

INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
MESTRADO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

TAYS MYRELLE DE VASCONCELOS SIQUEIRA

**REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE UMA AGROINDÚSTRIA A PARTIR
DA COMPOSTAGEM**

Marechal Deodoro, AL

2021

TAYS MYRELLE DE VASCONCELOS SIQUEIRA

**REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE UMA AGROINDÚSTRIA A PARTIR
DA COMPOSTAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (Modalidade Mestrado Profissional) como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. André Suêlto Tavares de Lima.

Marechal Deodoro, AL

2021

FICHA CATALOGRÁFICA



**Dados Internacionais de Catalogação na
Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Marechal Deodoro
Biblioteca Dorival Apratto**

S618r

Siqueira, Tays Myrelle de Vasconcelos.

Reaproveitamento dos resíduos de uma agroindústria a partir da compostagem / Tays Myrelle de Vasconcelos Siqueira. – 2021.

77 f. : il., col.

1 CD-ROM : 2,86 megabytes (PDF) ; 4 ¾ pol. ; caixa acrílica (12,5 cm x 14 cm).

Inclui bibliografia e figuras.

Apêndices: p. 52-77.

Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologias Ambientais) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus* Marechal Deodoro, Marechal Deodoro, 2021.

Orientador: Prof. Dr. André Suêlto Tavares de Lima.

1. Resíduos agroindustriais. 2. Relação C/N. 3. Degradação da matéria orgânica. 4. Composto orgânico I. Título. II. Lima, André Suêlto Tavares.

CDD: 631

**Maria Jôse Nascimento Leite Machado
Bibliotecária – CRB-4/2125**

TAYS MYRELLE DE VASCONCELOS SIQUEIRA

**REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE UMA AGROINDÚSTRIA A PARTIR DA
COMPOSTAGEM.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Programa de Pós-Graduação em
Tecnologias Ambientais (Modalidade
Mestrado Profissional) como requisito para a
obtenção do título de Mestre em Tecnologias
Ambientais.

Aprovada em 26/07/2021.

Orientador:

Dr. André Suêlto Tavares de Lima – IFAL / *Campus Maragogi*

Banca examinadora:

Dra. Erika Socorro Alves Graciano de Vasconcelos – Instituto Nacional do Semiárido

Oscar Mariano Hafle – IFAL / *Campus Maragogi*

Marechal Deodoro, AL

2021

*Dedico a Deus cada etapa desta caminhada
concluída, cada obstáculo que consegui
superar, cada angústia que consegui suportar.
Dedico a Ti, Senhor, todas as minhas vitórias.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelas oportunidades que Ele me proporciona na vida, pela minha saúde e por sempre me iluminar.

Agradeço a minha família! Sempre me incentivou, me apoiou e confiou em mim. Filha de educadores, meus pais sempre proveram educação e condições de estudo. À minha mãe pela preocupação e cuidados. Ao meu pai pelo esforço e ajuda no meu projeto de estudo.

Agradeço à minha avó, Tercy Vasconcelos (*in memorian*), que sempre buscou educar seus filhos e fez com que minha mãe também buscasse educar a mim. Minha querida avó, que com idade avançada sempre me perguntava como estava me saindo na “faculdade”.

Agradeço aos amigos que fiz e companheiros de turma, que sempre estavam dispostos a ajudar e tirar dúvidas. Pudemos compartilhar os momentos divertidos e os críticos enquanto jornada acadêmica. Agradeço em especial ao meu amigo Everton Martins, dividimos trabalhos, angústias e até mesmo caronas.

Agradeço ao meu noivo Jefferson Alves pela paciência e compreensão sempre que precisei estar ausente devido aos estudos.

Agradeço ao meu orientador e professor André Suêlto por sua disponibilidade, suporte e motivação.

Agradeço à COOPEAGRO pela oportunidade, pelo espaço disponibilizado e confiança.

Agradeço ao Inaldo e ao Matheus, companheiros de pesquisa que sempre estavam disponíveis a me ajudar e apesar do trabalho pesado, desenvolveram suas atividades sempre com bom humor.

SIQUEIRA, Tays Myrelle de Vasconcelos. Viabilidade para o reaproveitamento dos resíduos de uma agroindústria a partir da compostagem. 77 f. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – *Campus* Marechal Deodoro, Instituto Federal de Alagoas, Marechal Deodoro, 2021.

RESUMO

O processo de modernização das atividades agropecuárias por meio do surgimento de novas tecnologias e maquinários resultaram em um substancial aumento da produção de agroindústrias e consequente incremento na geração de resíduos. Os resíduos gerados nas instalações de agroindústrias são classificados como resíduos agroindustriais devido à atividade que lhe deu origem. De forma geral, os resíduos necessitam de atenção especial quanto ao seu gerenciamento e manejo, desde a sua origem até a destinação final, pois são potenciais fonte poluidora dos recursos ambientais. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece como um de seus objetivos o reaproveitamento dos resíduos e classifica a compostagem como uma forma ambientalmente adequada de destinação final dos resíduos orgânicos. Isto posto, o presente trabalho teve como objetivo viabilizar o processo de compostagem como uma forma de reaproveitamento dos resíduos orgânicos vegetais gerados por uma agroindústria processadora de frutas para fabricação de polpas. Para isto foi feita a caracterização físico-química dos subprodutos gerados pela agroindústria para fins de dimensionamento de possíveis pilha de compostagem, como a proporção de diferentes resíduos a serem misturados. Também foi realizado o monitoramento de parâmetros fundamentais para a condução adequada do processo, os quais influenciaram a qualidade do composto orgânico final formado. Os resultados demonstraram que os parâmetros monitorados seguiram o indicado na literatura, bem como as análises laboratoriais do produto final formado sugeriram sua utilização como agente condicionador de solo contribuindo para a melhoria de suas condições físico-químicas e biológicas. Além disso, o processo de compostagem desenvolvido contribuiu com a diminuição substancial do volume de resíduos que seriam enviados ao aterro sanitário e com a ciclagem de nutrientes no solo.

Palavras-chave: Resíduos Agroindustriais; Relação C/N; Degradação da matéria orgânica; Composto orgânico.

SIQUEIRA, Tays Myrelle de Vasconcelos. Viability of reusing agroindustry waste from composting. 77 f. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – *Campus Marechal Deodoro*, Instituto Federal de Alagoas, Marechal Deodoro, 2021.

ABSTRACT

The modernization process of agricultural activities through the emergence of new technologies and machinery resulted in a substantial increase in the production of agricultural industries and a consequent rise in waste generation. Waste generated in agroindustry facilities is classified as agro-industrial waste due to the activity that gave rise to it. In general, waste needs special attention regarding its management and handling, from its origin to its final destination, as it is a potential polluting source of environmental resources. The National Policy on Solid Waste establishes as one of its objectives the reuse of waste and classifies composting as an environmentally proper form of final disposal of organic waste. Therefore, this study aimed to make the composting process viable as a way of reusing organic vegetable residues generated by a fruit processing agroindustry for the manufacture of pulps. For this, the physicochemical characterization of the by-products generated by the agroindustry for sizing of possible compost piles, such as the proportion of different residues to be mixed. The monitoring of fundamental parameters for the proper conduction of the process was also carried out, which influenced the quality of the final organic compound formed. The results showed that the monitored parameters followed what was indicated in the literature, as well as the laboratory analyzes of the final product formed, which suggested its use as a soil conditioner agent, contributing to the improvement of its physical-chemical and biological conditions. In addition, the composting process developed contributed to a substantial reduction in the volume of waste that would be sent to the landfill and also with the cycling of nutrients in the soil.

Keywords: Agroindustrial Waste; C/N ratio; Degradation of organic matter; Organic compost.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos segundo a PNRS.	17
Figura 2- Fluxograma do beneficiamento de frutas para a produção de polpa de fruta congelada.....	19
Figura 3 – Mapa de localização da COOPEAGRO no município de Maragogi/AL.....	22
Figura 4 – Recipiente utilizado para a quantificação do volume	32
Figura 5 – Maracujá em processo de pré-secagem sobre lona.	33
Figura 6 – Medição da temperatura com termômetro digital Salvterm 1200K.....	34
Figura 7 – Teste para a verificação da umidade.	35
Figura 8 – Peneiramento do composto utilizando malha de 2,0 mm	36
Figura 9 – Evolução da temperatura das pilhas de resíduos em função do tempo de compostagem: A. Maracujá + Graviola, B: Maracujá + Acerola e C: Maracujá + Goiaba.	41
Figura 10 – Regamento da pilha de resíduos de maracujá + graviola para correção da umidade	44
Figura 11 - Logomarca criada para o composto orgânico produzido na COOPEAGRO.....	45
Figura 12 - Rótulo criado para o composto orgânico produzido na COOPEAGRO.....	46
Figura 13 - Composto orgânico embalado produzido na COOPEAGRO.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Geração de resíduos por categoria de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais, 2013 a 2016.	21
Tabela 2 – Teores mínimos e máximos exigidos para os fertilizantes orgânicos mistos e compostos sólidos.....	26
Tabela 3 – Ensaio laboratoriais realizados nos resíduos das frutas para a fabricação de polpas	29
Tabela 4 – Combinações de resíduos de frutas utilizadas no processo de compostagem	32
Tabela 6 – Determinações realizadas de acordo com o tempo de pilha do composto.	34
Tabela 6 – Frutas in natura e pastas de fruta recebidas pela COOPEAGRO no primeiro semestre de 2021.	37
Tabela 7 – Frutas in natura processadas e resíduos gerados no primeiro semestre de 2021 pela COOPEAGRO.....	37
Tabela 8 – Nutrientes presentes nos resíduos das frutas.	38
Tabela 9 – Relação C/N dos resíduos das frutas.	38
Tabela 10 – Valores de densidade úmida, teor de matéria seca e densidade seca dos resíduos frescos.....	39
Tabela 11 – Proporções em massa seca dos resíduos a serem misturados.	40
Tabela 12 - Densidade úmida, teor de matéria seca e densidade seca dos resíduos de frutas. .	40
Tabela 13 - Proporções em volume dos resíduos a serem misturados.	40
Tabela 14 – Pilhas montadas para o processo de compostagem.	41

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abrafrutas – Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados
CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
COOPEAGRO – Cooperativa dos Pequenos Agricultores Organizados
CTF – Cadastro Técnico Federal
Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IMA – Instituto de Meio Ambiente de Alagoas
INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MO – Matéria Orgânica
MOT – Matéria orgânica total
MOC – Matéria orgânica compostável
MTR – Manifesto de Transporte de Resíduos
NBR – Norma Brasileira Registrada
ONU – Organização das Nações Unidas
PERS – Plano Estadual de Resíduos Sólidos
PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PIB – Produto Interno Bruto
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
RSU – Resíduos sólidos urbanos
Semarh – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos
T – Tonelada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. Resíduos Sólidos.....	17
2.2. Resíduos Agroindustriais	18
2.3. Cooperativa dos Pequenos Agricultores Organizados	21
2.4. Compostagem.....	23
2.5. Composto orgânico	25
3. OBJETIVOS.....	27
3.1. Objeto geral.....	27
3.2. Objetivos específicos.....	27
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1. Coleta dos resíduos	28
4.2. Análises físico-químicas	28
4.3. Cálculos das proporções de resíduos	29
4.4. Montagem do experimento	31
4.5. Monitoramento da pilha de composto	33
4.6. Finalização do processo de compostagem	35
4.7. Elaboração de manual para compostagem	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1. Caracterização dos resíduos	37
5.2. Cálculo das proporções dos materiais a serem misturados	39
5.3. Monitoramento da pilha de compostagem	41
5.3.1. Temperatura.....	41
5.3.2. Umidade e aeração.....	43
5.3.3. Características finais do composto orgânico	44

5.4 Finalização do processo de compostagem	45
5.4. Validação do manual para compostagem.....	46
6. CONCLUSÕES	48
7. REFERÊNCIAS	49
8. APÊNDICE	52
APÊNDICE A – Manual de compostagem.....	52
APÊNDICE B – Questionário avaliação – Alunos	75
APÊNDICE C – Questionário avaliação – Professores.....	76
APÊNDICE D – Questionário avaliação – Gestor.....	77

1. INTRODUÇÃO

No Brasil e no mundo cada vez mais há incremento na geração de resíduos agroindustriais motivado pelo avanço tecnológico do setor e consequente aumento no consumo de insumos. A economia brasileira tem forte influência pelo setor agroindustrial, tendo destaque no mercado interno e externo.

A agroindústria surgiu como segmento responsável pelo processamento da produção primária de alimentos, e junto a ela também surgiu a problemática do inadequado gerenciamento dos resíduos gerados pelo setor, que pode causar impactos ao meio ambiente se não receberem o devido tratamento ou disposição final (IPEA, 2012).

Atualmente o Brasil é o terceiro maior produtor de frutas no mundo, ficando atrás apenas de China e Índia (ABRAFRUTAS, 2019), o que mostra a relevância deste segmento da agroindústria para a economia brasileira, em especial diante da diversidade edafoclimática e de culturas produzidas no país. A conservação de frutas na forma de sucos e polpas apresenta-se como uma das principais alternativas na busca de durabilidade do produto e consumo conforme sazonalidade.

Ao longo da cadeia produtiva da fabricação de polpas de frutas, há geração de resíduos desde a etapa de triagem dos insumos até a formação do produto final. Os subprodutos gerados a partir do processamento das frutas são constituídos, principalmente, por cascas, sementes e bagaço, sendo potenciais fontes de nutrientes (SOUZA *et al*, 2011; CÓRDOVA *et al*, 2005).

Entretanto, grande parte dos resíduos agroindustriais tem como destino final os aterros sanitários, fazendo com que se perca a oportunidade de reaproveitamento de um volume significativo de biomassa e nutrientes que, a depender do tipo de resíduo, poderiam ser utilizados como alimentação animal, geração de energia, produção de alimentos em alternativa ao desperdício ou a incorporação de adubo orgânico no solo após o processo de compostagem (ABUD & NARAIN, 2009; ROSA *et al* 2011).

A disposição final incorreta dos resíduos agroindustriais, de forma geral, pode causar poluição hídrica, poluição do solo, põe em risco a saúde pública, à fauna e à flora. Quando destinados aos aterros sanitários, diminui sua vida útil e contribui com o lançamento dos gases de efeito estufa.

O reaproveitamento dos resíduos sólidos constitui um dos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), lei N° 12.305, de 2 de agosto de 2010, em seu artigo

sétimo, sendo a compostagem uma alternativa de baixo custo e de simples implantação. Ainda segundo a PNRS, a compostagem é uma forma de destinação final ambientalmente adequada.

