMIC VALUE OF THE ORGANIC COMPOUND OF COCOA SHELL AND THE ECONOMY IN REPLACEMENT OF THE MINERAL FERTILIZER

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the economic value of the organic fertilizer produced by composting the cocoa hull and the possible reduction in expenses with the replacement of mineral fertilizers by the use of the organic fertilizer produced on the farm of this study. According to the first chapter, the organic cocoa husk fertilizer, produced experimentally on a cocoa farm in the region of Linhares, ES, presented a considerable volume of nutrients in its composition. Compared to Normative Instructions No. 25 of 2009 and No. 27 of 2006 of MAPA and proposal of the European Union CE (2016), the compound of the cocoa shell met all the parameters indicated for classification as organic fertilizer. In this chapter, the estimated economic added value of the compound was determined by assessing the content of NPK nutrients in relation to popular mineral sources of NPK. The fertilizers urea, DAP and potassium chloride were used in this comparison with their average costs provided by the World Bank (data from June 2020). In order to evaluate a possible substitution of the use of NPK mineral nutrients by the nutrients generated in the organic compost, the estimated volume of annual nutrient generation by composting versus the annual volume of mineral fertilizers recommended for planting the farm's cocoa in this study was considered. As a result, the aggregate value of nutrients per ton of organic compost was R \$ 266.34. If organic compost were produced with the entire volume of husks generated annually on the farm, 244,200.00 kg of primary macronutrients could be generated. Considering the proportion of NPK addition to the farm suggested by Prezotti et al. (2013) for the cultivation of cacao, it was considered the instruction of the entire volume of compost to meet the annual demand for the potassium nutrient (K_2O), considered in this study as limiting to not cause possible disturbance in the nutritional balance of the plantation. In this format, the cost reduction with the purchase of mineral fertilizers would be R \$ 174,550.69 / year for the farm. This article can contribute to an economic evaluation of the organic compound aimed at recovering nutrients from the

cocoa shell, encouraging new processes of nutrient recovery and use of residues in the Nexus cycle and Circular Economy

KEYWORDS: Organic fertilizer, NPK, circular economy and Nexus.

4.1 INTRODUÇÃO

O mercado de fertilizantes originados de resíduos ainda foi pouco explorado. Apesar do uso dos resíduos na agricultura ser historicamente relatado e o conceito e propostas de Economia Circular e Nexus estarem cada vez mais evidentes, os estudos sobre as fontes orgânicas em substituição aos fertilizantes minerais está caminhando a passos lentos (FAO, 2019; LECUYER, CHATELLIER e DANIEL, 2013; OTT, 2012; DUFLO, KREMER e ROBINSON, 2011; HEISEY e NORTON, 2007; CHAPMAN e EDMOND, 2000).

Na Europa facilmente se encontram dados disponíveis sobre os volumes de resíduos gerados nas atividades econômicas que são direcionados ao mercado de fertilizantes orgânicos, porém nas atividades rurais estes números não são precisos, e assim, também não são levantados adequadamente os volumes e preços utilizados destes resíduos na agricultura. A carência de dados se dá pelo fato de serem transações informais, da falta de cobrança de relatórios oficiais dos setores responsáveis e por não existirem dados em banco oficial disponível sobre o preço acordado (LUPTON, 2017).

Williamson (2011) analisou o comportamento dos agricultores na ocorrência do aumento do preço dos fertilizantes a base de nitrogênio. Ele observou um uso em menor quantidade deste fertilizante mineral neste período. Lupton (2017), observando alguns dados disponíveis, notou que nos períodos nos quais ocorreu aumento no preço dos fertilizantes minerais, a aquisição de estrumes de animais para uso no solo das plantações como substituto aos fertilizantes químicos teve um ligeiro aumento.

Um estudo no mercado de fertilizantes da França mostrou que faltam substitutos adequados aos fertilizantes químicos. Os mesmos são produzidos com composições específicas e controladas, tornando-se fácil a escolha dos consumidores. Diferentemente das matérias primas substitutas geradas de resíduos, que devido às diversas origens, composições e formatos, não são padronizados e podem variar as quantidades de nutrientes e/ou possuir contaminantes que ultrapassem as tolerâncias permitidas. Assim, para determinar o uso do composto orgânico seria

necessária a análise da qualidade deste composto em relação aos nutrientes que possui frente ao uso químico (LUPTON, 2017).

A demanda para uso dos fertilizantes orgânicos derivados de resíduos na agricultura depende de vários fatores, não somente do preço por tonelada paga em relação aos fertilizantes habituais, mas também do valor do transporte, da qualidade agrônômica, da disponibilidade para aquisição, do odor, da facilidade na aplicação, da incerteza no retorno da cultura, dentre outros (LUPTON, 2017; LAZARUS e KOEHLER, 2002; NÚÑEZ e MCCANN, 2008). Segundo Lupton (2017), ainda são necessárias muitas pesquisas e estudos econômicos para correlacionar adequadamente o preço dos fertilizantes orgânicos com os fertilizantes minerais, porém, os valores podem ser reajustados segundo índices oficiais de variação dos preços dos produtos já estabelecidos no mercado.

Geralmente, o adubo orgânico possui menores concentrações de nutrientes em relação ao adubo mineral, o que levaria a um uso maior em volume deste produto nas plantações. Assim a comparação do preço dos nutrientes em produtos à base de resíduos com fertilizantes minerais não mostraria incentivo econômico para a implementação de um sistema de recuperação de nutrientes, uma vez que são distribuídos até mesmo por doação aos agricultores (CHOJNACKA et al., 2019; LU, 2018).

