

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

**COMPOSTAGEM ORGÂNICA SEMIAUTOMATIZADA DE BAIXO CUSTO: ESTUDO DE
VIABILIDADE EM LEIRAS ESTÁTICAS COM AERAÇÃO FORÇADA**

VINÍCIUS BARÃO SOARES

MACAÉ/RJ

2022

VINÍCIUS BARÃO SOARES

COMPOSTAGEM ORGÂNICA SEMIAUTOMATIZADA DE BAIXO CUSTO: ESTUDO DE VIABILIDADE EM LEIRAS ESTÁTICAS COM AERAÇÃO FORÇADA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Orientador: D. Sc. José Augusto Ferreira da Silva

MACAÉ/RJ

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S676c Soares, Vinícius Barão, 1988-.
Compostagem orgânica semiautomatizada de baixo custo: estudo e viabilidade em leiras estáticas com aeração forçada / Vinícius Barão Soares. — Macaé, RJ, 2022.
xiii, 64 f.: il. color.

Orientador: José Augusto Ferreira da Silva, 1970-.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2022.
Inclui referências.
Área de concentração: Sustentabilidade Regional.
Linha de Pesquisa: Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

1. Composto orgânico. 2. Leiras estáticas. 3. Aeração forçada. 4. Resíduos sólidos. 5. Metodologias de Compostagem. I. Silva, José Augusto Ferreira da, 1970-, orient. II. Título.

CDD 628 (23. ed.)

Dissertação intitulada **COMPOSTAGEM ORGÂNICA SEMIAUTOMATIZADA DE BAIXO CUSTO: ESTUDO DE VIABILIDADE EM LEIRAS ESTÁTICAS COM AERAÇÃO FORÇADA**, elaborada por **VINÍCIUS BARÃO SOARES** e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental (PPEA) do Instituto Federal Fluminense (IFFluminense), na área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Aprovado em: 06/05/2022.

Banca Examinadora:



José Augusto Ferreira da Silva, Doutor em Geografia / Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador



Frank Pavan de Souza, Doutor em Engenharia Civil / Universidade Federal do Rio de Janeiro
(UFRJ), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)



Rodrigo Batista Lobato, Doutor em Geografia / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ),
Universidade Veiga de Almeida (UVA)

DEDICATÓRIA

Primeiramente ao todo criador **Deus**, que está acima de todas as coisas deste mundo, concebendo sempre os nossos desejos e vontades, mesmo quando de forma oculta. Aos meus **pais**, Pedro e Luciene, os quais admiro, principalmente pelos exemplos de vida e de família.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, **Pedro Leal Soares** e **Luciene Albernaz Barão Soares**, pela lealdade, confiança, amor, cuidado, e incentivo à sabedoria. A minha irmã, **Luanna Barão Soares**, que sempre esteve por perto me ajudando de alguma maneira. Meu filho **Arthur Barão Tavares Florido** por ser fonte de amor e inspiração para o processo melhoria contínua.

Aos meus amigos **Rafael Custódio**, **Fernando Martins**, **Gabriel Carvalho** e **Jerlee Macedo** que sempre estiveram comigo, me apoiando, incentivando e acima de tudo me dando força para que eu pudesse concluir esta etapa da minha vida.

Aos profissionais **Felipe Monteiro Correa Marquiotte**, **Francisco Manoel Cardoso Junior**, **Rodrigo Zamba Gomes**, **Paulo Roberto Goulart Marinho**, **Leonardo Cassiano da Silva** e **Marlon de Oliveira Bragança**, por acreditarem nas minhas ideias e por contribuírem de maneira direta, na prática, cada um com seu importante saber.

A todos os meus amigos e colegas de classe, que de alguma maneira se fizeram presentes nesse processo, em especial **Thayná Nunes** e **Aline Marques**. Obrigado pela amizade!

Ao professor **José Augusto Ferreira da Silva** pela orientação, dedicação e conhecimento compartilhado durante a realização da pesquisa. Aos demais professores avaliadores e membros do PPEA, pela excelente experiência acadêmica proporcionada, que juntos, mesmo em tempos difíceis, não mediram esforços para o cumprimento das obrigações do Programa. Ao **Instituto Federal Fluminense - IFF** por toda a estrutura fornecida, gratuita e de qualidade.