Segundo Polprasert (2007), a compostagem é um processo que consiste na degradação da matéria orgânica (MO) por meio da ação de uma população diversificada de bactérias e fungos que resulta em um material estável ou humificado, e pode ser utilizado como adubo orgânico. Os compostos orgânicos complexos são quebrados em compostos orgânicos simples por meio da atividade dos microrganismos, e então são formados os compostos inorgânicos.

Ao final do processo de decomposição da MO é formado um material estável com componentes mineralizados, de cor escura, que pode ser utilizado como fertilizante orgânico ou condicionador de solo para melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do meio.

A presente dissertação visa subsidiar a aplicação prática da técnica de compostagem para o setor da agroindústria voltada para a fabricação de polpa de frutas, sobretudo fornecer as informações compiladas nos estudos desenvolvidos junto à Cooperativa dos Pequenos Agricultores Organizados (COOPEAGRO).

A COOPEAGRO é uma agroindústria voltada para a fabricação de polpas de frutas, localizada na cidade de Maragogi/AL, funciona como cooperativa junto aos agricultores locais, que em seus assentamentos produzem diferentes cultivos, destacando-se frutas como acerola, graviola, cajá, maracujá, goiaba, entre outras, as quais são destinadas para o beneficiamento e comercialização dos produtos.

Em seu processo de fabricação das polpas de frutas, a COOPEAGRO gera resíduos orgânicos 100% vegetais constituídos por frutas não aptas para serem processadas, cascas, bagaço, sementes, etc. Devido às suas características, são resíduos passíveis de compostagem, onde existe a oportunidade de reaproveitamento e ao final do processo, o adubo orgânico formado pode ser reinserido na cadeia produtiva das frutas destinadas à cooperativa, tornando o ciclo fechado.

A viabilidade para a implantação da compostagem na agroindústria se deu através da caracterização dos resíduos gerados e a partir disto foram verificadas possíveis combinações de resíduos de frutas para a correta condução do processo, com análise dos parâmetros essenciais ao longo do tempo, tais como temperatura, umidade, relação C/N, aeração, etc.

Os resultados obtidos no experimento foram satisfatórios, estando de acordo com as recomendações observadas na literatura. O produto formado ao final do processo foi analisado e verificado sua aptidão para ser utilizado como condicionador de solo. Foi sugerido que o composto orgânico formado pudesse ser comercializado ou doado para os cooperados.

Por fim, as informações obtidas no experimento foram compiladas e disponibilizadas de forma prática e acessível através de um manual para que o processo seja replicado nos demais setores de mesmo segmento, aos agricultores produtores de frutas e às instituições de ensino.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Resíduos Sólidos

A preservação do meio ambiente tem sido tema de discussões que motivaram encontros e conferências internacionais para debater problemáticas tais como o uso irracional dos recursos naturais, poluição atmosférica, desastres ambientais, etc, sendo estes os principais temas abordados na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, mais conhecida como Conferência de Estocolmo, em 1972. A Conferência de Estocolmo foi o marco inicial de encontros de diferentes nações para discutir assuntos relacionados ao meio ambiente. Assim como os demais temas relacionados à preservação do meio ambiente, a questão do adequado manejo dos resíduos sólidos também é motivo de debates internacionais com foco na redução da geração e consumo consciente.

Neste contexto, 193 Estados Membros da Organização das Nações Unidas (ONU) assinaram, em 2015, a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, que consiste em um plano composto por diferentes entidades envolvendo instituições públicas e privadas, sociedade civil e órgãos de pesquisas com foco no desenvolvimento econômico aliado ao bem-estar social e à sustentabilidade ambiental. Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) é um dos planos de ação para a Agenda 2030, no qual 19 objetivos de diversos temas ligados à sustentabilidade foram estabelecidos para serem alcançados por meio de adoção de metas das nações componentes (MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES, 2015).

Alinhado aos ODS, sobretudo ao objetivo nº 12 Consumo e Produção Responsáveis, o adequado manejo dos resíduos sólidos, segundo a PNRS, segue uma ordem de prioridade no gerenciamento dos resíduos, ilustrada na Figura 1.

Figura 1 - Ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos segundo a PNRS.



Fonte: autora, 2021.

A PNRS dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos, bem como a responsabilidade dos geradores e poder público quanto ao gerenciamento dos resíduos sólidos no país. Também estabelece a classificação dos resíduos quanto à origem e quanto à periculosidade (Brasil, 2010).

A Norma Brasileira Registrada (NBR) nº 10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), também define que a classificação dos resíduos sólidos está ligada à atividade que lhe deu origem e os componentes que lhes são constituídos.

A ABNT NBR 10004:2004 define os resíduos sólidos como sendo:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004, p. 1).

A responsabilidade compartilhada instituída como princípio da PNRS determinou que grandes geradores de resíduos sejam responsáveis pela adequada destinação final dos resíduos produzidos. A responsabilidade compartilhada busca envolver todos os agentes da cadeia produtiva, como os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, e atribui a eles a responsabilidade pelo ciclo de vida do produto. Conclui-se, portanto, que o poder público municipal é responsável pela coleta e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos domiciliares e de limpeza urbana, enquanto que os agentes comerciais e prestadores de serviços, como o ramo dos serviços de saúde, industrial, de transportes e outros devem seguir o correto gerenciamento dos resíduos sólidos, o que inclui a destinação final ambientalmente adequada.

A presente dissertação abordará com destaque a subcategoria dos resíduos agroindustriais, que tem sua classificação quanto à origem, uma vez que são resíduos provenientes de processos produtivos de instalações agroindustriais. Com relação à sua composição, destacam-se os resíduos agroindustriais de composição química orgânica.

2.2. Resíduos Agroindustriais

O agronegócio brasileiro é responsável por 26,6% do PIB do país, segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2021), o que inclui o setor primário, de insumos, agrosserviços e agroindústria. A agroindústria basicamente consiste no beneficiamento de matéria-prima e transformação dos produtos de procedência agrícola, seja pela agricultura, pecuária, aquicultura ou silvicultura.

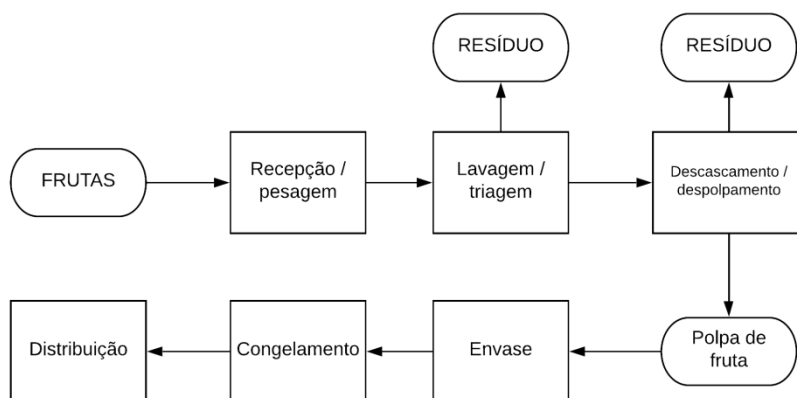
Resíduos agroindustriais são aqueles gerados a partir de processos do setor da agroindústria. Pode ser classificado quanto à periculosidade (resíduos perigosos e não perigosos) e quanto à composição química (resíduos orgânicos e inorgânicos).

Resíduos agroindustriais orgânicos são os resíduos do setor constituídos por matéria orgânica, de origem animal ou vegetal, podendo citar os resíduos da indústria da madeira, indústria do fumo, a indústria de alimentos e bebidas, etc.

A presente dissertação trata dos resíduos da agroindústria produtora de polpa de frutas, a partir do beneficiamento de frutas *in natura*. A polpa de fruta congelada vem tendo destaque no país nos últimos anos devido às facilidades inerentes a este produto. Segundo Matta *et al* (2005), a polpa de fruta congelada permite preservar as características da fruta e seu consumo no período de entressafra. Além disso, também conserva o sabor original da fruta e permite a facilidade para a expansão comercial de frutas típicas de uma região específica.

A geração dos resíduos nas diferentes etapas de fabricação de polpa se concentra na etapa da triagem e na etapa de descascamento e despulpamento, como mostra o fluxograma apresentado na Figura 2,

Figura 2 – Fluxograma do beneficiamento de frutas para a produção de polpa de fruta congelada



Fonte: autora, 2021.

Os resíduos gerados durante o processo de fabricação de polpas de frutas são caracterizados como resíduos orgânicos de origem vegetal, devido a sua composição química. Resíduos orgânicos resultantes de processos naturais e em pequenas quantidades se tornam parte de ciclos como o da água, carbono e nitrogênio. Por outro lado, resíduos orgânicos gerados a partir de ações antrópicas são potenciais fontes de poluição se não forem geridos de maneira adequada (SPADOTTO & RIBEIRO, 2006, p. 34; BRASIL, 2019).

Segundo Pichtel (2005), a MO disposta de forma direta no solo sem o devido tratamento sofre uma rápida transformação pelos microrganismos presentes no substrato,

resultando em alguns efeitos adversos com reações indesejadas, como a produção de amônia (NH_3), gás sulfídrico (H_2S) e gás metano (CH_4); competição de nutrientes, onde os microrganismos irão consumir o nitrogênio (N) essencial para as plantas para formação de biomassa celular ($\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$) e o processo de lixiviação, que libera materiais tóxicos no solo e na água.

De acordo com a proposta para o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2020), a falta de dados e informações precisas a respeito dos resíduos industriais/agroindustriais, sobretudo em termos de quantidade gerada no país, motivaram a criação do Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, através da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 313, de 29 de outubro de 2002. O Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais consiste em um sistema de informações sobre dados que as indústrias devem apresentar ao órgão estadual acerca da geração, características, armazenamento, transporte e destinação final ambientalmente adequada (Brasil, 2002). Ainda assim, poucos estados contribuíram ou descontinuaram a inserção dos dados referentes ao sistema de gerenciamento dos resíduos industriais no sistema.

Com o intuito de aperfeiçoar o sistema de informações e aumentar a contribuição dos estados, a Portaria nº 280, de 29 de junho de 2020, instituiu o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR), de utilização obrigatória no território nacional, definido pela presente portaria como “uma ferramenta online, autodeclaratório, válido no território nacional, emitido pelo Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos - SINIR”. Todos os geradores de resíduos sujeitos à elaboração de Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) são obrigados a emitir MTR, inclusive os geradores de resíduos agroindustriais. O MTR permite rastrear os resíduos desde a geração até a sua disposição final (MMA, 2020).

Em Alagoas, a Portaria nº 226/2020 publicada pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Semarh) divulgou que os responsáveis pelas diferentes etapas de gerenciamento dos resíduos sólidos devem inserir as informações no Sistema de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos, conhecido como Sgors, de responsabilidade do Instituto de Meio Ambiente de Alagoas – IMA (IMA, 2021). Desta forma, os MTRs emitidos pelo Sgors também permitem reunir as informações necessárias para a rastreabilidade dos resíduos industriais/agroindustriais em Alagoas.

Mesmo com poucas informações sobre os resíduos agroindustriais no Brasil, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2020) compilou dados extraídos do Cadastro Técnico

Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP) a partir das declarações inscritas nos Relatórios Anuais de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (RAPP), a respeito da geração de resíduos, mostrados na tabela 1. Percebe-se a partir da análise da tabela 1 que a indústria de produtos alimentares e bebidas tem maior destaque quanto ao volume de resíduos gerados.

Tabela 1 - Geração de resíduos por categoria de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais, 2013 a 2016.

CATEGORIA	RESÍDUOS GERADOS (m³)							
	2013		2014		2015		2016	
	Quantidade	%	Quantidade	%	Quantidade	%	Quantidade	%
Ind. da madeira	408,31	0,52	677,64	0,29	6.486	2,20	5.651	2,81
Ind. de papel e celulose	8.415,97	10,81	3.181,01	1,38	14.006	4,75	8.415	4,18
Ind. da borracha	520,65	0,67	1.605,31	0,70	2.265	0,77	41.297	20,54
Ind. de couros e peles	2.887,97	3,71	36.117,86	15,66	43.271	14,69	23.436	11,65
Ind. de produtos alimentares e bebidas	65.600,60	84,28	189.025,92	81,97	228.538	77,58	122.294	60,81
TOTAL	77.833,50	100,00	230.607,74	100,00	294.566,00	100,00	201.093,00	100,00

Fonte: Brasil, 2020. Adaptado pela autora.

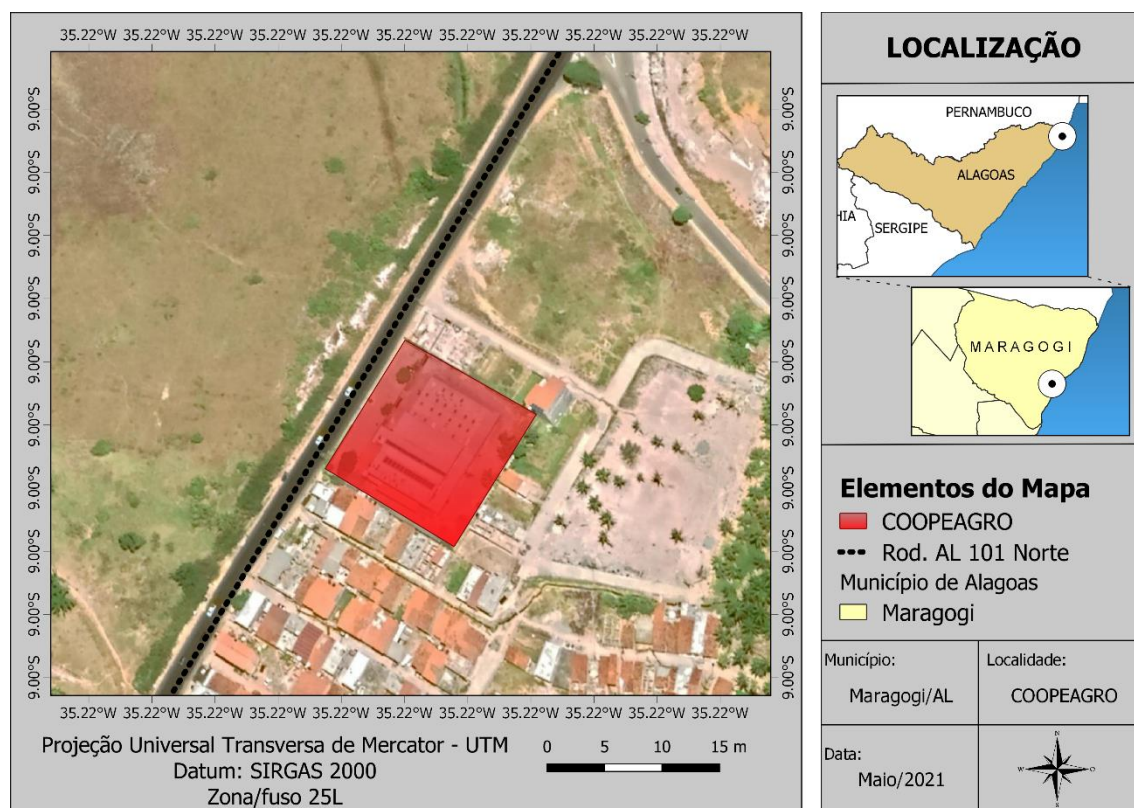
A informatização e compilação de dados permite subsidiar políticas públicas voltadas ao aperfeiçoamento do sistema de gestão integrada de resíduos sólidos, o que também contribui com o acesso à informação pelos cidadãos, corroborando com o que preconiza a PNRS.