Com isso, observando a possibilidade do uso da casca do cacau como substituto parcial ou total do adubo mineral em um cultivo, o objetivo deste artigo foi estimar o valor econômico do fertilizante orgânico da casca do cacau com base no seu teor nutricional em comparação com produtos minerais já estabelecidos no mercado e a possível economia financeira com o uso do composto na fazenda deste estudo. E também, somado a estes resultados, poder dar suporte e material técnico para projetos que analisem a viabilidade de um sistema de compostagem em maiores escalas, produzindo até mesmo para comércio.

Este artigo está dividido em quatro partes. A primeira consistiu na apresentação do tema com as abordagens já realizadas sobre o assunto buscando situar o estudo no contexto geral do conhecimento. A segunda parte abordou o procedimento

metodológico desenvolvido. A terceira parte os resultados foram explicados e discutidos. E por fim, feitas as considerações finais.

4.1.1 Características do composto da casca de cacau

No experimento conduzido na Fazenda de cacau da Região de Linhares, Espírito Santo, a compostagem da casca do cacau se apresentou como um processo simples e de baixa tecnologia. Todas as pilhas tiveram temperaturas maiores que 55 °C por mais de duas semanas o que indicou a higienização do material. Também constatou-se uma perda de volume expressiva do composto, reduzindo volumetricamente em torno de 50% da sua massa inicial.

No geral, o composto final obtido apresentou um nível adequado de estabilidade e maturidade, e houve concentrações notáveis de matéria orgânica e nutrientes, em especial o nutriente potássio (K_2O). O somatório dos teores dos três macronutrientes primários foi representativo para um composto orgânico, chegando a quase 13% na análise da base seca. O composto produzido atendeu as exigências legais estabelecidas pelas Instruções Normativas n°.25 de 2009 e n°. 27 de 2006 do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e proposta da União Europeia CE (2016). Assim, a recuperação de fertilizantes de resíduos do cacau pode ser muito promissora, e se torna necessário o desenvolvimento e aperfeiçoamento do procedimento da compostagem, visto que as reservas fósseis de nutrientes são finitas e escassas. A conversão das cascas de cacau apresentou-se como uma fonte menos agressiva ao meio ambiente, atendendo os limites de metais contaminantes em sua composição.

Sugere-se desta forma, um alto valor econômico agregado quando da avaliação do conteúdo de nutrientes em relação aos produtos minerais no mercado atualmente. O uso do fertilizante da casca do cacau pode reduzir o consumo de fertilizantes minerais, contribuindo para a preservação de recursos e reciclagem da matéria orgânica.

4.1.2 Valor econômico do composto orgânico

Segundo Lupton (2017) ainda são necessárias muitas pesquisas e estudos econômicos para correlacionar adequadamente o preço dos fertilizantes orgânicos com os fertilizantes minerais, porém, os valores podem ser reajustados segundo índices oficiais de variação dos preços dos produtos já estabelecidos no mercado.

Geralmente, os preços por quilograma do nutriente nos produtos formulados à base de resíduos são mais altos que os fertilizantes minerais. Isso porque são necessários tratamentos adicionais, como reduções de possíveis contaminantes, aditivos para aumento das concentrações de nutrientes, disponibilidade das matérias primas que podem ser sazonais, falta de confiança do consumidor. O composto orgânico ainda é menos atrativo e de menor procura por exigir um volume maior de compra pela baixa concentração dos macronutrientes primários NPK em relação aos fertilizantes minerais comercializados popularmente (GOJIYA, DEB e IYER, 2019; CHOJNACKA, 2019).

Segundo Chojnacka et al. (2019), a comparação do preço dos nutrientes em produtos à base de resíduos com fertilizantes minerais não mostra incentivo econômico para a implementação da compostagem, uma vez que são destinados até mesmo a doação aos agricultores. Para avaliação da viabilidade econômica, devem ser levados em consideração todos os benefícios relacionados a uma nova técnica de recuperação com reduções de custo e os benefícios ambientais que o fertilizante orgânico traz ao cultivo. Se benefícios como redução de recursos não renováveis, gerenciamento de resíduos, recuperação de energia ou custos não forem reduzidos, a compostagem pode ser inviável.

Devem ser conduzidos projetos de educação e demonstração para mostrar a importância da reciclagem de nutrientes e matéria orgânica. Provar a segurança dos fertilizantes à base de resíduos é muito importante para aumento da aceitação pública de tais produtos (MAYER et al., 2016; CHOJNACKA et al., 2019). De acordo com Toop et al. (2017), os procedimentos e respectivas Instruções Normativas sobre adubos orgânicos devem ser adaptados para incentivar o desenvolvimento da cadeia de valor do setor, fornecendo soluções que permitam aumentar a reciclagem e a valorização de resíduos agrícolas e seu uso como fonte de nutrientes. Também

é importante, segundo o autor, que sejam apoiados os empreendimentos que utilizam fontes renováveis, estimulando suas implementações.

Existe uma alta procura por fertilizantes que atendam perfeitamente as necessidades da planta, do solo, preferências dos produtores e do mercado. Estes critérios “sob medida” fazem com que o comércio e uso dos produtos orgânicos fique longe das demandas atuais, pois falta incentivo e orientações necessários para todos os setores envolvidos no campo de fertilizantes orgânicos. Garantir a confiança dos usuários, a segurança e a qualidade dos produtos à base de resíduos são decisivas para quebra de paradigmas no setor agrônômico (CHOJNACKA et al, 2019).

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 Estimativa da quantidade de nutrientes NPK fornecidos pelo composto orgânico

Neste estudo, foi definido utilizar como base para estimativa de valor agregado ao composto o percentual de macronutrientes primários seguindo a metodologia do Jara-Samaniego et al. (2017a). Conforme apresentado no experimento da compostagem da casca do cacau na região de Linhares, o composto orgânico da casca do cacau ofereceu aproximadamente 13% do total de sua massa em base seca em macronutrientes primários NPK.