O meu muito obrigado, sem **todos vocês** este trabalho não seria possível.

EPÍGRAFE

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

Antoine Lavoisier

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO CIENTÍFICO 1

Figura 1 – Gravimetria do RSU no Brasil	6
Figura 2 – O processo de compostagem (Balanço de massa)	16
Figura 3 – Fases da compostagem relacionando a temperatura do composto no tempo	17
Figura 4 – Composto orgânico	19
Figura 5 – Composteira cabocla	21
Figura 6 – Revolvimento manual	22
Figura 7 – Revolvimento automatizado	22
Figura 8 – Leiras aeradas agrupadas	24
Figura 9 – Reator automatizado	24
Figura 10 – Modelo de gestão integrada dos resíduos sólidos orgânicos	29

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Figura 1 – Fungos degenerativos	44
Figura 2 – Mata (clímax)	44
Figura 3 – Hifas	45
Figura 4 – Isca coberta com tela	45
Figura 5 – Microrganismos regeneradores	46
Figura 6 – ME/solo	47
Figura 7 – Leira semiautomatizada	47
Figura 8 – Painel elétrico	49
Figura 9 – Capim Napier e farelo de trigo	51
Figura 10 – Matéria orgânica	52
Figura 11 – Pluviômetro manual	52
Figura 12 – pHmetro	54
Figura 13 – Produção ME/solo	55
Figura 14 – Construção do experimento	55
Figura 15 – Produtos	56

LISTA DE TABELAS

ARTIGO CIENTÍFICO 1

Tabela 1 – Relatório de resíduos (2019)	14
---	----

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Tabela 1 – Dados construtivos da leira A	48
Tabela 2 – Dados construtivos da leira B	48

LISTA DE QUADROS

ARTIGO CIENTÍFICO 1

Quadro 1 – Condições sugeridas para uma rápida compostagem	18
Quadro 2 – Características dos principais grupos microbianos envolvidos no processo de compostagem	20
Quadro 3 – Informações comparativas entre métodos de compostagem.....	26
Quadro 4 – Estratégias Bibliométricas	32

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Quadro 1 – Especificações para sistemas de aeração forçada	50
--	----

LISTA DE GRÁFICO

ARTIGO CIENTÍFICO 1

Gráfico 1 – Evolução da situação na disposição inadequada no Brasil	11
---	----

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Gráfico 1 – Temperatura x tempo	50
Gráfico 2 – Precipitação	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública

C/N – Carbono/Nitrogênio

cm – Centímetro

CTR – Central de Tratamento de Resíduos

FAO - Food and Agriculture Organization

hab. – Habitantes

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFF – Instituto Federal Fluminense

INEA – Instituto Estadual do Ambiente

Kg – Quilograma

L – Litro

Lbf – libra-força

M² – Metro ao quadrado

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

ME – Microrganismo eficiente

ml – Mililitro

mm – Milímetro

NBR – Norma Brasileira

NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio

O₂ – Oxigênio

°C – Grau Celsius

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

°F – Grau Fahrenheit

OMS – Organização Mundial de Saúde

PERS – Plano Estadual de Resíduos Sólidos

PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

pH – Potencial Hidrogeniônico (pHmetro)

PLANARES – Plano Nacional de Resíduos Sólidos

PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico

PMGIRS – Plano Municipal de Gestão Integral de Resíduos Sólidos

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólido

PNSB – Plano Nacional de Saneamento Básico

Pol – Polegada

PVC – Policloreto de polivinila

RSU – Resíduo Sólido Urbano

SEMAP – Secretaria do Ambiente, Sustentabilidade, Agricultura e Pesca

SINIR – Sistema Nacional de Informação sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos

SINIS – - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

Ton. – Toneladas

UCO – Usina de Compostagem

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

COMPOSTAGEM ORGÂNICA SEMIAUTOMATIZADA DE BAIXO CUSTO: ESTUDO DE VIABILIDADE EM LEIRAS ESTÁTICAS COM AERAÇÃO FORÇADA

RESUMO

A gestão dos Resíduos Sólidos é um desafio à sustentabilidade. A geração excessiva e a destinação inadequada dos resíduos geram um conflito com o qual a sociedade moderna se defronta. Desde a Conferência Rio 92, chegando a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS12 - Consumo e produção responsáveis, subitens 12.4 e 12.5), o tema tem sido tratado como prioridade, abrindo espaço para mudanças de paradigmas na busca de uma gestão ambientalmente adequada, afinal, a disposição inadequada gera impactos tanto na esfera ambiental quanto na social, entre eles, a degradação do solo, comprometimento dos recursos hídricos, alteração da drenagem urbana e a proliferação de vetores de doenças, portanto, alternativas que reduzam a quantidade de resíduos no ambiente se mostram promissoras. Logo, a técnica de compostagem se apresenta como uma alternativa, decompondo o resíduo e gerando um composto com qualidade nutricional e biológica possível de ser utilizado em sistemas de produção orgânica. Visando explorar esta temática, foi objetivo da pesquisa construir leiras estáticas de aeração forçada em zona rural, comparando a eficiência dos microrganismos eficientes e esterco bovino como inoculantes na geração de composto orgânico de qualidade que possa ser utilizado em diferentes culturas. De forma paralela, buscou-se compreender por meio da literatura os diversos métodos de compostagem que possuem baixo custo e que assim sejam vantajosos para produtores rurais.

Palavras-chave: Aeração forçada. Composto orgânico. Inoculantes. Métodos de compostagem. Resíduos sólidos.

**LOW-COST SEMI-AUTOMATED ORGANIC COMPOSTING: STUDY OF FEASIBILITY IN
STATIC LEADS WITH FORCED AERATION**

ABSTRACT

Solid Waste management is a challenge to sustainability. Excessive generation and inadequate disposal of waste generate a conflict that modern society faces. Since the Rio 92 Conference, reaching the United Nations (UN) 2030 Agenda with the Sustainable Development Goals (SDG12 - Responsible consumption and production, sub-items 12.4 and 12.5), the topic has been treated as a priority, opening space for changes paradigms in the search for environmentally adequate management, after all, inadequate disposal generates impacts both in the environmental and social spheres, including soil degradation, compromise of water resources, alteration of urban drainage and the proliferation of disease vectors, therefore, alternatives that reduce the amount of waste in the environment are promising. Therefore, the composting technique presents itself as an alternative, decomposing the waste and generating a compost with nutritional and biological quality that can be used in organic production systems. Aiming to explore this theme, the objective of the research was to build static windrows of forced aeration in rural areas, comparing the efficiency of efficient microorganisms and cattle manure as inoculants in the generation of quality organic compost that can be used in different cultures. In parallel, we sought to understand through the literature the various methods of composting that have low cost and that are thus advantageous for rural producers.

Keywords: *Forced aeration. Organic compost. Inoculants. Composting methods. Solid waste.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE GRÁFICO.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vii
RESUMO.....	x
<i>ABSTRACT</i>	xi
APRESENTAÇÃO	1
ARTIGO CIENTÍFICO 1 - RESÍDUOS ORGÂNICOS NO BRASIL: MÉTODOS DE COMPOSTAGEM PARA PEQUENAS COMUNIDADES RURAIS	3
RESUMO.....	3
<i>ABSTRACT</i>	4
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO DA LITERATURA	7
2.1. Experiências mundiais em gestão de resíduos orgânicos	7
2.2. Política nacional de gerenciamento integrado de resíduos sólidos e conceitos norteadores	9
2.3. Lei nº 12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).....	9
2.4. Legislação Estadual	12
2.5. Legislação Municipal	13
2.6. Classificação dos resíduos segundo as normas brasileiras	14
3. COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS	16
3.1. Microrganismos.....	19
4. MÉTODOS DE COMPOSTAGEM	20
4.1. Leiras estáticas com aeração passiva (UFSC).....	20
4.2. Compostagem com revolvimento de leiras	22
4.3. Leiras estáticas com aeração forçada	22
4.4. Compostagem em reatores (confinada).....	24
4.5. A escolha de um método de compostagem	25
5. CONTROLE DOS FATORES ECOLÓGICOS.....	26
5.1. Parâmetros físico-químicos que influenciam diretamente na compostagem	26
5.1.1. Aeração.....	26
5.1.2. Temperatura.....	27
5.1.3. Relação Carbono/Nitrogênio	27
5.1.4. Umidade	28