2.3. Cooperativa dos Pequenos Agricultores Organizados

A COOPEAGRO (Cooperativa dos Pequenos Agricultores Organizados) é uma agroindústria localizada no município de Maragogi/AL, que desenvolve junto aos agricultores locais o processo de beneficiamento de frutas para fabricação de polpas. Com o objetivo de criar melhores condições para a produção e comercialização de cultivos do campo, a PEAGRO (Pequenos Agricultores Organizados) surgiu em 2001 apenas como um projeto, com o auxílio da Associação das Irmãs Filhas do Sagrado Coração de Jesus, que via o

potencial agrícola na zona rural de Maragogi, faltava apenas condições técnicas e apoio financeiro para melhorar a produção agrícola. Em 2003, o projeto passou a ser uma entidade de natureza jurídica como cooperativa e se tornou a COOPEAGRO, que atualmente conta com 135 sócios.

Figura 3 – Mapa de localização da COOPEAGRO no município de Maragogi/AL.



Elaborado pela autora, 2021

Maragogi é o município de Alagoas que mais possui assentamento de reforma agrária do estado, totalizando 18, segundo o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA, 2017). Ainda segundo o Instituto, os lotes distribuídos para os trabalhadores rurais são conjuntos de unidades agrícolas e seus beneficiários comprometem-se a morar e explorar a terra para garantir o seu sustento, utilizando exclusivamente a mão de obra familiar. Portanto, devido ao expressivo número de assentamentos, Maragogi apresenta uma grande produção de diferentes cultivos, sobretudo frutíferas, no qual muitos cooperados destinam sua produção para a COOPEAGRO para que haja o processamento da fruta para produção de polpas.

Os agricultores produzem diferentes cultivos em seus lotes, destacando-se frutas como acerola, graviola, cajá, maracujá, goiaba, entre outras, que são destinadas para o beneficiamento e consequente comercialização dos produtos.

A quantidade de frutas e pastas de fruta processada no primeiro semestre de 2021 totalizou 128.182 toneladas, das quais tiveram destaque, em quantidade, frutas como o maracujá, cajá, graviola, abacaxi, acerola e goiaba, respectivamente. De todas as frutas recebidas pela cooperativa, o maracujá é a que gera mais resíduo, aproximadamente 2/3 de toda a produção vira subproduto.

O Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de Alagoas (PERS) prevê que os grandes geradores de resíduos, aqueles que geram volumes significativos, sejam tarifados pelo poder público municipal para contribuir com a sustentação econômica do sistema de gerenciamento de resíduos, o que diminui o custo da coleta e reduz o valor para destinação dos resíduos aos aterros sanitários (ALAGOAS, 2015).

A coleta dos resíduos gerados na COOPEAGRO fica a cargo do poder público de Maragogi, realizada diariamente. Não há cobrança de taxa para grandes geradores regulamentada no município, portanto no momento, a COOPEAGRO não é taxada para ter a destinação ambientalmente adequada de seus resíduos gerados durante o processo de fabricação das polpas de frutas. Todo o resíduo gerado é coletado por caminhão compactador, que segue para a estação de transbordo e então para o aterro sanitário mais próximo da cidade Maragogi, localizado em Rio Formoso-PE, distante cerca de 45 km. O descarte de resíduos em aterros sanitários em desatenção à ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos segundo a PNRS (Figura 1) faz aumentar a demanda por espaço nos aterros sanitários.

Os resíduos gerados na COOPEAGRO são facilmente compostáveis por possuírem boas quantidades de água e de carboidratos de fácil degradação. De forma geral, os resíduos de alimentos são classificados como resíduos de fácil digestibilidade (CARVALHO *et al*, 2013).

2.4. Compostagem

A compostagem é um processo de baixo custo de implantação e manuseio simples que pode ser utilizada como alternativa de tratamento de resíduos orgânicos, sendo aplicada para o tratamento dos resíduos gerados no processo produtivo das polpas de frutas. Segundo Senesi (1989), o composto orgânico formado ao final do processo pode ser utilizado para restaurar a fertilidade de solos empobrecidos após uso frequente de fertilizantes químicos da agricultura intensiva. Além disso, também altera as condições físico-químicas e as reações microbianas no solo.

Pereira Neto (2007) define compostagem como um processo aeróbio controlado de degradação da MO realizado por uma composição diversificada de microrganismos, resultando em um material degradado, mineralizado e humificado, conhecido como composto orgânico. São diferentes as fases do processo completo da compostagem: mesofílica, termofílica e maturação. A fase de degradação intensa ocorre à temperatura na faixa termofílica, ou seja, $>40^{\circ}\text{C}$, segunda fase do processo. Temperatura superior a 65°C pode acarretar na eliminação dos microrganismos mineralizadores, o que seria prejudicial ao processo. Por sua vez, a temperatura na faixa mesofílica, menor que 40°C , ocorre nos primeiros dias após a formação da pilha, na fase inicial. Já a fase de maturação ocorre ao final da compostagem (BERNAL *et al* 1998).

Os microrganismos envolvidos no processo de decomposição da MO são bactérias, actinomicetos e fungos, que liberam calor ao transformar componentes orgânicos em CO_2 , água e biomassa. Para a transformação da MO em húmus como produto final, é requerida uma fonte de carbono (principal fornecedor de energia aos microrganismos), nitrogênio, fósforo e potássio (GOMES, 2011). As bactérias são o primeiro grupo a se estabelecer na pilha de composto e são responsáveis pela maior parte da decomposição do processo, as primeiras substâncias a serem decompostas são as proteínas, os carboidratos e os açúcares. Já os fungos conseguem decompor a lignina e materiais celulósicos, os quais as bactérias não conseguem, e são mais toleráveis a ambientes menos úmidos quando comparados às bactérias. Os actinomicetos são menos abundantes que as bactérias e decompõem compostos aromáticos, esteroides, fenóis e demais moléculas complexas (PICHTEL, 2005).

O processo de compostagem não se limita apenas à mistura de resíduos orgânicos em forma de pilhas ou leiras, mas sim, é necessário acompanhamento de fatores que influenciam o processo. São determinantes para o processo de compostagem o controle da temperatura, umidade, oxigenação, concentração de nutrientes, granulometria e pH (PEREIRA NETO, 2007).

Os parâmetros umidade e tamanho das partículas possuem interrelação ao influenciarem na disponibilidade de oxigênio para os microrganismos decompositores. A umidade é fator essencial para o processo uma vez que deve haver presença de água para a formação de novas células microbianas. Pereira Neto (2007) define a umidade ideal para o processo de compostagem em torno de 60%. Excesso de umidade fará com que a água do meio preencha os espaços vazios ocupados por ar, sendo um fator limitante para a atividade dos microrganismos. O tamanho das partículas também tem influência na disponibilidade de

oxigênio: quanto maior o tamanho das partículas maior a disponibilidade de oxigênio no interior da pilha ou leira. O contrário pode provocar a compactação e consequente diminuição na disponibilidade de oxigênio. Além disso, o tamanho das partículas também pode conduzir a velocidade do processo de compostagem, pois partículas menores resultam em tempo de compostagem menor pela maior superfície de contato a ser degradada (CARVALHO *et al* 2013).

O carbono e o nitrogênio são fontes essenciais para os microrganismos degradarem a MO, portanto, é fundamental misturar materiais ricos em carbono com materiais ricos em nitrogênio, e a proporção entre esses elementos é chamada de relação C/N, que em um processo de compostagem deve iniciar em torno de 30/1 (PREIRA NETO, 2007; MATOS, 2014).

De acordo com Kiehl (1985), os microrganismos absorvem os elementos em uma proporção de 30 partes de carbono para 1 parte de nitrogênio. Das 30 partes de carbono, 10 são incorporadas à constituição celular e 20 são eliminadas como gás carbônico. O carbono atua como fonte de energia enquanto o nitrogênio é responsável pela síntese de proteína. Se a relação C/N estiver baixa, pode ocorrer perda nitrogênio pela volatilização da amônia, e o contrário, ou seja, quando há carbono em excesso, poderá interferir no processo biológico de síntese de proteína pela falta de nitrogênio, o que resulta em um processo de degradação da MO mais lento (PROSAB, 1999).

2.5. Composto orgânico

Com o declínio da quantidade de matéria orgânica compostável em decorrência do tempo e o fato dos materiais digeríveis estarem completamente degradados, o processo de compostagem, que no total dura cerca de 90 a 120 dias, encaminha-se à fase de maturação e resfriamento. Segundo Carvalho *et al* (2013), um composto considerado estável possui relação C/N próxima a 18, enquanto um composto curado possui relação próxima a 12. Boulter-Bitzer *et al* (2006) afirmam que um composto maturado não é sinônimo de um composto estável, pois a maturação faz referência ao grau de humificação do material formado, e a estabilidade do composto está relacionada a atividade da biomassa microbiana.

A Instrução Normativa (IN) nº 61, de 8 de julho de 2020 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) “estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura”. Esta Instrução Normativa deve ser

utilizada para a concessão de registros de fertilizantes orgânicos e biofertilizantes, sobretudo para quem comercialize este tipo de produto, que deve ser certificado pelo MAPA.

De acordo com a IN, os fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais serão classificados em Classe A e Classe B, que se diferenciam basicamente pela ausência de despejos ou contaminantes sanitários (Classe A) ou pela presença destes em qualquer quantidade (Classe B). Compostos orgânicos provenientes da degradação controlada de resíduo de frutas são classificados como Classe A e são produtos de utilização segura na agricultura (MAPA, 2020).

Ainda sobre a IN nº 61/2020, esta define os teores mínimos de nutrientes e outras garantias e exigências para os fertilizantes orgânicos mistos e compostos para aplicação no solo, como o grau máximo de umidade, teor de nitrogênio total, carbono orgânico e relação C/N máxima, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Teores mínimos e máximos exigidos para os fertilizantes orgânicos mistos e compostos sólidos.

GARANTIA	FERTILIZ. ORGÂNICO MISTO/COMPOSTO
Umidade (máx.)	50%
N total (mín.)	0,5%
Carbono orgânico (mín.)	15%
Relação C/N (máx.)	20

Fonte: MAPA, 2020. Adaptado pela autora.

Para os parâmetros capacidade de troca catiônica (CTC), pH, relação CTC/C, e demais nutrientes, é necessário apenas informar os valores obtidos.

3. OBJETIVOS

3.1. Objeto geral

Viabilizar o reaproveitamento dos resíduos gerados a partir da fabricação de polpa de frutas de uma agroindústria por meio da compostagem.

3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar o resíduo gerado pela agroindústria;
- Dimensionar proporcionalmente as possíveis configurações de compostagem;
- Executar o processo de compostagem;
- Monitorar os parâmetros envolvidos no processo;
- Caracterizar o composto final formado;
- Elaborar manual prático para implementar a compostagem nos setores de mesmo segmento.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Coleta dos resíduos

O trabalho foi desenvolvido na COOPEAGRO, especificamente no setor produtivo de polpa de fruta. Foram selecionadas as frutas mais expressivas quanto à produtividade e consequentemente maior produção de resíduos orgânicos da cooperativa, que foram: abacaxi, acerola, goiaba, graviola e maracujá. Com o intuito de facilitar o processo de compostagem para posterior implementação pela cooperativa, foi utilizado apenas resíduos 100% vegetais, totalmente provenientes do setor produtivo da fabricação das polpas. Optou-se por não introduzir fontes externas de resíduos ou inoculantes ao processo de compostagem desenvolvido na cooperativa.

A relação C/N inicial para a condução do experimento foi definida em 30/1, segundo recomendado por Pereira Neto (2007) e Matos (2014). Para tanto, foi necessário conhecer a composição físico-química dos resíduos de cada fruta selecionada para o processo de compostagem, a fim de dimensionar as quantidades de resíduos a serem misturadas.

Para frutas como o abacaxi, graviola e maracujá, há diferentes composições de resíduos gerados em cada etapa do processo de fabricação das polpas. No caso do abacaxi e graviola, primeiro ocorre o descascamento manual, resultando em resíduos constituídos basicamente por cascas. Em seguida ocorre o despulpamento mecânico, onde são gerados resíduos constituídos por fibras. No caso da graviola também ocorre a separação da semente. Por sua vez, no beneficiamento do maracujá é retirada a polpa e a casca é a primeira composição do resíduo gerado. Em seguida há o processamento da polpa, o que resulta em resíduos constituídos por fibras e sementes. Nos casos do processamento da acerola e da goiaba, não há etapa de descascamento e as frutas vão direto para a despulpadeira, que também resulta na geração de fibras e sementes.

As amostras para análise laboratorial e montagem das pilhas foram retiradas homogeneamente, de forma a abranger as diferentes composições de resíduo das frutas gerados nas diferentes etapas de processamento.

4.2. Análises físico-químicas

As análises físico-químicas dos resíduos de frutas gerados na fabricação das polpas permitiram dimensionar o processo de compostagem com base nos parâmetros adequados recomendados na literatura, tais como concentração de nutrientes e umidade. Os ensaios laboratoriais foram feitos na Central Analítica, localizada em Maceió/AL, e consistiram nas

seguintes determinações: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, ferro, zinco, manganês, cobre, umidade, matéria orgânica total (M.O.T.) e matéria orgânica compostável (M.O.C.). A metodologia utilizada para as determinações acima citadas encontra-se na tabela 3.