Assim, para obter a estimativa da quantidade de nutrientes fornecidos pelo composto foi realizada a transformação do teor dos nutrientes encontrados na base seca para a base úmida e multiplicado pelo volume de produção anual da fazenda deste estudo, seguindo a equação 1 a seguir de Otto (2016):

Equação 1:

$$\begin{aligned} &\text{Teor de nutrientes NPK na base úmida do composto (\%)} \\ &= \frac{(100 - \text{umidade encontrada no composto (\%)})}{100} \times \text{teor na base seca (\%)} \end{aligned}$$

Para a avaliação da produção anual potencial do composto foram usadas informações técnicas do cultivo recolhidas com o responsável da fazenda, dados da literatura e também realizado o balanço de massa incluindo as perdas do processo, levando em consideração os resultados do procedimento da compostagem realizado e nos teores de NPK analisados e transformados para base úmida.

4.2.2 Cálculos da estimativa do valor econômico do composto orgânico

O valor econômico dos nutrientes do composto foi determinado seguindo o procedimento utilizado por Jara-Samaniego et al. (2017a) que avaliou o valor econômico equivalente aos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) no adubo orgânico. Para o cálculo de equivalência do fertilizante orgânico para os nutrientes NPK foi empregado o princípio de substituição um para um. Estudos empregando esse princípio incluem De Vries et al. (2012), Bernstad e La Cour Jansen (2011), Lantz e Börjesson (2014), Mezzullo, Mcmanus e Hammond (2013), Lyng et al. (2015) e Brockmann et al. (2014). Neste princípio supõe-se que a quantidade de N, P e K em produtos fertilizantes orgânicos substitua a quantidade equivalente de fertilizante mineral N, P e K, respectivamente. Ou seja, que 1 kg dos macronutrientes primários no fertilizante orgânico pode ser substituível por 1 kg macronutrientes primários no fertilizante mineral (VADENBO, HELLWEG e ASTRUP, 2016).

O princípio de substituição um para um é o método mais comum e mais direto de relacionar os nutrientes nos fertilizantes orgânicos e minerais. Apesar das limitações, este método se aplicou ao objetivo proposto neste artigo, que foi estimar o valor econômico presente no composto orgânico da casca do cacau. Para interações com o solo e plantio, demais métodos e estudos devem ser apreciados e utilizados (HANSERUD et al., 2018).

Foram utilizados dados dos preços coletados do Banco Mundial (média de preços nov-19 a junho-20) dos fertilizantes uréia, DAP e cloreto de potássio como fontes minerais populares de NPK, mesmas fontes consideradas por Jara-Samaniego et al. (2017a):

- Uréia: 46% de N
- DAP: 46% P₂O₅
- Cloreto de potássio: 60% K₂O

A partir deste levantamento foi determinado o preço da tonelada de cada um dos nutrientes NPK, seguindo a equação 2.

Equação 2:

$$\text{Preço da unidade do nutriente (R\$/t)} = \frac{\text{Preço do fertilizante mineral (R\$/t)}}{\% \text{ do nutriente no fert. mineral}} \times 100$$

Após o cálculo do preço por tonelada de cada nutriente, seguindo a equação 3, foi estimado o valor econômico de cada concentração de NPK presente na tonelada do composto.

Equação 3:

$$\text{PNC}_{(N, P_{2O_5}, K_2O)} = \frac{\text{Preço da unidade do nutriente (R\$/t)} \times \% \text{ do nutriente no fert.orgânico}}{100}$$

Sendo,

- PNC: Preço de cada nutriente no fertilizante orgânico (R\$/tonelada).

Após isso pela equação 4 foi realizado o somatório do preço de cada nutriente no fertilizante orgânico.

Equação 4:

$$\text{PTNC} = \text{PNC}_N + \text{PNC}_{P_{2O_5}} + \text{PNC}_{K_{2O}}$$

Sendo,

- PTNC: Preço total dos nutrientes do composto (R\$/t)

Além disso, considerou-se que o composto possuía grande volume de matéria orgânica e micronutrientes, que enriqueceram o seu valor nutricional, e assim, com base no que foi sugerido pelo autor Kiehl (2002), acrescentou 50% do valor total do somatório do resultado da Equação 4. A equação 5 a seguir representa a estimativa do valor econômico da tonelada do composto orgânico da casca do cacau.

Equação 5:

$$\text{Valor econômico do composto} = PTCN + \frac{PTCN}{2}$$

4.2.3 Recomendação nutricional para a cultura do cacau

Para um aumento significativo na produção de amêndoas, a prática da adubação dos cacauzeiros se torna fundamental. A fórmula de adubação dos macronutrientes pode variar muito devida várias condições: distribuição e concentração de nutrientes já existentes no solo, umidade do solo e pH, matéria orgânica disponível, dentre outros elementos. Ainda, os nutrientes absorvidos pelas plantas podem se alocar em partes das plantas que não têm importância para o incremento da produção, como brotos e excesso de ramos, que também sofrem influências pelo método de manejo do plantio.

Assim, como neste estudo não foram efetuadas análises do solo do plantio e das plantas existentes, considerou-se para o cálculo da necessidade nutricional do cacauzeiro os teores médios de NPK indicados para produção de 1000kg de amêndoas secas recomendadas por Prezotti et al (2013).