Tabela 3 – Ensaios laboratoriais realizados nos resíduos das frutas para a fabricação de polpas

ENSAIO	METODOLOGIA
Teor de N	Digestão sulfúrica
P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Mn e Cu	Digestão Nítrico-Perclórico
Umidade	Secagem com circulação de ar forçada
M.O.T.	Perda por Ignição ou Perda ao Rubro ou Perda por Combustão
M.O.C.	Titrimetria

Fontes: SILVA, 1999; CALDAS, 2011; KIEHL, 1985.

4.3. Cálculos das proporções de resíduos

De acordo com Embrapa Agrobiologia (2018), para a montagem de leiras de pequeno volume podem ser utilizados valores com base na massa seca dos resíduos pela facilidade da pesagem. Para as leiras de volume maior, recomenda-se utilizar as proporções com base no volume dos resíduos pois facilita a montagem.

As proporções das leiras para o experimento foram calculadas com base no volume e na massa seca dos resíduos, e para o cálculo das proporções das misturas, utilizou-se resíduo com relação C/N maior que 30/1 e obrigatoriamente outro ou mais resíduos com relação C/N menor, a partir dos resultados obtidos em laboratório.

A equação 1 foi utilizada para obter a proporção do resíduo com alta relação C/N em relação ao resíduo com baixa relação C/N, relativo à massa seca (GOMES *et al*, 2018):

$$Proporção\ do\ RRC = \frac{(C:N_{mistura} * N_{RRN}) - C_{RRN}}{C_{RRC} - (C:N_{mistura} * N_{RRC})} \quad (1)$$

Onde,

RRC = resíduo rico em carbono;

N_{RRN} = teor de nitrogênio do resíduo rico em nitrogênio (em %);

C_{RRN} = teor de carbono do resíduo rico em nitrogênio (em %);

C_{RRC} = teor de carbono do resíduo rico em carbono (em %);

N_{RRC} = teor de nitrogênio do resíduo rico em carbono (em %).

A partir da equação 1 entende-se que para cada parte do resíduo com baixa relação C/N deve-se misturar o resultado da proporção do resíduo com alta relação C/N, e por meio de

uma regra de três simples encontra-se o valor percentual da mistura de cada resíduo em massa seca.

Além das análises laboratoriais, também foram feitos os ensaios de determinação de densidade úmida e teor de matéria seca seguindo a metodologia descrita pela Embrapa Agrobiologia (2018). Os ensaios foram realizados na COOPEAGRO e permitiram a mensuração, em volume, da proporção de resíduos a serem misturados.

- Determinação da densidade úmida

Para a obtenção dos valores de densidade úmida dos resíduos, foi utilizado um recipiente de volume conhecido, igual a 97 L ($V_{recipiente}$), previamente pesado e o valor anotado ($m_{recipiente}$). O recipiente foi totalmente preenchido com o material e novamente pesado (m_{total}). As pesagens foram feitas com a balança Weightech WT1000, de uso da COOPEAGRO para a pesagem das matérias-primas. A seguinte equação foi utilizada para a determinação da densidade úmida do material:

$$D_U = \frac{m_{total} - m_{recipiente}}{V_{recipiente}} \quad (\text{em kg/m}^3) \quad (2)$$

Onde,

D_U = densidade úmida;

m_{total} = peso do recipiente + material;

$m_{recipiente}$ = peso do recipiente vazio;

$V_{recipiente}$ = volume do recipiente.

- Determinação do teor de matéria seca

Após a finalização do ensaio de densidade úmida, retirou-se várias pequenas amostras do recipiente utilizado anteriormente e as mesmas foram misturadas. Em seguida foi retirada uma amostra representativa de aproximadamente 500 mL, que foi colocada em um saco de papel previamente pesado (m_s). O saco de papel com material úmido também foi pesado (m_{mu}) e foi deixado exposto ao sol até que o material estivesse totalmente seco. Em seguida foi pesado o saco preenchido com o material já seco (m_{ms}), e o valor anotado. As pesagens foram feitas com uso de balança de bancada. A seguinte equação foi utilizada para a determinação do teor de matéria seca:

$$MS = \frac{m_{ms} - m_s}{m_{mu} - m_s} \times 100 \quad (\text{em \%}) \quad (3)$$

Onde,

MS = teor de matéria seca;

m_{ms} = peso do saco + material seco;

m_s = peso do saco vazio;

m_{mu} = peso do saco + material úmido.

A densidade seca (D_S) foi calculada a partir da multiplicação da densidade úmida pelo teor de matéria seca, dada pela seguinte equação:

$$D_S = D_U * (MS/100) \quad (\text{em } kg/m^3) \quad (4)$$

Onde,

D_S = densidade seca;

D_U = densidade úmida;

MS = teor de matéria seca.

Com o valor calculado da densidade seca, prossegue-se para o cálculo do volume a partir da seguinte equação:

$$V = \frac{MS}{D_S} \quad (\text{em } \%) \quad (5)$$

Onde,

V = proporção em volume;

MS = teor de matéria seca;

D_S = densidade seca;

A partir de uma regra de três simples, é possível conhecer a proporção do volume que deve ser misturado para cada resíduo combinado.

4.4. Montagem do experimento

O experimento foi conduzido no período de novembro de 2020 a julho de 2021, na cidade de Maragogi, na unidade da COOPEAGRO, região definida com clima tropical chuvoso, segundo a Classificação Climática de Köppen-Geiger, com temperatura média anual de 26 °C, teor de umidade de 80%, e pluviometria média anual de 1.800 mm, sendo os maiores índices pluviométricos concentrados nos meses de abril a julho.

As possíveis combinações de mistura dos resíduos foram estabelecidas a partir da safra de cada fruta e do recebimento do material e programação da COOPEAGRO. O volume total da pilha foi estabelecido previamente de acordo com a quantidade disponível dos resíduos que foram gerados. Portanto, o experimento foi conduzido de acordo com as combinações e volumes estabelecidos na Tabela 4.

Tabela 4 – Combinações de resíduos de frutas utilizadas no processo de compostagem

COMBINAÇÕES	VOLUME DA PILHA (L)
Maracujá + graviola	2.000
Maracujá + acerola	2.000
Maracujá + goiaba	1.000

Percebe-se a partir da análise da tabela 4 que o maracujá foi utilizado para formar todas as combinações com as demais frutas. Isto deve-se ao fato de o resíduo do maracujá possuir relação C/N maior que 30/1, diferente dos demais. Outra exceção foi o resíduo do abacaxi que também apresentou relação C/N maior que 30/1, mas devido ao baixo volume dessa fruta recebido pela COOPEAGRO, não foi possível realizar a montagem da pilha de composto com o resíduo do abacaxi, apenas foram feitos os cálculos das possíveis combinações utilizando este resíduo.

De posse das quantidades a serem misturadas, em volume, para cada combinação de resíduo a partir dos resultados fornecidos pelas equações 1, 2, 3 e 4, realizou-se a coleta do material com auxílio de pás e remoção homogênea, de forma que as diferentes composições de resíduos fossem coletadas. Para a montagem da pilha foi utilizado recipiente de volume fixo igual a 97 L para a coleta e medição das quantidades (figura 4). O deslocamento do local de coleta até o pátio de compostagem foi feito por meio de carrinho de mão.

Figura 4 – Recipiente utilizado para a quantificação do volume



Fontes: A: autora, 2021; B: plasvale.com.br.

Os resíduos passaram por um processo de pré-secagem para manter a umidade em torno de 60%, conforme recomendado por Pereira Neto (2007), visto que as análises

laboratoriais demonstraram que a média de umidade dos resíduos das frutas ficou em torno de 80%. Com isto, verificou-se a necessidade de realizar a pré-secagem do material a ser compostado, de forma individual, antes da mistura.

A pré-secagem foi feita com o espalhamento do material sobre lona, como mostra a Figura 5, deixando-o secar ao sol, onde permaneceu até a constatação de que havia secado o suficiente para seguir com a mistura dos resíduos secos.

A partir de então foi efetuada a mistura dos materiais com auxílio de pás e enxadas, também sobre lona, que logo adquiriram formato cônico, com altura variando de 1,0 a 1,5 m, de acordo com o volume pré-definido. A umidade foi verificada logo após a mistura para possível correção com irrigação ou secagem da pilha.

Figura 5 – Maracujá em processo de pré-secagem sobre lona.



Fonte: autora, 2021.

4.5. Monitoramento da pilha de composto

Por ser um processo controlado de degradação da MO, alguns parâmetros foram verificados *in loco* para a correta condução da compostagem, como a temperatura, umidade e oxigenação.

Algumas amostras também foram recolhidas para análise em laboratório para o acompanhamento dos teores de nutrientes bem como a relação C/N em função do tempo, pH e condutividade elétrica. Para a coleta da amostra, foi feita a homogeneização de toda a pilha de composto, promovendo o revolvimento e espalhamento do material sobre a superfície, a fim de retirar uma amostra representativa. A tabela 5 mostra as determinações feitas em laboratório de acordo com o tempo de pilha.

Tabela 5 – Determinações realizadas de acordo com o tempo de pilha do composto.

TEMPO DE PILHA (DIAS)	DETERMINAÇÕES
30, 60 e 90	C/N
120	C/N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Cu, Mn, pH e condutividade elétrica

A temperatura foi verificada por meio de um termômetro digital modelo Salvterm 1200K (Figura 6) em média a cada três dias, com intervalos menores de medição nas 4 primeiras semanas do processo. A medição se deu em 5 diferentes pontos da pilha de composto, pois segundo Carvalho *et al* (2013), a temperatura não é homogênea ao longo da pilha, podendo divergir entre as determinações na base, centro e superfície, por exemplo.

Figura 6 – Medição da temperatura com termômetro digital Salvterm 1200K



Fonte: autora, 2021.

Para a verificação da umidade, procedeu-se o colhimento de uma amostra do interior da pilha de composto e ao apertá-la com a mão foi verificado se houve ou não escorrimento de líquido, como está representado na Figura 7. Quando constatada baixa umidade foi realizado o regamento da pilha com água. Para os casos de umidade elevada foi feito o espalhamento do material sobre a lona para secagem de líquido em excesso.

Figura 7 – Teste para a verificação da umidade.



Fonte: autora, 2021.

O revolvimento da pilha é imprescindível para o controle de temperaturas elevadas e prover oxigênio em seu interior. Para o presente experimento, onde a temperatura não atingiu valores muito elevados, o revolvimento da pilha foi feito apenas para aumentar a oxigenação no interior da massa de composto, realizado semanalmente nas 4 primeiras semanas do processo e quinzenalmente após as 4 primeiras semanas.

4.6. Finalização do processo de compostagem

Passados os 120 dias do processo, foi verificado se os principais objetivos da compostagem foram alcançados, tais quais: estabilização da MO para ser aplicada ao solo e a redução/eliminação de patógenos. Para isto foi necessário avaliar a relação C/N, umidade, nutrientes e a microbiota (CARVALHO, *et al* 2013.).

A relação C/N e avaliação dos nutrientes foi determinada conforme indica a tabela 5. A verificação da umidade foi feita de forma análoga à realizada durante o acompanhamento do processo. Mas desta vez, a umidade máxima para fertilizantes orgânicos deve ser igual a 50%, enquanto que a relação C/N máxima deve ser igual a 20 (MAPA, 2020).

Ao final do processo de compostagem o material foi seco em temperatura ambiente por 5 dias e peneirado em malha de 2,0 mm, em seguida o composto obtido foi ensacado em embalagens de plástico (40x60x15 cm e 48x80x15 cm) e lacrado. Para deixar o produto embalado com uma imagem comercial de forma a melhor informar o consumidor sobre o seu conteúdo, foi desenvolvida uma logomarca e um rótulo.

Figura 8 – Peneiramento do composto utilizando malha de 2,0 mm



Fonte: autora, 2021.

4.7. Elaboração de manual para compostagem

Considerando que os associados da COOPEAGRO são pessoas predominantemente de baixo poder aquisitivo, sem acesso ou facilidade ao uso de tecnologias mais modernas, a criação de um material em formato de manual (impresso) vem com o propósito de possibilitar que os resultados obtidos cheguem também para esse conjunto de pessoas, buscando fornecer acesso ao conhecimento. Este manual também vai ser útil como material didático para aulas do curso de agroecologia do IFAL *campus* Maragogi. O manual que consta nos apêndices dessa dissertação apresenta de forma didática todas as etapas para realização da compostagem (Apêndice A). Para validação desse produto técnico tecnológico em formato de manual, o mesmo foi disponibilizado aos estudantes e professores do curso de Agroecologia no *campus* Maragogi/IFAL e em seguida foi solicitado que respondessem a um questionário de avaliação (Apêndices B, C e D). O referido questionário visou verificar por meio de sua avaliação a qualidade do manual de compostagem que fora compartilhado e ao responder ao questionário, os pesquisados deram seu consentimento (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido) sem que tenha sido forçado(a) ou obrigado(a).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização dos resíduos

Entre o período de 01 de janeiro a 17 de junho de 2021 a COOPEAGRO recebeu cerca de 128.182 toneladas de matéria-prima para a produção de polpas. Dentre as matérias-primas estão 9 frutas *in natura* e 9 pastas de fruta, conforme mostra a tabela 6.

Tabela 6 – Frutas *in natura* e pastas de fruta recebidas pela COOPEAGRO no primeiro semestre de 2021.

FRUTAS IN NATURA	QUANTIDADE RECEBIDA (T)	PASTA DE FRUTA	QUANTIDADE RECEBIDA (T)
Maracujá	38.035	Graviola	17.984
Cajá	28.606	Caju	10.500
Graviola	10.724	Manga	6.270
Abacaxi	2.526	Cajá	6.000
Acerola	1.737	Açaí	1.500
Goiaba	553	Maracujá	987
Açaí	291	Seriguela	950
Pitanga	125	Umbu-cajá	760
Caju	64	Cupuaçu	570
TOTAL	82.661	TOTAL	45.521
TOTAL 128.182 toneladas			

Fonte: COOPEAGRO, 2021.

A tabela 7 mostra apenas as frutas *in natura* com maior produção, sem considerar as pastas, bem como o percentual de resíduo gerado, visto que as maiores quantidades de resíduos são geradas a partir do processamento de toda a fruta.

Tabela 7 – Frutas *in natura* processadas e resíduos gerados no primeiro semestre de 2021 pela COOPEAGRO.

FUTRAS	QUANTIDADE		
	Processada (T)	Resíduo (%)	Resíduo (T)
Maracujá	38.035	67	25.356,7
Cajá	28.606	50	14.303
Graviola	10.724	30	3.217,2
Abacaxi	2.526	30	757,8
Acerola	1.737	20	347,4
Goiaba	553	15	82,9
TOTAL	82.181		44.065

Fonte: COOPEAGRO, 2021.

A partir da tabela 7 verificou-se que o maracujá representa cerca de 46% da produção das frutas *in natura*, sendo a fruta que mais gera resíduo (cerca de 2/3 de todo o processamento vira subproduto), resultando em 25.356,7 toneladas de resíduos no primeiro semestre de 2021.

Como descrito no tópico de Materiais e Métodos, a seleção das frutas para o dimensionamento da compostagem teve como base a quantidade processada, sendo as frutas selecionadas maracujá, graviola, abacaxi, acerola e goiaba. O cajá não foi elegível pois o resíduo gerado a partir do seu beneficiamento consiste basicamente em sua semente.

Os resíduos das frutas selecionadas foram analisados em laboratório e a tabela 8 mostra o resultado das análises para os nutrientes.

Tabela 8 – Nutrientes presentes nos resíduos das frutas.

PARÂMETRO AVALIADO	RESÍDUO DE FRUTAS				
	Abacaxi	Graviola	Maracujá	Acerola	Goiaba
P (g/dm³)	0,27	0,18	0,48	1,12	1,42
K (g/dm³)	6,82	0,33	1,85	1,29	5,21
Ca (g/dm³)	0,31	0,44	4,10	1,13	4,41
Mg (g/dm³)	0,24	0,38	3,13	1,39	2,77
Na (g/dm³)	0,68	0,08	4,16	0,98	7,77
Zn (mg/dm³)	18,06	1,54	3,79	0,10	0,70
Cu (mg/dm³)	9,85	0,55	0,54	0,80	5,90
Mn (mg/dm³)	43,92	0,90	0,33	0,20	2,3
Fe (mg/dm³)	34,77	6,03	8,64	2,00	27,00

Outra análise fundamental para o dimensionamento do processo de compostagem é o carbono orgânico e o nitrogênio total, parâmetros que fornecem a relação C/N dos resíduos e são mostrados na tabela 9.

Tabela 9 – Relação C/N dos resíduos das frutas.

RESÍDUO	CARBONO ORGÂNICO (%)	NITROGÊNIO TOTAL (%)	RELAÇÃO C/N
Abacaxi	4,12	0,11	37,45
Graviola	5,51	0,25	22,04
Maracujá	7,01	0,12	58,42
Acerola	6,33	0,25	25,32
Goiaba	9,87	0,34	29,03

Percebe-se a partir da tabela 9 que o resíduo do maracujá apresentou a mais elevada relação C/N, enquanto o resíduo da graviola apresentou a mais baixa relação C/N, segundo demonstraram as análises laboratoriais.

Ainda sobre a tabela 9, foi analisado quais resíduos possuem relação $C/N > 30$ e quais possuem relação $C/N < 30$, baseado na definição de que 30 é a relação C/N pré-fixada para o presente estudo. Isto posto, o abacaxi e o maracujá podem ser considerados como materiais base para possíveis combinações com os demais resíduos de relação $C/N < 30$.

Além dos ensaios laboratoriais cujos resultados das análises guiaram o dimensionamento da pilha de composto, também foram feitos os ensaios de densidade úmida e teor de matérias seca, realizados na COOPEAGRO, para complementar as informações de mensuração de materiais a serem misturados em volume. Os resultados constam na tabela 10.

Tabela 10 – Valores de densidade úmida, teor de matéria seca e densidade seca dos resíduos frescos.

RESÍDUO	(A) DENSIDADE ÚMIDA (kg/m ³) ¹	(B) TEOR DE MATÉRIA SECA (%) ²	(C) = A * (B / 100) DENSIDADE SECA (kg/m ³)
Abacaxi	657,7	11,6	76,29
Graviola	892,8	13,0	116,06
Maracujá	412,4	6,4	26,39
Acerola	756,7	25,9	195,98
Goiaba	922,7	34,7	320,18

Os resíduos da goiaba e da graviola apresentaram a mais alta densidade úmida por apresentar elevado teor de líquido após o processo de descascamento e despulpamento. Em contrapartida, os resíduos do maracujá são constituídos apenas por cascas e sementes e possui mais espaços vazios (ar) em seu interior, resultando na menor densidade úmida dos resíduos das frutas analisados.

Com os valores fornecidos nas tabelas 9 e 10, calcula-se, portanto, as proporções de materiais que devem ser misturados.

5.2. Cálculo das proporções dos materiais a serem misturados

A partir da equação 1, a qual fornece a proporção do resíduo com alta relação C/N em relação ao resíduo com baixa relação C/N , e por meio de uma regra de três simples foram obtidas as proporções em massa seca, valores que constam na tabela 11.

Tabela 11 – Proporções em massa seca dos resíduos a serem misturados.

MISTURAS (M1 + M2)	PROPORÇÕES EM MASSA SECA (%)	
	M1	M2
Maracujá + graviola	36,9	63,1
Maracujá + acerola	25,5	74,5
Maracujá + goiaba	8,8	91,2
Abacaxi + graviola	70,8	29,2
Abacaxi + acerola	58,8	41,2
Abacaxi + goiaba	28,7	71,3

Alternativamente à opção de montagem da pilha com base no peso dos materiais, situação mais indicada para as pilhas menores pela facilidade de pesagem, pode ser feita a mensuração da mistura dos resíduos em volume, e para tal, foram utilizadas as equações 2, 3 e 4, cujos resultados são encontrados na tabela a seguir.

Tabela 12 - Densidade úmida, teor de matéria seca e densidade seca dos resíduos de frutas.

RESÍDUO	(A) DENSIDADE ÚMIDA (kg/m ³)	(B) TEOR DE MATÉRIA SECA (%)	(C) = A * (B / 100) DENSIDADE SECA (kg/m ³)
Abacaxi	657,7	11,6	76,29
Graviola	892,8	13,0	116,06
Maracujá	412,4	6,4	26,39
Acerola	756,7	25,9	195,98
Goiaba	922,7	34,7	320,18

A partir dos resultados obtidos na tabela acima e fazendo uso da equação 5, obtém-se os valores de volume para cada material. Com uma regra de três simples, são encontrados os valores proporcionais que devem ser misturados os resíduos para a formação da pilha de composto de volume pré-fixado. As possíveis misturas que podem ser feitas para conduzir o processo de compostagem com base na relação C/N=30 constam na tabela que segue.

Tabela 13 - Proporções em volume dos resíduos a serem misturados.

MISTURAS (M1 + M2)	PROPORÇÕES EM VOLUME (%)	
	M1	M2
Maracujá + graviola	72,1	27,9
Maracujá + acerola	71,9	28,1
Maracujá + goiaba	54,1	45,9
Abacaxi + graviola	78,7	21,3
Abacaxi + acerola	78,6	21,4
Abacaxi + goiaba	62,8	37,2

Encontradas as possíveis proporções de mistura dos materiais para o processo de compostagem, prosseguiu-se com a montagem das pilhas de composto, que ficou condicionada ao período de safra das frutas, à programação de processamento e disponibilidade dos resíduos na COOPEAGEO. A partir destas condições, foram montadas três pilhas de compostagem, com as seguintes características:

Tabela 14 – Pilhas montadas para o processo de compostagem.

COMBINAÇÕES (M1 + M2)	VOLUME DA PILHA (L)	VOLUME (L)	
		M1	M2
Maracujá + graviola	2.000	1.442	558
Maracujá + acerola	2.000	1.438	562
Maracujá + goiaba	1.000	541	459

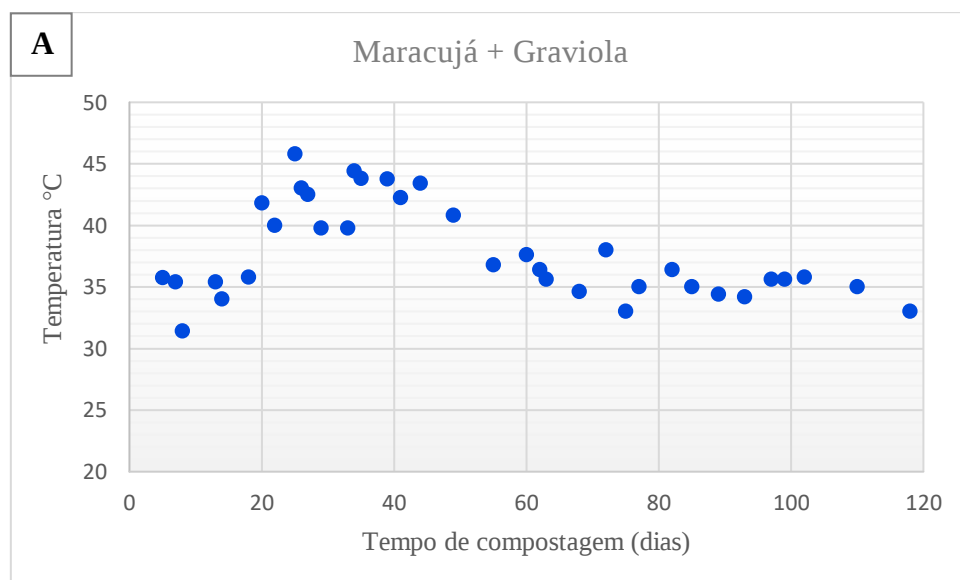
A possibilidade de montagem de outras pilhas utilizando outro material base de relação C/N>30, que no caso seria o abacaxi, não foi possível devido ao baixo quantitativo da fruta recebida pela COOPEAGRO.

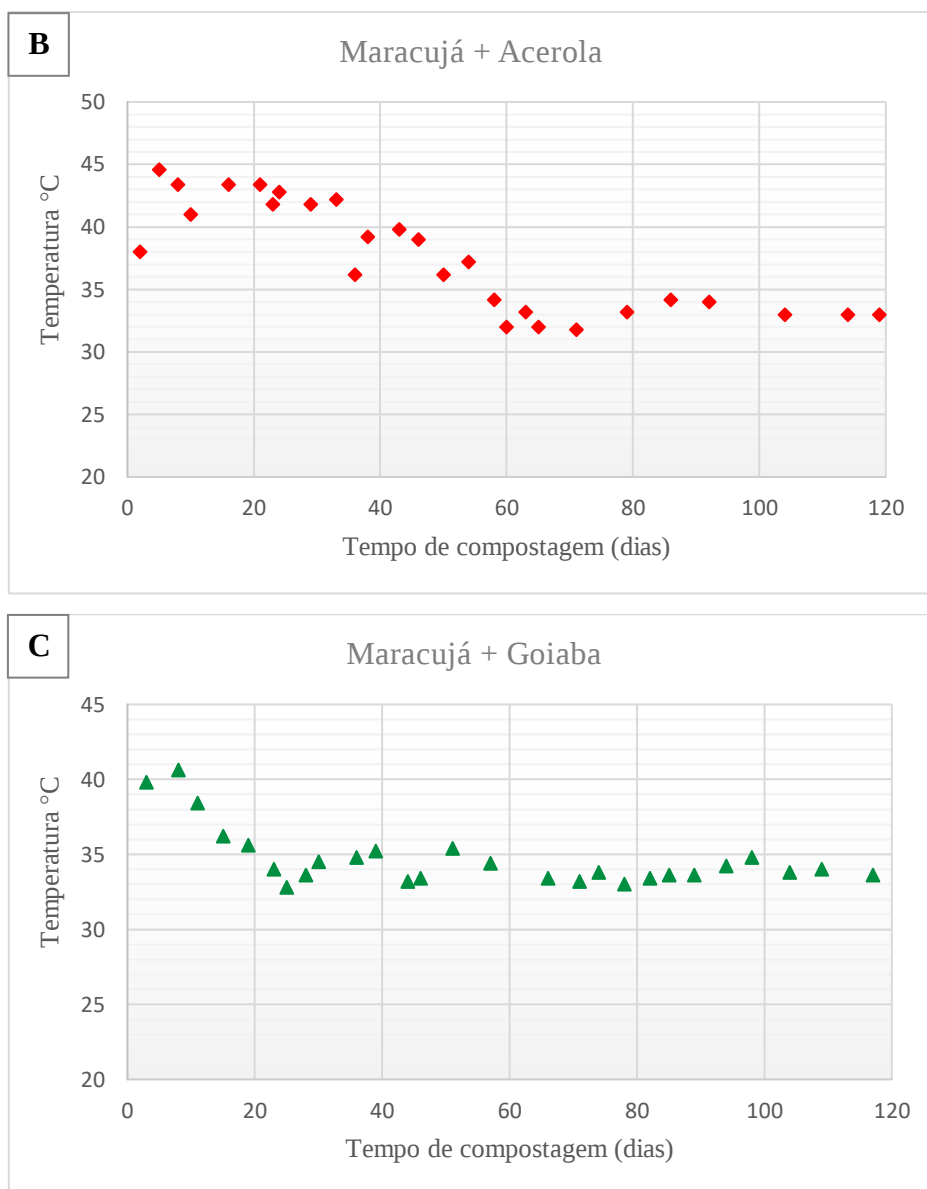
5.3. Monitoramento da pilha de compostagem

5.3.1. Temperatura

Foi verificado que a temperatura se comportou conforme a literatura e o processo seguiu as diferentes fases da compostagem, para as três configurações de resíduos. Os resultados para o parâmetro de temperatura são mostrados a seguir.

Figura 9 – Evolução da temperatura das pilhas de resíduos em função do tempo de compostagem: A. Maracujá + Graviola, B: Maracujá + Acerola e C: Maracujá + Goiaba.





A análise dos gráficos de temperatura permitiu identificar as diferentes fases da compostagem, mesofílica, termofílica, fase de resfriamento e maturação, conforme descrito por Bernal *et al* (1998). A fase mesofílica ocorreu na etapa inicial, ainda nos primeiros dias após a montagem da pilha, com temperaturas < 40 °C. Em seguida houve um aumento expressivo de temperatura, decorrente da degradação ativa da matéria orgânica, resultando em temperaturas superiores a 40° C. Esta fase pode durar cerca de 30 dias, sendo observado no experimento duração de 10 a 25 dias. Com o decréscimo do material orgânico compostável as temperaturas tiveram um declínio, iniciando a etapa de resfriamento, e neste ponto a temperatura se manteve próxima à temperatura ambiente, que ficou em torno de 27 °C. A última fase, de maturação, é relativa à formação do húmus, que segundo Pereira Neto (2007), é “o produto mais estável das transformações das substâncias orgânicas”.

A figura 9 A, B e C mostrou que a temperatura não atingiu níveis bastante elevados, comumente esperado para o processo, e o valor máximo atingindo para as três configurações ficou em torno de 45 °C, temperatura considerada termofílica. O principal benefício do alcance de temperaturas elevadas se dá pela eliminação de possíveis patógenos presentes na massa de composto, imprescindível para os casos de compostagem formados com materiais como os esterco, cama de frango, resíduos sólidos urbanos (RSU), entre outros.