4.2.4 Análise da quantidade de NPK necessário

Com base na recomendação nutricional para a cultura do cacau extraída dos autores Prezotti et al. (2013) e no total de NPK fornecido pelo composto orgânico, foi calculada a quantidade de composto orgânico necessário pela relação de proporção

para suprir a demanda da cultura para a produção anual da fazenda que gira em média 600.000kg de amêndoas secas de cacau.

4.2.5 Estimativa da economia de adubo mineral na cultura do cacau

Para avaliar uma possível substituição de uso de nutrientes minerais NPK pelos nutrientes gerados no composto orgânico, foi considerado o volume previsto de geração anual de nutrientes pela compostagem versus o volume de fertilizantes minerais anual recomendado para o plantio da fazenda neste estudo. Foram considerados os mesmos fertilizantes comerciais populares para esta estimativa: a uréia, o DAP e o cloreto de potássio com seus valores fornecidos pelo Banco Mundial (média de preços nov-19 a junho-20) (JARA-SAMANIEGO et al.,2017a).

Porém, considerando que o composto possuía o potássio (K_2O) como o nutriente mais representativo, para essa estimativa do total em kg de consumo de composto orgânico a ser absorvido pela fazenda, considerou-se o nutriente potássio que possuía o maior percentual disponível no composto como o limitante de uso do composto, pois se inserido na fazenda um volume de composto maior que o indicado pelos autores Prezotti et al. (2013), poderiam ocorrer distúrbios de excesso deste nutriente. Desta forma, considerou-se a equação 6 a seguir:

Equação 6:

$$TFO = \frac{\text{Recomendação do nutriente } K_2O \text{ para a produção da fazenda (kg/ano)}}{\% \text{ do nutriente } K_2O \text{ no fert.orgânico}} \times 100$$

Sendo:

- TFO: Total de fertilizante orgânico possível de ser absorvido na Fazenda tendo como limitante o nutriente K_2O (kg/ano).

Para determinar a quantidade total de cada nutriente no composto orgânico que poderia ser absorvido pela fazenda considerando o volume limitante pelo elemento potássio foi utilizada a equação 7.

Equação 7:

$$\text{TNO} = \frac{\text{TFO} \times \% \text{ do nutriente } \text{K}_2\text{O} \text{ no fert.orgânico}}{100}$$

Sendo:

- TNO: Total de nutriente orgânico possível de ser absorvido na Fazenda tendo como limitante o nutriente K_2O (kg/ano).

Pela equação 8 a seguir foi calculada a demanda anual de cada fertilizante mineral para a fazenda em quilos considerando o percentual dos nutrientes NPK encontrados nos fertilizantes minerais utilizados neste estudo.

Equação 8:

$$\text{DAFM} = \frac{\text{Recomendação do nutriente para a produção da fazenda (kg/ano)}}{\% \text{ do nutriente no fert. mineral}} \times 100$$

Sendo:

- DAFM: Demanda anual de fertilizante mineral (kg/ano).

O custo estimado anual na compra dos fertilizantes minerais foi definido pela equação 9 a seguir.

Equação 9:

$$\text{CF} = \text{DAFM} \times \text{Preço do fertilizante mineral (R\$/kg)}$$

Sendo:

- CF: Custo na compra de fertilizantes minerais da Fazenda (R\$/ano)

Para encontrar a demanda de uso de fertilizante mineral combinado com o uso de fertilizantes orgânicos produzidos por compostagem na fazenda, foi utilizada a equação 10:

Equação 10:

$$DAFMC = \frac{\text{Recomendação de nutriente para a fazenda (kg/ano)} - \text{TNO}}{\% \text{ do nutriente no fert. mineral}} \times 100$$

Sendo:

- DAFMC: Demanda anual de fertilizante mineral combinado com o uso do fertilizante orgânico (kg/ano).

E por fim, para encontrar o valor de economia anual com a compra de fertilizantes minerais absorvendo o composto orgânico, foi utilizada a equação 11:

Equação 11:

$$\text{Economia anual com o uso combinado (R\$)} = \text{CF} - (\text{DAFMC} \times \text{Preço do fertilizante mineral (R\$/kg)})$$

Sendo:

- CF: Custo na compra de fertilizantes minerais da Fazenda (R\$/ano);
- DAFMC: Demanda anual de fertilizante mineral combinado com o uso do fertilizante orgânico (kg/ano).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Estimativa da quantidade de nutrientes NPK fornecida pelo composto orgânico

Conforme avaliação do composto orgânico no experimento realizado na Fazenda de cacau em Linhares, Espírito Santo, o mesmo ofereceu aproximadamente 13% do total de sua massa em base seca em macronutrientes primários NPK pelas análises laboratoriais. Utilizando a Equação 1 os percentuais de nutrientes foram passados

para a base úmida do composto, resultando um total de cerca de 8,15% de NPK com 37% de umidade, apresentado na Tabela 6 a seguir.

Tabela 6: Nutrientes presentes no composto orgânico base úmida a 37%.

Nutriente	Composto da casca do cacau base úmida (37%)
% Nitrogênio (N)	1,7640
% Fósforo (P ₂ O ₅)	2,1105
% Potássio (K ₂ O)	4,2714
% Total combinado	8,1459