5.3.2. Umidade e aeração

A umidade foi verificada sempre que se procedia com a medição de temperatura, de modo mais frequente nas etapas iniciais do processo de compostagem. Pelas características dos materiais utilizados para a formação de pilhas, ou seja, por ser proveniente do processamento de frutas, os resíduos inicialmente apresentaram umidade superior ao recomendado para o processo de compostagem. A média de umidade recomendada pela literatura está em torno de 60%, enquanto que as análises laboratoriais indicaram umidade em torno de 80% nos resíduos frescos das frutas.

Portanto, mesmo procedendo com a pré-secagem dos materiais, foi importante lidar com a umidade inicial elevada da pilha, visto que a maior parte do tempo do processo de compostagem se deu entre os meses de abril a julho, meses com maiores índices pluviométricos para a região de Alagoas. Devido a isto, a pilha de materiais quase sempre permanecia coberta por lona no período noturno, sendo aberta e exposta à temperatura ambiente durante o dia, para evitar umidade excessiva causada por eventuais precipitações.

Quando verificada umidade superior a 60%, foi feito o espalhamento do material sobre a lona em exposição ao sol para que o processo de evaporação fosse facilitado. Em seguida novamente a pilha era montada com seu formato cônico.

Ao transcorrer do tempo, a umidade tendeu a cair em decorrência da absorção da água presente no meio pelos microrganismos, que de fato pôde ser verificado. Níveis inferiores a 40% restringem a atividade microbiológica de degradação da MO (PEREIRA NETO, 2007), e devem ser corrigidas por meio da irrigação da pilha.

Figura 10 – Correção da umidade da pilha de resíduos de maracujá + graviola.



Fonte: autora, 2021.

Os principais objetivos de realizar o revolvimento da pilha são promover a aeração em seu interior, que consiste em aumentar a disponibilidade de oxigênio, essencial para os microrganismos decompositores e controlar a temperatura para que se evite valores acima de 65 °C. Para o presente estudo, o revolvimento foi realizado apenas para introdução de oxigênio e descompactação da massa de composto, uma vez que não foi necessário proceder com o controle de temperaturas elevadas.

5.3.3. Características finais do composto orgânico

Um dos principais usos dos compostos orgânicos é condicionar o solo e prover nutrientes para o crescimento e desenvolvimento das plantas, bem como aumentar a retenção de água no meio (POLPRASERT, 2007). As características do adubo orgânico formado ao final do processo de compostagem provêm, sobretudo, dos materiais que lhes deram origem e sua qualidade está associada à concentração de nutrientes e à presença ou ausência de substâncias perigosas que possam vir a comprometer o solo (MAPA, 2020).

O produto final da compostagem segundo Bruschi (2002) deve ter pH superior a 6,0 e a relação C/N na faixa de 10/1 a 15/1. Sendo assim, os valores obtidos por meio de análise

laboratorial indicaram pH igual a 7,71 e relação C/N igual a 12,41 e estão de acordo com o observado pelo autor.

A condutividade elétrica é outro indicador do grau de maturação do composto orgânico e não deve ultrapassar $4000\mu\text{s.m}^{-1}$ (KIEHL, 1998) evitando assim a salinização do solo quando aplicado com o produto da compostagem. De acordo com o valor avaliado em $4.867\mu\text{s.m}^{-1}$ no composto produzido, é possível observar que a condutividade elétrica do produto final se encontra acima da faixa tolerada, esse fato ocorreu por se ter trabalhado com ambiente fechado (acondicionado em lona) não proporcionando a lixiviação dos sais ao longo do processo de compostagem.

5.4 Finalização do processo de compostagem

Uma logomarca faz parte da construção visual de um produto, sendo importante para criar um bom relacionamento entre o produto e seu consumidor, assim de acordo com a proposta do produto o mesmo recebeu o nome de Composfruta, união dos nomes compostagem e resíduos de fruta, trazendo em sua estrutura elementos como a folha e as cores verde e azul remetendo ao meio ambiente (figura 11). O rótulo apresentado teve o intuito de trazer uma breve descrição do produto, instruções de uso e armazenamento. Para sua identidade visual foram utilizados elementos como algumas das frutas presentes no processo de compostagem (figura 12). O composto obtido no processo final de peneiramento foi ensacado em embalagens de plástico e etiquetado (figura 13).

Figura 11 - Logomarca criada para o composto orgânico produzido na COOPEAGRO.



Figura 12 - Rótulo criado para o composto orgânico produzido na COOPEAGRO



Figura 13 - Composto orgânico embalado produzido na COOPEAGRO.



5.4. Validação do manual para compostagem

O manual prático para implementação da compostagem foi bem avaliado por estudantes e professor do IFAL *campus* Maragogi e gestor da COOPEAGRO. Os estudantes avaliaram o texto como adequado de fácil compreensão e bem atraente estimulando a leitura

e vindo a contribuir para sua formação no curso de agroecologia. O professor do IFAL e gestor da COOPEAGRO avaliaram o manual como muito adequado quanto a sua compreensão e linguagem acessível. Professor e Gestor consideraram ainda excelentes a forma como os conteúdos foram apresentados deixando atrativo, estimulando a leitura e facilitando o entendimento do assunto tratado. O professor informou que o conteúdo abordado pode contribuir para a formação profissional dos estudantes de Agroecologia do IFAL *campus* Maragogi e o gestor informa que o conteúdo abordado pode contribuir para a prática da compostagem aos sócios da COOPEAGRO. Autores como Reis e colaboradores (2012) relataram a importância da utilização de materiais didáticos auxiliando com temas transversais na educação ambiental, como no caso a compostagem.

6. CONCLUSÕES

Foram caracterizados cinco diferentes resíduos gerados pela agroindústria e todos mostraram potencial para utilização no processo de compostagem orgânica. A caracterização dos resíduos de fruta permitiu sugerir as proporções de misturas aqui estudadas, fundamental para a correta condução do experimento.

Foi possível propor seis configurações de pilhas de composto, com combinação de 2 materiais diferentes, de acordo com os resíduos estudados.

O processo de compostagem foi executado e os resultados obtidos demonstraram eficiência do experimento. Durante o monitoramento dos parâmetros envolvidos no processo, os mesmos se apresentaram em conformidade com a literatura.

A caracterização final do composto formado se mostrou viável para aplicação ao solo, e devido à sua origem, ou seja, resíduos 100% vegetais sem a presença de contaminantes sanitários, o produto final pode ser utilizado de forma segura na agricultura.

O manual prático para implementação da compostagem nos setores de mesmo segmento foi bem avaliado por estudantes, professores e gestor da COOPEAGRO.

7. REFERÊNCIAS

Abrafrutas – Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados. **Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo, diz Abrafrutas**. Disponível em <<https://abrafrutas.org/2019/03/brasil-e-o-terceiro-maior-produtor-de-frutas-do-mundo-diz-abrafrutas/>>. Acesso em maio de 2019.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004 – Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ABUD, A. K. S.; NARAIN, N. **Incorporação da farinha de resíduo do processamento de polpa de fruta em biscoitos: uma alternativa de combate ao desperdício**. Brazilian Journal of Food Technology, v. 12, n. 4, p. 257-265, out./dez. 2009. DOI: 10.4260/BJFT2009800900020.

ALAGOAS. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de Alagoas**. Maceió, 2015. Disponível em: <http://residuossolidos.al.gov.br/vgmidia/arquivos/191_ext_arquivo.pdf>. Acesso em 05 junho de 2021.

BERNAL, M. P.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; PAREDES, C.; ROIG, A. **Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil**. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 69, p. 175-189, 1998.

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

BRASIL. CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002. **Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais**. Brasília, Diário Oficial da União, 22 de novembro de 2002.

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

BRUSCHI, D. M.; RIBEIRO, M. A.; PEIXOTO, M. C. D.; SANTOS, R. de C. S.; FRANCO, R. M. **Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios**; v.1. 3.ed. - Belo Horizonte: FEAM, 2002.

CALDAS, Celso Silva. **Novo manual para laboratórios Sucroalcooleiros Maceió**. 1 ed. Maceió: Moura Ramos, 2011.

CARVALHO, J. C. de; SANCHUKI, C. E.; LETTI, L. A. Jr.; WOICIECHOWSKI, A. L.; WALTER, A.; SOCCOL, C. R. Capítulo 4: Compostagem de Resíduos Agroindustriais. In: PASTORE, G. M.; BICAS, J. L.; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R. **Biotechnology de Alimentos**. Vol. 12. Editora Atheneu, 2013.

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **PIB do agronegócio tem crescimento recorde de 24,31% em 2020**. Março, 2021. Disponível em

<<https://www.cnabrazil.org.br/noticias/pib-do-agronegocio-tem-crescimento-recorde-de-24-31-em-2020>>. Acesso em abril, 2021.

CÓRDOVA, K. R. V.; GAMA, T. M. M. T. B.; WINTER, C. M. G.; KASKANTZIS NETO, G.; FREITAS, R. J. S. **Características físico-químicas da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Flavicarpa Degener) obtida por secagem.** Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos (CEPPA), Curitiba, PR, v. 23, n. 2, p. 221-230, jan./jun. 2005.

EMBRAPA AGROBIOLOGIA. **Aproveitamento de resíduos orgânicos.** 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/pt/agrobiologia/pesquisa-e-desenvolvimento/aproveitamento-de-residuos-organicos>>. Acesso em 19 novembro de 2020.

GOMES, Tâmara Cláudia de Araújo. **Resíduos orgânicos no processo de compostagem e sua influência sobre a matéria orgânica do solo em cultivo de cana-de-açúcar.** 2011. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

GOMES, T. C. de A.; ARAÚJO, J.L. P.; SANTOS, T. A.; MELO, P. L. A.; PEREIRA, K. T. de O.; COSTA JÚNIOR, J. C. da; SANTOS, T. C dos; **Reciclagem de vinhaça via compostagem em larga escala.** Comunicado Técnico. Aracajú, SE: Embrapa, 2018.

IMA – INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE DE ALAGOAS. **Sgors: Uso de sistema entra em vigor nesta sexta.** 26 de fevereiro de 2021. Disponível em <<https://www.ima.al.gov.br/sgors-uso-de-sistema-entra-em-vigor-nesta-sexta-em-alagoas/>>. Acesso em março de 2021.

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Incra nos Estados - Informações gerais sobre os assentamentos da Reforma Agrária: SR 22 – Alagoas.** 2017. Disponível em: <<https://painel.incra.gov.br/sistemas/index.php>> Acesso em 01 de junho de 2021.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas.** Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012.

KIEHL, Edmar José. **Fertilizantes Orgânicos.** São Paulo, SP: Editora Agronômica Ceres LTDA, 1985.

KIEHL, Edmar José. **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto.** Piracicaba: O autor, 1998.

MATOS, Antônio Teixeira de. **Tratamento e aproveitamento de resíduos sólidos.** Viçosa, MG: Editora UFV, 2014.

MATTA, V. M.; FREIRE JÚNIOR, M.; CABRAL, L. M. C.; FURTADO, A. A. L. **Polpa de Fruta Congelada.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020: **Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura.** Brasília, Diário Oficial da União, 15 de julho de 2020.

MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Brasília, DF: 2015. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/Agenda2030-completo-site.pdf>. Acesso em 29 de janeiro de 2021.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Portaria nº 280, de 29 de junho de 2020**: Regulamenta os arts. 56 e 76 do Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, e o art. 8º do Decreto nº 10.388, de 5 de junho de 2020, **institui o Manifesto de Transporte de Resíduos - MTR nacional**, como ferramenta de gestão e documento declaratório de implantação e operacionalização do plano de gerenciamento de resíduos, dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos e complementa a Portaria nº 412, de 25 de junho de 2019. Brasília, 2020.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Proposta para o Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF: 2020. Disponível em <<http://consultaspublicas.mma.gov.br/planares/wp-content/uploads/2020/07/Plano-Nacional-de-Res%C3%ADduos-S%C3%B3lidos-Consulta-P%C3%ABlica.pdf>>. Acesso em janeiro de 2021.

PEREIRA NETO, João Tinôco. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Ed. rev. e aum. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007.

PICHTEL, John. **Waste management practices: municipal, hazardous, and industrial**. Florida: CRC Press, 2005.

POLPRASERT, Chongrak. **Organic Waste Recycling: Technology and Management**. 3. ed. Tailândia, Bangkok: IWA Publishing, 2007.

PROSAB. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

REIS, V. R. dos; SANTOS, A. S. dos; MACHADO, P. B.; SOUZA, G. S. de. **Utilização de cartilha como ferramenta de educação ambiental**. Seminário Universidade Sociedade – Semana Kirimurê. Cachoeira/BA, 2012.

ROSA, M. F.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, M. C. B.; MORAIS, J. P. S.; SANTAELLA, S.T.; LEITÃO, R. C. **Valorização de resíduos da agroindústria**. In: II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA, Foz do Iguaçu, 2011.

SENESI, N. **Composted materials as organic fertilizers**. The Science of the Total Environment, v.81/82, p. 521-542, Amsterdam, 1989.

SILVA, F. C. da. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** - 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 1999.

SOUZA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; SILVA, M. J. M. da; LIMA, A. de. **Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais**. Ciência e Agrotecnologia, v. 35, n. 3, p. 554-559. Lavras: maio/jun., 2011.

SPADOTTO, CLÁUDIO A.; RIBEIRO, WAGNER. C. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: FEPAF, 2006.

8. APÊNDICE

APÊNDICE A – Manual de compostagem

MANUAL DE COMPOSTAGEM PARA RESÍDUOS PROVENIENTES DE FABRICAÇÃO DE POLPAS DE FRUTAS



 **INSTITUTO FEDERAL**
Alagoas
Campus Marechal Deodoro



EXPEDIENTE TÉCNICO

INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS - IFAL
CAMPUS MARECHAL DEODORO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS - PPGTEC

Autora: Ma. Tays Myrelle de Vasconcelos Siqueira

Coautor e orientador: Prof. Dr. André Suêlto Tavares de Lima

Projeto gráfico e diagramação: Alan Fagner Ferreira



**Dados Internacionais de Catalogação na
Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Marechal Deodoro
Biblioteca Dorival Apratto**

S618m

Siqueira, Tays Myrelle de Vasconcelos.

Manual de compostagem para resíduos provenientes de
fabricação de polpas de frutas / Tays Myrelle de Vasconcelos
Siqueira, André Suêlto Tavares de Lima. – 2021.