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Segundo a literatura VALLE (2012), cada fruto de cacau maduro pesa em média 0,5 kg, sendo que 80% deste total representa a casca do fruto. A fazenda deste estudo produz em média na sua safra anual (ano civil) cerca de 600.000 kg de amêndoas de cacau secas. Cada fruto maduro produz em média 0,04kg de amêndoas secas, o que pode-se concluir uma produção média de 15 milhões de unidades de frutos por ano na Fazenda. Estes frutos vão gerar 6 milhões de quilos de cascas frescas todos os anos. A seguir as informações resumidas estão apresentadas:

$$1 \text{ fruto maduro} = 0,5 \text{ kg}$$

$$1 \text{ fruto maduro} = 0,4 \text{ kg de cascas frescas (80\%)} + 0,1 \text{ kg de amêndoas frescas (20\%)}$$

$$1 \text{ fruto maduro} = 0,04 \text{ kg de amêndoas secas}$$

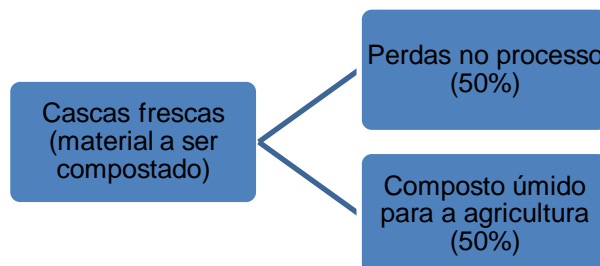
$$600.000 \text{ kg de amêndoas secas} = 15.000.000 \text{ unidades de frutos maduros}$$

$$15.000.000 \text{ unidades de frutos maduros} = 6.000.000 \text{ kg de cascas frescas}$$

No procedimento da compostagem realizado foram usadas cerca de 2.100,00kg de cascas frescas e seguindo o resultados do experimento e pela literatura de Cerri et al. (2008), as leiras reduziram em torno de 50% da sua massa inicial. Cerri et al. (2008) descreveram que parte da massa de resíduos pode ser perdida sob a forma de vapor d' água, CO₂ e umidade sob a forma de chorume.

Desta forma, para cada quilograma de casca madura foram gerados aproximadamente 0,50 kg de composto orgânico. A produção anual do composto seria 50% da produção de cascas maduras na fazenda conforme Figura 12 a seguir.

Figura 12: Representação das perdas na compostagem da casca do cacau



Fonte: Elaboração própria do autor.

2100 kg de cascas frescas = 1050 kg de composto orgânico

1 kg de cascas frescas = 0,50 kg de composto orgânico

6.000.000 kg de cascas frescas = 3.000.000 kg de composto orgânico por ano

Assim, se considerada a geração prevista de 3.000 toneladas de composto, seria possível uma geração potencial superior a 244 mil quilogramas de nutrientes primários NPK (em forma mineral) por ano, conforme apresentado na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7: Total de NPK em kg por ano fornecido pelo composto.

Nutriente	% do nutriente no composto	Total de NPK no composto (kg/ano)
Nitrogênio (N)	1,7640	52.920
Fósforo (P ₂ O ₅)	2,1105	63.315
Potássio (K ₂ O)	4,2714	128.142
Total combinado	8,1459	244.377

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

4.3.2 Cálculos da estimativa do valor econômico do composto orgânico

Foram utilizados os fertilizantes uréia, DAP e cloreto de potássio como fontes minerais populares de NPK, mesmas fontes consideradas por Jara-Samaniego et al. (2017a), fornecido pelo Banco Mundial (média de preços nov-19 a junho-20). Os valores médios negociáveis dos fertilizantes uréia (46% N), DAP (46% P₂O₅) e cloreto de potássio (60% K₂O) foram de 1.105,08, 1.195,16 e 1.129,14 R\$/ tonelada, respectivamente.

Esses dados permitiram o cálculo dos valores médios das unidades nutrientes N, P₂O₅ e K₂O utilizando a equação 2, demonstrados na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 Valores médios das unidades de fertilizantes.

Nutriente	Nitrogênio (N)	Fósforo (P₂O₅)	Potássio (K₂O)
Fonte mineral	Uréia	DAP	Cloreto potássio
Preço do fertilizante (R\$/t)	1.105,08	1.195,16	1.129,14
Composição (%)	46	46	60
Preço da unidade do nutriente (R\$/t)	2.402,34	2.598,17	1.881,90

Fonte: Elaboração própria do autor.

E, seguindo as equações 3, 4 e 5, foi calculada a estimativa do valor econômico da tonelada do composto orgânico com base no valor de mercado de cada nutriente comercial, considerando as concentrações dos nutrientes NPK que o composto possuía. Foi incluído também o valor adicional de 50% no resultado baseado nas demais concentrações de matéria orgânica e outros nutrientes devido a grande importância no conteúdo do composto. A Tabela 9 apresenta os resultados.

Tabela 9 preço sugerido para o composto orgânico.

Composto orgânico	Preço estimado (R\$/t)
Nitrogênio (N) - 1,77%	42,38
Fósforo (P ₂ O ₅) - 2,11%	54,82
Potássio (K ₂ O) - 4,27%	80,36
Total NPK 8,15%	177,56
Matéria orgânica + demais nutrientes	88,78
Preço total sugerido para o composto	266,34

Fonte: Elaboração própria do autor.

4.3.3 Recomendação nutricional para a cultura do cacau

Na tabela 10 a seguir, considerou-se neste artigo, a respectiva necessidade nutricional do cacauzeiro com os teores médios de NPK indicados para produção de 1000kg de amêndoas secas seguindo Prezotti et al. (2013). Foram considerados valores médios, uma vez que não foram efetuadas análises de solo e do plantio de cacauzeiro da área da fazenda neste estudo.

Tabela 10: Recomendações NPK para produção de 1000kg de amêndoas secas (kg)

Nutriente	Recomendação (kg)
Nitrogênio (N)	90
Fósforo (P ₂ O ₅)	70
Potássio (K ₂ O)	70
Total combinado	230

Fonte: Elaboração própria do autor

4.3.4 Análise da quantidade de NPK necessário

4.3.4.1 Nitrogênio (N)

Segundo o sugerido por Prezotti et al. (2013) seria necessário 90 Kg de N para a produtividade de 1000Kg de amêndoas secas. A fazenda deste estudo produz em média na sua safra anual (ano civil) cerca de 600.000 kg de amêndoas de cacau secas, desta forma:

$$90 \text{ kg de N} = 1.000 \text{ kg de amêndoas secas}$$

$$600.000 \text{ kg de amêndoas secas} = 54.000 \text{ kg de N}$$

4.3.4.2 Fósforo (P₂O₅)

Segundo o sugerido por Prezotti et al. (2013) seria necessário 70 Kg de P₂O₅, para a produtividade de 1000Kg de amêndoas secas, desta forma:

$$70 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 = 1.000 \text{ kg de amêndoas secas}$$

$$600.000 \text{ kg de amêndoas secas} = 42.000 \text{ kg de P}_2\text{O}_5$$

4.3.4.3 Potássio (K₂O)

Segundo o sugerido por Prezotti et al. (2013) seria necessário 70 Kg de K₂O, para a produtividade de 1000Kg de amêndoas secas, desta forma:

$$70 \text{ kg de K}_2\text{O}=1.000 \text{ kg de amêndoas secas}$$

$$600.000 \text{ kg de amêndoas secas}=42.000 \text{ kg de K}_2\text{O}$$

Em resumo, na Tabela 11 a seguir, está apresentado o total de nutrientes que poderia ser captado no composto orgânico da produção da fazenda de acordo com seu volume de geração de cascas anual. Nota-se que o nutriente de maior valor volume disponível é o potássio (K₂O), seguido do fósforo (P₂O₅), mostrando que a fazenda poderia ser autosuficiente no consumo destes dois nutrientes por compostagem orgânica. A produção de nitrogênio (N) também foi expressiva, mas ainda teriam que ser adquiridos aproximadamente mais 1200kg deste nutriente em forma mineral para completar a dosagem sugerida por Prezotti et al. (2013) por ano.

Tabela 11 Total de nutrientes que poderia ser captado no composto orgânico da produção da fazenda de acordo com seu volume de cascas anual

Nutriente	Total de nutrientes necessário para a fazenda (kg/ano)	Estimativa produção de nutrientes no composto orgânico (kg/ano)	Diferença (kg/ano)
Nitrogênio (N)	54.000	52.920	- 1.080
Fósforo (P ₂ O ₅)	42.000	63.315	+ 21.315
Potássio (K ₂ O)	42.000	128.142	+ 86.142
Total combinado	138.000	244.377	+ 108.537

Fonte: Elaboração própria do autor

É possível destacar, visualizando a Tabela 11, que se fosse produzido composto orgânico com todo o volume de cascas de cacau geradas na fazenda deste artigo, poderia ser possível obter grandes volumes de nutrientes, principalmente para o elemento potássio (K₂O), gerado extra mais de 86.000kg, que poderiam ser comercializados.

4.3.5 Estimativa de economia de adubo mineral na cultura do cacau

Para avaliar uma possível substituição de uso de nutrientes minerais NPK pelos nutrientes gerados no composto orgânico, foi considerado o volume previsto de geração anual de nutrientes pela compostagem versus o volume necessário para a cultura anual que foi adquirida no comércio. Foram considerados os mesmos fertilizantes comerciais populares para esta estimativa, a uréia, o DAP e cloreto de potássio como fontes minerais populares de NPK, mesmas fontes consideradas por Jara-Samaniego et al. (2017a), fornecido pelo Banco Mundial (média de preços nov-19 a junho-20).

Para estimativa do total em kg de consumo de composto orgânico a ser absorvido pela fazenda neste estudo, foi adotado um cenário conservador. Considerou-se o nutriente de maior percentual disponível no composto como o limitante de uso, no caso o potássio (K_2O), pois caso inserido na fazenda maior volume de composto além do indicado, poderiam ocorrer distúrbios de excesso de nutrientes.

O volume total de composto para atender o volume de potássio (K_2O) segundo a equação 6 foi de 983.606,55kg de composto orgânico. Utilizando este volume de composto toda a demanda de potássio (K_2O) seria suprida, mas ainda seria necessário adquirir aproximadamente 58 ton dos nutrientes nitrogênio (N) e fósforo (P_2O_5), conforme resultados da equação 7 dispostos na Tabela 12 a seguir.

Tabela 12: Volume total de nutrientes utilizando como limitante o teor de potássio.

Nutriente	Total de nutrientes necessário para a fazenda (kg/ano)	Total de nutrientes possível de ser absorvido pela Fazenda (kg/ano)	Diferença (kg/ano)
Nitrogênio (N)	54.000	17.311,47	36.688,53
Fósforo (P_2O_5)	42.000	20.754,09	21.245,91
Potássio (K_2O)	42.000	42.000,00	0,00
Total combinado	138.000	80.065,56	57.934,44

Fonte: Elaboração própria do autor.

Utilizando a equação 8 foi possível encontrar a demanda anual em quilogramas para aquisição de fertilizantes minerais da fazenda que atenderia a quantidade requerida de NPK, conforme a Tabela 13 a seguir. O custo estimado em reais que a fazenda

possui anualmente para adquirir os fertilizantes comerciais foram calculados pela equação 9.

Ainda, na tabela 13 está descrita a demanda de fertilizante mineral com o uso combinado de 983.606,55 kg fertilizante orgânico, calculado pela equação 10. E na última coluna da Tabela 13 foi inserida a economia pontencial em reais por ano na fazenda com o uso combinado do fertilizante orgânico com o fertilizante mineral.

Tabela 13: Economia potencial na Fazenda com o uso do fertilizante orgânico.