23 f. : il., col.

1 CD-ROM : 1,98 megabytes (PDF) ; 4 ¼ pol. ; caixa acrílica
(12,5 cm x 14 cm).

Inclui bibliografia e figuras.

Produto Educacional – Manual (Mestrado Profissional em
Tecnologias Ambientais) – Instituto Federal de Alagoas, *Campu*
Marechal Deodoro, Marechal Deodoro, 2021.

Orientador: Prof. Dr. André Suêlto Tavares de Lima.

1. Compostagem. 2. Reaproveitamento - Resíduos de frutas. I.
Título. II. Lima, André Suêlto Tavares.

CDD: 631

**Maria Jôse Nascimento Leite Machado
Bibliotecária- CRB-4/2125**

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	4
1. INTRODUÇÃO	5
2. O QUE É COMPOSTAGEM?	7
3. QUAIS AS VANTAGENS?	9
4. COMO FAZER?	12
4.1 Local	12
4.2 Resíduos a serem misturados	12
4.3 Montagem	15
4.4 Manutenção e monitoramento	17
4.4.1 Umidade	17
4.4.2 Temperatura	18
4.4.3 Disponibilidade de oxigênio	19
4.4.3 Finalização do processo de compostagem	19
5. REFERÊNCIAS	21





APRESENTAÇÃO

Este manual foi desenvolvido com o objetivo de reaproveitar os resíduos provenientes do processamento de frutas para fabricação de polpas. A COOPEAGRO (Cooperativa dos Pequenos Agricultores Organizados) é uma agroindústria localizada no município de Maragogi/AL, que desenvolve junto com os agricultores locais o processo de beneficiamento de frutas para fabricação de polpas. Em seus assentamentos os agricultores produzem diferentes cultivos, destacando-se frutas como acerola, graviola, cajá, maracujá, goiaba, entre outras, que são destinadas para o beneficiamento e consequente comercialização dos produtos.

Este manual é destinado à COOPEAGRO e seus cooperados, assim como demais indústrias do mesmo segmento, como uma forma de instrução técnica para que se consiga implementar o processo de reaproveitamento de seus resíduos orgânicos, sendo o produto final da compostagem utilizado em novos cultivos de frutas.

Aqui serão trazidas informações que auxiliarão na montagem e manutenção das pilhas de composto para que o processo seja conduzido de forma correta, tanto pelas agroindústrias, quanto pelos agricultores fornecedores da matéria-prima.



1. INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil é o terceiro maior produtor de frutas no mundo, ficando atrás apenas de China e Índia (Abrafrutas, 2019), o que mostra a relevância do segmento para a economia brasileira, em especial diante da diversidade edafoclimática e de culturas produzidas no país. A conservação de frutas na forma de sucos e polpas apresenta-se como uma das principais alternativas na busca de durabilidade do produto e consumo conforme sazonalidade.

Além do consumo na forma de sucos, a polpa de fruta também pode ser utilizada para produção de geleias e doces em geral, possuindo vantagens quanto à durabilidade do produto e consumo que independe da safra.

A figura 1 mostra o fluxograma representativo do processo de fabricação de polpa de frutas. Ao longo da cadeia produtiva há geração de resíduos desde a etapa de triagem dos insumos até a formação do produto final. Os subprodutos gerados a partir do processamento das frutas são constituídos por cascas, sementes, bagaço, etc, sendo resíduos ricos em matéria orgânica.

A COOPEAGRO, por exemplo, gera em torno de 25 toneladas de resíduo por mês, volume que varia de acordo com a safra. Estes resíduos são potenciais fontes de nutrientes e podem ser reinseridos no ciclo de crescimento e desenvolvimento de plantas por meio da aplicação do adubo orgânico resultante do processo de compostagem (Souza et al, 2011; Córdova et al, 2005).

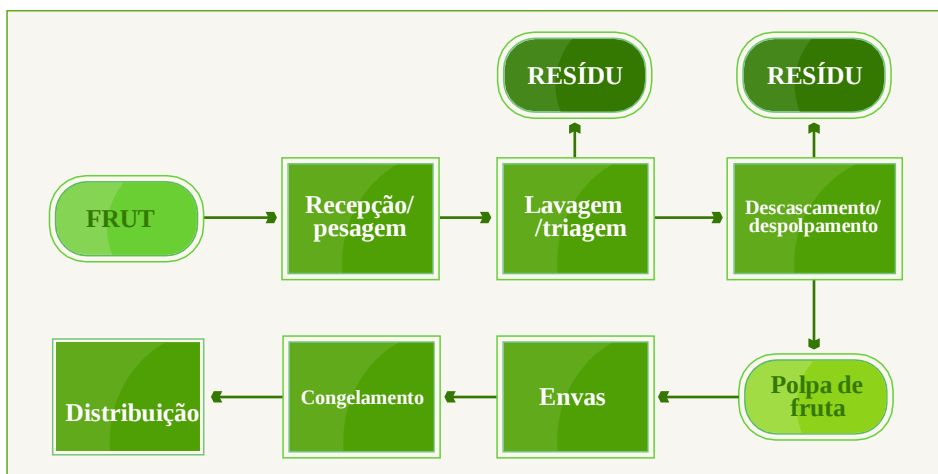


Figura 1 - Fluxograma do beneficiamento de frutas para a produção de polpas.

Elaborado por Tays Vasconcelos

Neste contexto, a compostagem se apresenta como uma alternativa para a transformação bioquímica dos nutrientes presentes nos resíduos das frutas (compostos orgânicos) para a forma de nutrientes que as plantas são capazes de absorver (sais minerais solúveis).

Além de ser uma opção simples e de baixo custo de manuseio e implantação, a compostagem é uma solução para o reaproveitamento destes resíduos orgânicos e está prevista na Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. A abordagem utilizada neste manual abrange apenas resíduos de origem 100% vegetal, ou seja, apenas resíduo de frutas, sem adição de fonte externa à agroindústria de

VOCÊ SABIA?

Lei nº 12.305/2010, Art. 3º, VII:

VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético (...).



2. O QUE É COMPOSTAGEM?

A compostagem é um processo que consiste na degradação da matéria orgânica por meio de microrganismos, como bactérias, fungos e actinomicetos, resultando em um material estável ou humificado, que pode ser utilizado como adubo orgânico. De acordo com Pereira Neto (1987), o processo se desenvolve em fases distintas na qual há alteração de temperatura, onde a fase termofílica ocorre com temperaturas entre 45 a 65 °C (fase ativa) e a fase mesofílica com temperaturas de até 45 °C. Ainda, há a fase de maturação ou cura, que se dá ao final do processo, no qual o composto encontra-se em fase de estabilização.

Para que o processo ocorra de forma adequada, alguns fatores são fundamentais e tem interferência direta na condução do processo de compostagem, como a temperatura, umidade, oxigênio e o teor de nitrogênio e carbono que estão presentes nos materiais a serem misturados (relação C/N).

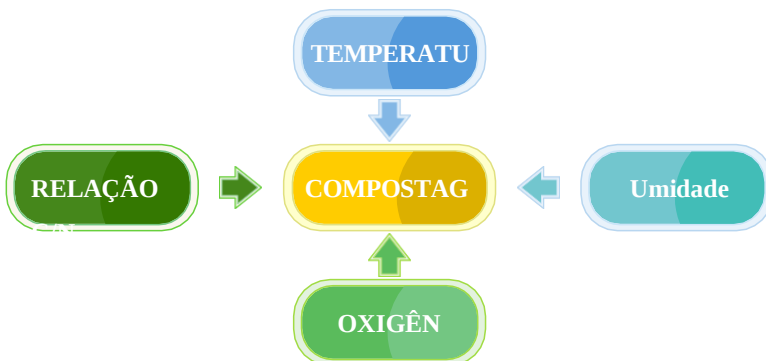


Figura 2 - Fatores que interferem no processo de compostagem.

Elaborado por Tays Vasconcelos.



Figura 3 - Higienização e seleção da goiaba para a produção de polpa.

Por meio da compostagem é possível reaproveitar os resíduos orgânicos, onde os nutrientes presentes nestes resíduos serão mineralizados e podem ser reinseridos no solo ao final do processo, fazendo com que haja melhoria das características físicas, químicas e biológicas do meio.

A exemplo de resíduos orgânicos, pode-se citar os resíduos de frutas, como as cascas, sementes, fibras, etc., e a combinação de algumas destas frutas resulta em características adequadas para que o processo de compostagem ocorra de forma eficiente, resultando em um adubo de origem 100% vegetal.



Figura 4 - Resíduos do maracujá e abacaxi após o processamento para a produção de polpa.

Fonte: Tays Vasconcelos, 2020.



3. QUAIS AS VANTAGENS?

O beneficiamento de frutas para a fabricação de polpas gera toneladas de resíduos agroindustriais. A necessidade de gerenciamento adequado de resíduos, sejam eles resíduos sólidos urbanos, industriais, eletrônicos, etc, é contemplada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010, a qual torna como princípio a reutilização e reciclagem de resíduos e reconhece tal prática como bem econômico e de valor social.

A compostagem de determinados subprodutos gerados nas agroindústrias pode diminuir significativamente o volume enviado aos aterros sanitários, o que faz aumentar sua vida útil. No caso da compostagem dos resíduos gerados através do beneficiamento de frutas para a produção de polpas, o adubo 100% vegetal formado ao final do processo, que dura cerca de 90 a 120 dias, pode ser aplicado no solo para melhoria de suas condições físicas, químicas e biológicas. Pode-se citar, a título de benefícios: o aumento da retenção de água no meio, disponibilidade lenta de nutrientes, maior diversificação de microrganismos, entre outros.

Além disso, os elementos presentes no composto formado se encontram mineralizados, e quando adicionados ao solo podem ser absorvidos pelas plantas, o que contribui com a ciclagem de nutrientes, como mostra a figura 5.



Figura 5 - Ciclagem de nutrientes no processo de compostagem.

Elaborado por Tays Vasconcelos.

Os nutrientes são elementos presentes no solo e são essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas conforme sua necessidade, podem ser classificados como macronutrientes e micronutrientes. Os nutrientes que as plantas necessitam em maior quantidade são denominados macronutrientes, e aqueles que as plantas necessitam em menor quantidade são os micronutrientes, como pode ser observado na figura 6.

MACRONUTRIENTES	MICRONUTRIENTES
Nitrogênio (N) Fósforo (P) Potássio (K) Cálcio (Ca) Magnésio (Mg) Enxofre (S)	Boro (B) Cloro (Cl) Cobre (Cu) Ferro (Fe) Manganês (Mn) Molibdênio (Mo) Níquel (Ni) Zinco (Zn)

Figura 6 - Nutrientes essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas

VOCE ? SABIA?

O carbono (C) e o oxigênio (O) não são obtidos através do solo pelas plantas, são retirados do ar por meio da fotossíntese e respiração, respectivamente. Já o hidrogênio é obtido quase que totalmente pela água (H).

Os nutrientes presentes nos fertilizantes orgânicos quando são dispostos no solo passam a ficar disponíveis para as plantas com o passar dos dias, isto faz com que a planta absorva apenas a quantidade necessária conforme se desenvolve. Já os fertilizantes sintéticos quando são dispostos no solo, os nutrientes se encontram totalmente disponíveis de imediato para a absorção das plantas e isto pode causar perdas em caso de irrigação excessiva.

Os resíduos de frutas gerados pela COOPEAGRO são caracterizados como resíduos orgânicos vegetais e são passíveis de compostagem, contanto que haja o monitoramento e o controle de alguns parâmetros que serão abordados neste manual, de forma que seja de fácil entendimento e aplicabilidade pela cooperativa e os agricultores cooperados.



4. COMO FAZER?

4.1 Local

O local a ser escolhido para realizar a compostagem deve apresentar superfície impermeável ou ter solo de baixa permeabilidade (solos argilosos) e ser próximo a uma fonte de água para irrigação da pilha do composto, se necessário for. A irrigação da pilha contribuirá com a ação microbiana de decomposição da matéria orgânica.

4.2 Resíduos a serem misturados

O elevado padrão de consumo da sociedade nos dias atuais demanda maior produtividade das indústrias, nos mais diversos segmentos. No segmento da agroindústria, mais especificamente no setor de fabricação de polpa de frutas, são geradas toneladas de resíduos, caracterizados como resíduos orgânicos vegetais.

A relação carbono e nitrogênio (C/N) é fundamental para o processo de compostagem, ou seja, é necessário conhecer a quantidade de carbono e nitrogênio presente nos resíduos a serem compostados para que o processo ocorra de forma equilibrada. É devido a isto que geralmente misturam-se diferentes tipos de materiais, um que seja mais rico em carbono e outro mais rico em nitrogênio, de forma que esta relação esteja próxima de 30/1 (para cada parte de nitrogênio são necessárias 30 partes de carbono).

Abaixo são relacionadas as quantidades de carbono orgânico e nitrogênio total encontradas nos resíduos mais abundantes das frutas após o processamento para a produção de polpas pela COOPEAGRO:

Tabela 1 – Carbono orgânico e nitrogênio total dos resíduos mais abundantes da COOPEAGRO.

RESÍDUO	CARBONO ORGÂNICO (%)	NITROGÊNIO TOTAL (%)	RELAÇÃO C/N
Abacaxi	4,12	0,11	37,45
Graviola	5,51	0,25	22,04
Maracujá	7,01	0,12	58,42
Acerola	6,33	0,25	25,32
Goiaba	9,87	0,34	29,03

Percebe-se que o resíduo do maracujá apresenta a mais elevada relação C/N, enquanto que o resíduo da graviola apresenta a mais baixa relação C/N, segundo as análises laboratoriais.

Ainda sobre a caracterização inicial dos resíduos, também foram avaliados em laboratório outros parâmetros para melhor conhecimento de sua composição química, incluindo a concentração dos demais nutrientes no material a ser compostado, como mostra a tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização química dos resíduos de frutas da COOPEAGRO.

PARÂMETRO AVALIADO	RESÍDUO DE FRUTAS				
	Abacaxi	Graviola	Maracujá	Acerola	Goiaba
P (g/dm ³)	0,27	0,18	0,48	0,12	1,42
K (g/dm ³)	6,82	0,33	1,85	1,29	5,21
Ca (g/dm ³)	0,31	0,44	4,10	1,13	4,41
Mg (g/dm ³)	0,24	0,38	3,13	1,39	2,77
Na (g/dm ³)	0,68	0,08	4,16	0,98	7,77
Zn (mg/dm ³)	18,06	1,54	3,79	0,10	0,70
Cu (mg/dm ³)	9,85	0,55	0,54	0,80	5,90
Mn (mg/dm ³)	43,92	0,90	0,33	0,20	2,3
Fe (mg/dm ³)	34,77	6,03	8,64	2,00	27,00

A partir da relação C/N apresentada na tabela 1, deve-se fazer a mistura de 2 ou mais resíduos de frutas de acordo com a composição dos

materiais. Essa mistura deve ter um resíduo com relação C/N maior que 30/1 e obrigatoriamente outro ou mais resíduos com relação C/N menor. Vale lembrar que essa mistura deve acontecer nas quantidades adequadas para que a proporção de carbono e nitrogênio fique próximo de 30/1.

Além da relação C/N, foram feitas as determinações de densidade úmida e teor de matéria seca de cada resíduo de fruta para encontrar a proporção adequada a ser misturada, em volume. Os resultados são mostrados a seguir:

Tabela 3 – Densidade úmida e teor de matéria seca dos resíduos de frutas.

RESÍDUO	(A) DENSIDADE ÚMIDA (kg/m ³) ¹	(B) TEOR DE MATÉRIA SECA (%) ²	(C) = A * (B / 100) DENSIDADE SECA (kg/m ³)
Abacaxi	657,7	11,6	76,29
Graviola	892,8	13,0	116,06
Maracujá	412,4	6,4	26,39
Acerola	756,7	25,9	195,98
Goiaba	922,7	34,7	320,18

1 A densidade úmida foi determinada utilizando um recipiente de 97 litros, previamente pesado. Foi preenchido totalmente o recipiente com o material desejado e após isso foi pesado. A densidade úmida do material é determinada pela subtração do peso do recipiente + material pelo peso do recipiente vazio e o resultado é dividido pelo volume do recipiente. Ao final multiplica-se o resultado por 1.000.

2 O teor de matéria seca foi determinado a partir da coleta de uma amostra de aproximadamente 500 ml, que foi colocada em um saco de papel, previamente pesado. Em seguida, foi pesado o saco de papel com o material úmido, e o valor anotado. Após isso, o saco com o material passou por processo de secagem ao sol. Com o material totalmente seco, novamente foi pesado o saco agora com o material seco. Subtraiu-se o peso do saco vazio. O teor de matéria seca corresponde à divisão do peso do material seco pelo peso do material úmido vezes 100.

Com os valores de densidade úmida e teor de matéria seca, é possível conhecer as proporções, em volume, que devem ser misturados os resíduos para a formação das pilhas de composto. As proporções de cada material são mostradas a seguir.

Tabela 4 – Proporção em volume dos resíduos a serem misturados.

MISTURAS (M1 + M2)	PROPORÇÕES EM VOLUME (%)	
	M1	M2
Maracujá + graviola	72,1	27,9
Maracujá + acerola	71,9	28,1
Maracujá + goiaba	54,1	45,9
Abacaxi + graviola	78,7	21,3
Abacaxi + acerola	78,6	21,4
Abacaxi + goiaba	62,8	37,2

Um exemplo da utilização da tabela a cima, caso tenham disponíveis resíduos de maracujá e graviola, para a formação de uma pilha de compostagem com volume total igual a 2.000 L, seriam necessários 1.442 L de resíduos de maracujá e 558 L de resíduo de graviola.

4.3 Montagem

Para iniciar a montagem é necessário fazer a pré-secagem dos materiais a serem misturados, de forma individual, uma vez que umidade em excesso compromete o processo de compostagem. Os resíduos provenientes do beneficiamento de frutas apresentam elevado teor de umidade, em torno de 80%, como mostraram os ensaios laboratoriais.



*Figura 8 – Resíduos do maracujá em processo de pré-secagem.
Tays Vasconcelos, 2021.*

A partir das porcentagens da tabela 4, define-se o volume da pilha que se deseja montar, a depender dos resíduos disponíveis para iniciar o processo. Após a definição do volume e separação das quantidades proporcionais de cada resíduo, o mesmo deve ser disposto em ambiente aberto e arejado de forma que se encontre espalhado para facilitar o processo de secagem. A depender do tipo do solo disponível no espaço para a realização da compostagem, recomenda-se a utilização de lonas plásticas para a impermeabilização de fundo.

Após a secagem dos resíduos, inicia-se o processo da mistura e montagem, onde os materiais podem adquirir a forma geométrica cônica ou prismática. Segundo Pereira Neto (2007), os montes de forma cônica são denominados “pilhas de compostagem”, e os montes de forma prismática são denominados “leiras de compostagem”. Recomenda-se a forma prismática para volumes maiores de resíduos, pois estas devem ter dimensões mínimas de 2,5 metros de largura e 1,5 metros de altura.



Figura 9 – Pilha de compostagem de maracujá e acerola após 10 dias da montagem.

Tays Vasconcelos, 2021.

4.4 Manutenção e monitoramento

É importante manter alguns fatores dentro do que é considerado adequado para o processo de compostagem, como o controle da temperatura, a umidade e a disponibilidade de oxigênio, entre outros. Os microrganismos presentes no interior da pilha de composto necessitam de nutrientes, água e oxigênio para degradar a matéria orgânica e sintetizar novas células microbianas. Devido a isto é necessário observar e estar atento às condições da pilha.

4.4.1 Umidade

A presença de água no meio é essencial para o crescimento e desenvolvimento dos microrganismos, ou seja, para que aconteça a reprodução de novas células microbianas, é necessário que haja disponibilidade de água. Além disso, os microrganismos assimilam os nutrientes que estejam dissolvidos em água, o que reforça a necessidade de manter a pilha de composto com teor de umidade adequado, principalmente na fase inicial do processo.

A faixa de umidade considerada ideal é em torno de 60%. Este índice pode ser medido através do colhimento de uma amostra do interior da pilha e ao apertar a amostra com a mão, não pode haver escorrimento de líquido (figura 10).



*Figura 10 - Teste do teor de umidade.
Tays Vasconcelos, 2021.*

Ao perceber que os resíduos estão muito secos, deve-se regar a pilha com água o suficiente para que o índice de 60% seja atingido. Para teor de umidade elevado, deve-se proceder com o espalhamento do material para secagem de líquido em excesso.

4.4.2 Temperatura

A temperatura é um dos principais fatores que deve ser controlado para maior eficiência do processo de compostagem. A ação microbiológica de estabilização do composto orgânico resulta em elevação da temperatura, que acontece em uma das fases da compostagem. O valor médio ideal de temperatura deve ser em torno de 55 °C (Pereira Neto, 1996), acima disso pode causar a eliminação dos organismos mineralizadores, que são aqueles que degradam a matéria orgânica. Esta elevação da temperatura também irá contribuir com o controle dos organismos patogênicos.

Para o controle de temperaturas muito elevadas, que pode ocasionar a mortandade dos microrganismos e comprometer o processo, pode ser realizado um teste com uma barra de ferro:

PASSO:

- 1 Insira a barra de ferro no interior da pilha de composto;
- 2 Aguarde alguns minutos até atingir o equilíbrio entre temperatura da barra de ferro e o interior da pilha/leira de composto;
- 3 Remova a barra de ferro;
- 4 Sentir ao toque se é possível segurar a barra de ferro: se houver muito incômodo ao segurar a barra de ferro a temperatura no interior da pilha está muito elevada e deve ser feita a irrigação e o revolvimento do material.

4.4.3 Disponibilidade de Oxigênio

A compostagem consiste em um processo aeróbico, ou seja, é necessária a presença de oxigênio para que os microrganismos degradem a matéria orgânica. Nos primeiros dias após a formação das pilhas de compostagem, a atividade dos microrganismos é bastante intensa, o que faz com que haja o consumo de oxigênio e a diminuição da sua concentração no interior da pilha. Desta forma, é importante que os resíduos sejam revolvidos semanalmente, para que haja a introdução de oxigênio na pilha (processo de aeração), o que também irá contribuir com a manutenção da temperatura, já que temperaturas elevadas podem prejudicar o processo.

O revolvimento dos materiais que formam a pilha pode ser feito de forma mecânica, com o auxílio de uma pá sempre que se verificar que a temperatura está bastante elevada ou perceber que o material está muito compactado.

PROGRAMAÇÃO PARA O REVOLVIMENTO

*Nos primeiros 30 dias ➡ fazer o revolvimento uma vez na semana
Após os 30 dias ➡ fazer o revolvimento a cada 15 dias*

4.4.4 Finalização do processo de compostagem

O período total da compostagem dura de 90 a 120 dias e alguns fatores influenciam nesse tempo, como a temperatura e o tamanho das partículas, por exemplo. Para os casos onde a temperatura da compostagem atinge valores mais elevados, ou seja, entre 55 a 65 °C, o processo pode finalizar de forma mais rápida, pois temperaturas mais elevadas consiste em atividade microbiana mais intensa e consequentemente degradação da matéria orgânica mais acelerada. O tamanho das partículas também pode conduzir a velocidade do processo

de compostagem: partículas menores resultam em tempo de compostagem menor pela maior superfície de contato a ser degradada.

Passados os 90 ou 120 dias, pode ser considerado finalizado o processo de compostagem e alguns fatores devem ser observados, tais como: coloração escura do composto formado, ausência de líquidos, odor de terra, e mãos limpas ao esfrega-las no composto. Para a utilização do adubo orgânico recomenda-se o peneiramento do produto com peneiras de malha de 1 a 4 mm.



5. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivas – ABRAFRUTAS. **Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo, diz Abrafrutas.** Disponível em: <<https://abrafrutas.org/2019/03/07/brasil-e-o-terceiro-maior-produtor-de-frutas-do-mundo-diz-abrafrutas/>>. 7 de março de 2019. Acesso em maio de 2020.

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

CÓRDOVA, K. R. V.; GAMA, T. M. M. T. B.; WINTER, C. M. G.; KASKANTZIS NETO, G.; FREITAS, R. J. S. **Características físico-químicas da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Flavicarpa Degener) obtida por secagem.** Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos (CEPPA), Curitiba, PR, v. 23, n. 2, p. 221-230, jan./jun. 2005.

GOMES, T. C. de A.; ARAÚJO, J.L. P.; SANTOS, T. A.; MELO, P. L. A.; PEREIRA, K. T. de O.; COSTA JÚNIOR, J. C. da; SANTOS, T. C dos; **Reciclagem de vinhaça via compostagem em larga escala.** Comunicado Técnico. Aracajú, SE: Embrapa, 2018.

KIEHL, Edmar José. **Fertilizantes Orgânicos.** São Paulo, SP: Editora Agronômica Ceres LTDA, 1985.

MATTA, V. M.; FREIRE JÚNIOR, M.; CABRAL, L. M. C.; FURTADO, A. A. L. **Polpa de Fruta Congelada.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

PEREIRA NETO, João Tinôco. **Manual de compostagem: processo de baixo custo.** Ed. rev. e aum. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007.

PICHTEL, John. Waste management practices: municipal, hazardous, and industrial. Florida: CRC Press, 2005.

SENESE, N. **Composted materials as organic fertilizers**. The Science of the Total Environment, V.81/82, p. 521-542, 1989.

SOUZA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; SILVA, M. J. M. da; LIMA, A de.

Caracterização

nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 35, n. 3, p. 554-559, maio/jun., 2011.

APÊNDICE B – Questionário avaliação – Alunos

Avaliação do manual de compostagem – Alunos
Aspectos analisados pelos alunos
Organização do manual.
Apresenta um texto atrativo e de fácil compreensão? [] Muito Adequado [] Adequado [] Mais ou Menos Adequado [] Inadequado
Linguagem apresentada no manual.
Apresenta linguagem acessível, evitando palavras desnecessárias e difíceis de entender? [] Muito Adequada [] Adequada [] Mais ou Menos Adequada [] Inadequada
Conteúdo apresentado no manual.
O conteúdo apresentado no manual é atrativo e estimula sua leitura? [] Excelente [] Ótimo [] Bom [] Regular [] Ruim
Estrutura as ideias facilitando o entendimento do assunto tratado? [] Excelente [] Ótimo [] Bom [] Regular [] Ruim
Produto técnico/tecnológico – Manual de compostagem.
O conteúdo abordado contribui para sua formação profissional? [] Sim [] Talvez [] Não
Caso julgue necessário, deixe sugestões de melhoria para o material.

APÊNDICE C – Questionário avaliação – Professores

Avaliação do manual de compostagem – Professores
Aspectos analisados pelos Professores
Organização do manual.
Apresenta um texto atrativo e de fácil compreensão? ☐ Muito Adequado ☐ Adequado ☐ Mais ou Menos Adequado ☐ Inadequado
Linguagem apresentada no manual.
Apresenta linguagem acessível, evitando palavras desnecessárias e difíceis de entender? ☐ Muito Adequada ☐ Adequada ☐ Mais ou Menos Adequada ☐ Inadequada
Conteúdo apresentado no manual.
O conteúdo apresentado no manual é atrativo e estimula sua leitura? ☐ Excelente ☐ Ótimo ☐ Bom ☐ Regular ☐ Ruim
Estrutura as ideias facilitando o entendimento do assunto tratado? ☐ Excelente ☐ Ótimo ☐ Bom ☐ Regular ☐ Ruim
Produto técnico/tecnológico – Manual de compostagem.
O conteúdo abordado pode contribuir para a formação profissional dos estudantes de Agroecologia do IFAL <i>campus</i> Maragogi? ☐ Sim ☐ Talvez ☐ Não
Caso julgue necessário, deixe sugestões de melhoria para o material.

APÊNDICE D – Questionário avaliação – Gestor

Avaliação do manual de compostagem – Gestor
Aspectos analisados pelos Gestores
Organização do manual.
Apresenta um texto atrativo e de fácil compreensão? [] Muito Adequado [] Adequado [] Mais ou Menos Adequado [] Inadequado
Linguagem apresentada no manual.
Apresenta linguagem acessível, evitando palavras desnecessárias e difíceis de entender? [] Muito Adequada [] Adequada [] Mais ou Menos Adequada [] Inadequada
Conteúdo apresentado no manual.
O conteúdo apresentado no manual é atrativo e estimula sua leitura? [] Excelente [] Ótimo [] Bom [] Regular [] Ruim
Estrutura as ideias facilitando o entendimento do assunto tratado? [] Excelente [] Ótimo [] Bom [] Regular [] Ruim
Produto técnico/tecnológico – Manual de compostagem.
O conteúdo abordado pode contribuir para a prática da compostagem aos sócios da COOPEAGRO? [] Sim [] Talvez [] Não
Caso julgue necessário, deixe sugestões de melhoria para o material.