Fertilizant e mineral	Demanda anual de fertilizante mineral (kg)	Custo estimado anual na compra de fertilizante mineral (R\$)	Demanda anual de fertilizante mineral combinado com o uso do fertilizante orgânico (kg)	Custo estimado anual de fertilizante mineral combinado com o uso do fertilizante orgânico (R\$)	Economia potencial (R\$)
Uréia (N - 46%)	117.391,30	129.726,77	79.757,67	88.138,60	41.588,16
DAP (P2O5 - 46%)	91.304,34	109.123,30	46.186,76	52.200,56	53.922,73
Cloreto de Potássio (K2O - 60%)	70.000	79.039,80	0,00	0,00	79.039,80
Total	278.695,64	317.890,37	125.944,43	143.339,16	174.550,69

Fonte: Elaboração própria do autor.

Assim, observa-se uma possível economia anual de R\$174.550,69 na compra de fertilizantes minerais para a fazenda com o uso do composto orgânico da casca do cacau. Neste valor não foi somado ainda os benefícios do material orgânico disponível no composto que não está presente no fertilizante comercial e também todos os outros nutrientes disponíveis em menores proporções.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foi possível estimar o valor econômico do fertilizante orgânico da casca do cacau com base no seu teor nutricional em comparação com produtos minerais já estabelecidos no mercado. Como resultado, o valor agregado de nutrientes da tonelada do composto orgânico foi de R\$266,34. Se fosse produzido composto

orgânico com todo o volume de cascas geradas anualmente na fazenda, poderiam ser gerados 244.377 kg de macronutrientes primários.

Também foi possível verificar a economia financeira com o uso do composto na fazenda deste estudo, que poderia chegar em R\$174.550,69/ano de redução de custos com a compra de fertilizantes minerais na fazenda. E assim, identificada a casca do cacau como uma possível matéria-prima para adubo orgânico. O valor do composto orgânico em nutrientes foi representativo, sendo uma fonte de nutrientes e matéria orgânica ao solo.

É importante destacar que neste trabalho foi estimado o valor agrônômico do composto orgânico da casca do cacau em relação ao teor dos nutrientes presentes em sua composição. Mas para aplicação em campo são necessários maiores estudos, pois os valores encontrados podem não estar prontamente disponíveis ao plantio. Estão sujeitos a alterações devido ao tipo do solo, tipo de cultura, método de aplicação, disponibilidade de água e demais condições ambientais presentes no meio. Novos trabalhos seriam necessários para recomendar a substituição de fontes minerais de nutrientes por fontes orgânicas renováveis, pois os dados disponíveis até o momento não são conclusivos.

Este artigo pode contribuir com uma avaliação econômica do composto orgânico voltado para recuperação de nutrientes da casca do cacau, incentivando novos processos de recuperação de nutrientes e uso de resíduos no ciclo Nexus e Economia Circular. E também, somado a estes resultados, poder dar suporte e material técnico para projetos que analisem a viabilidade de um sistema de compostagem em maiores escalas, produzindo até mesmo para comércio.

5 CONCLUSÃO

Neste estudo foi possível identificar as características agronômicas do fertilizante orgânico da casca do cacau produzido por compostagem e o valor econômico em nutrientes do produto. Foi verificada que é possível uma economia na aquisição de fertilizantes minerais com o uso do composto no plantio de cacau.

Como resultados, em comparação Instruções Normativas n°. 25 de 2009 e n°. 27 de 2006 do MAPA e com a nova proposta de regulamento do Parlamento Europeu para adubo orgânico, a CE (2016), o composto da casca do cacau atendeu todos os parâmetros indicados para seu enquadramento como fertilizante orgânico. O somatório dos teores dos três macronutrientes primários NPK foi representativo, chegando a quase 13% na base de matéria seca.

Se fosse produzido composto orgânico com todo o volume de cascas geradas anualmente na fazenda, poderiam ser gerados 244.377 kg de macronutrientes primários e o resultado do valor agregado de nutrientes da tonelada do composto orgânico foi de R\$266,34. Caso ocorresse a utilização do composto da casca do cacau na fazenda deste estudo, considerando o cenário mais conservador limitando o volume de composto ao atendimento da demanda do nutriente potássio (K_2O), a redução de custos com a compra de fertilizantes minerais seria R\$174.550,69/ano para a fazenda, incluindo o benefício não mensurável da introdução de matéria orgânica no solo.

Foi destaque neste estudo, o alto valor econômico agregado quando da avaliação do conteúdo de nutrientes em relação aos produtos minerais no mercado atualmente. O uso do fertilizante da casca do cacau poderia reduzir o consumo de fertilizantes minerais, contribuindo para a preservação de recursos e reciclagem da matéria orgânica. Com o retorno do resíduo do cacau como um produto agrícola, poderia ocorrer à utilização do recurso disponível, fechando um ciclo e promovendo diversos benefícios em cadeia, dentro das novas diretrizes Nexus e Economia Circular.

Observou-se como importante o desenvolvimento de novas linhas de metodologias com foco em produção do composto orgânico da casca do cacau, agregando valor aos resíduos dos cultivos agrícolas. Este estudo se mostrou relevante por contribuir

com avanços científicos e tecnológicos, influenciando em futuras decisões no âmbito do desenvolvimento ambiental e econômico das regiões produtoras de cacau. Uma gestão de resíduos agrícolas e o uso dos mesmos de forma eficiente se tornaram essenciais para fortalecer a economia mundial até a circularidade. As tecnologias necessárias para alcançar esses benefícios dos resíduos agrícolas ainda estão em estágio inicial e requerem mais esforços na forma de estudos em escala piloto, como o aqui realizado, para testarem sua eficácia e seguirem para aplicações práticas.

REFERÊNCIAS

BERNSTAD, A.; LA COUR JANSEN, J. A life cycle approach to the management of household food waste—a Swedish full-scale case study. **Waste management**, v. 31, n. 8, p. 1879-1896, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009**. Aprova as Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem ea rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Brasília: DOU, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 27, de 05 de junho de 2006**. Aprova os limites máximos de agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas admitidos nos fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes destinados à agricultura. Brasília: DOU, 2006.

BROCKMANN, D. et al. Environmental assessment of nutrient recycling from biological pig slurry treatment—Impact of fertilizer substitution and field emissions. **Bioresource technology**, v. 163, p. 270-279, 2014.

CE - COMISSÃO EUROPEIA. Pacote da Economia Circular. Proposta de Regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho que estabelece regras relativas à disponibilização no mercado de produtos fertilizantes com a marcação CE e que altera os Regulamentos (CE) n.º 1069/2009 e (CE) n.º 1107/2009. 45. 2016.

CERRI, C. E. P. et al. Compostagem. **São Paulo: Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo**, 2008.

CHAPMAN, K.; EDMOND, H. Mergers/acquisitions and restructuring in the EU chemical industry: patterns and implications. **Regional Studies**, v. 34, n. 8, p. 753-767, 2000.

CHOJNACKA, K. et al. Recovery of fertilizer nutrients from materials-Contradictions, mistakes and future trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 110, p. 485-498, 2019.

DE VRIES, J. W. et al. Comparing environmental consequences of anaerobic mono- and co-digestion of pig manure to produce bio-energy—a life cycle perspective. **Bioresource technology**, v. 125, p. 239-248, 2012.

DUFLO, E.; KREMER, M.; ROBINSON, J. Nudging farmers to use fertilizer: Theory and experimental evidence from Kenya. **American economic review**, v. 101, n. 6, p. 2350-90, 2011.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. World Fertilizer Trends and Outlook to 2022. 2019.

GOJIYA, A.; DEB, D.; IYER, K. R. Feasibility study of power generation from agricultural residue in comparison with soil incorporation of residue. **Renewable Energy**, v. 134, p. 416-425, 2019.

HANSERUD, O. S. et al. Choice of mineral fertilizer substitution principle strongly influences LCA environmental benefits of nutrient cycling in the agri-food system. **Science of The Total Environment**, v. 615, p. 219-227, 2018.

HEISEY, P. W.; NORTON, G. W. Fertilizers and other farm chemicals. **Handbook of agricultural economics**, v. 3, p. 2741-2777, 2007.

JARA-SAMANIEGO, J. et al. Composting as sustainable strategy for municipal solid waste management in the Chimborazo Region, Ecuador: Suitability of the obtained composts for seedling production. **Journal of cleaner production**, v. 141, p. 1349-1358, 2017.

JARA-SAMANIEGO, J. et al. Development of organic fertilizers from food market waste and urban gardening by composting in Ecuador. **Plo Sone**, v. 12, n. 7, p. e0181621, 2017.

KIEHL, E. J. Manual da compostagem, maturação e qualidade do composto. Piracicaba: E. J. Kiehl, 2002. 171 p.

LANTZ, M.; BÖRJESSON, P. Greenhouse gas and energy assessment of the biogas from co-digestion injected into the natural gas grid: A Swedish case-study including effects on soil properties. **Renewable energy**, v. 71, p. 387-395, 2014.

LAZARUS, W. F.; KOEHLER, R. G. The economics of applying nutrient-dense livestock waste at low rates. **Applied Economic Perspectives and Policy**, v. 24, n. 1, p. 141-159, 2002.

LECUYER, B.; CHATELLIER, V.; DANIEL, K. Les engrais minéraux dans les exploitations agricoles françaises et européennes. **Économie rurale. Agricultures, alimentations, territoires**, n. 333, p. 151-161, 2013.

LUPTON, S. Markets for waste and waste-derived fertilizers. An empirical survey. **Journal of Rural Studies**, v. 55, p. 83-99, 2017.

LYNG, K. et al. The Bio Value Chain model: a Norwegian model for calculating environmental impacts of biogas value chains. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, n. 4, p. 490-502, 2015.

MAYER, B. et al. Total value of phosphorus recovery. **Environmental science & technology**, v. 50, n. 13, p. 6606-6620, 2016.

MEZZULLO, W. G.; MCMANUS, M. C.; HAMMOND, G. P. Life cycle assessment of a small-scale anaerobic digestion plant from cattle waste. **Applied Energy**, v. 102, p. 657-664, 2013.

NÚÑEZ, J. T.; MCCANN, L. Determinants of manure application by crop farmers. **Journal of soil and water conservation**, v. 63, n. 5, p. 312-321, 2008.

OTT, H. Fertilizer markets and their interplay with commodity and food prices. **Report for the European Commission Joint Research Centre, Brussels**, 2012.

OTTO, R. Aproveitamento de resíduos orgânicos na recuperação de áreas degradadas. Piracicaba, SP. 2016.

PREZOTTI, L. C. et al. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação. 2013.

TOOP, T. A. et al. Agro Cycle—developing a circular economy in agriculture. **Energy Procedia**, v. 123, p. 76-80, 2017.

VADENBO, C.; HELLWEG, S.; ASTRUP, T. F. Let's be clear (er) about substitution: A reporting framework to account for product displacement in life cycle assessment. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 5, p. 1078-1089, 2017.

VALLE, R. R. Ciência, tecnologia e manejo do cacaueteiro. **Itabuna BA**, 2012.

WILLIAMSON, J. M. The role of information and prices in the nitrogen fertilizer management decision: New evidence from the agricultural resource management survey. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, p. 552-572, 2011.