5.1.5. Estrutura	28
5.1.6. pH.....	28
5.2. Composto orgânico.....	29
6. MATERIAL E MÉTODOS	30
7. CONCLUSÃO.....	33
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
ARTIGO CIENTÍFICO 2 - LEIRA ESTÁTICA SEMIAUTOMATIZADA COM AERAÇÃO FORÇADA NA PRÁTICA: ANÁLISE ENTRE OS INOCULANTES MICROORGANISMO EFICIENTE E ESTERCO BOVINO	40
RESUMO.....	40
<i>ABSTRACT</i>	41
1. INTRODUÇÃO.....	42
2. MATERIAL E MÉTODOS	43
3. DESENVOLVIMENTO.....	44
3.1. Captura do ME/solo.....	44
3.2. Ativação do ME/solo.....	46
3.3. Construção do experimento	47
3.4. Aeração forçada (Oxigênio) x temperatura	49
3.5. Relação C/N	51
3.6. Estrutura	51
3.7. Balanço hídrico (Umidade).....	52
3.8. pH.....	53
3.9. Odor.....	54
4. RESULTADOS	54
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
7. ANEXO - ENQUADRAMENTO PARA LICENCIAMENTO AMBIENTAL NO RIO DE JANEIRO - RJ	60
8. APÊNDICE A – PLANTA BAIXA.....	61
9. APÊNDICE B – PLANTA (ISOMÉTRICO).....	62
10. APÊNDICE C – TABELA DE MEDIÇÃO.....	63
11. APÊNDICE D – PLANILHA DE CUSTOS.....	64

APRESENTAÇÃO

A produção de alimentos com maior qualidade ambiental e a gestão dos resíduos orgânicos para a redução de impactos ambientais, possuem forte interface nos estudos e nas aplicações das técnicas de compostagem. Tal produção e o consumo de alimentos seguem o crescimento populacional e, portanto, tendem a acompanhar a curva de crescimento.

Segundo Bojanic (2017), representante da Food and Agriculture Organization (FAO) no Brasil, em 2050, a população mundial será de 9,8 bilhões, ou seja 29% a mais que atualmente, e para garantir a oferta de alimentos terá como principal fornecedor o Brasil, tendo grande apelo para a exportação de commodities. Para atingir as elevadas metas de produção, o emprego de fertilizantes sintéticos e defensivos agrícolas é um fator que cresce e se estende por praticamente todas as terras cultiváveis, com alguns impactos imediatos conhecidos, como contaminação de águas subterrâneas, carreamento de nutrientes para cursos d'água superficiais (solubilização), crescimento de algas nas superfícies das águas num fenômeno conhecido por eutrofização, e outros que demoram décadas para se manifestar e serem avaliados em suas consequências totais. Até o dia 02 de dezembro de 2021, o governo federal já aprovou o registro de 500 pesticidas, número 1,4% maior do que em todo o ano de 2020. Do total e liberações, 6% são de produtos inéditos (SALATI, 2022).

Entretanto, a despeito dos riscos envolvidos, é forçoso reconhecer que o uso dos fertilizantes sintéticos e defensivos agrícolas são essenciais para assegurar os níveis de produção primária, particularmente de alimentos para o atendimento de uma população que continua a crescer a taxas elevadas. Se não é possível abolir o uso destes fertilizantes em curto prazo, é urgente limitar seu uso ao estritamente indispensável cortando os desperdícios geradores de resíduos poluidores. Restringindo também o uso de defensivos aos ambientalmente mais seguros e empregando técnicas de aplicação que reduzem os custos derivados de sua acumulação no ambiente natural e propagação pela cadeia alimentar.

Neste sentido, explorar técnicas de baixo custo e adaptáveis às mais diversas condições, regiões e propriedades rurais, são meios importantes para permitir o avanço necessário do país no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos.

Diante da descrição e entendimento da compostagem na literatura como um processo baseado na ecologia microbiana, ressalta-se a importância na aplicação da compostagem como instrumento da gestão de resíduos orgânicos e utilização do composto na agricultura. Por meio da revisão bibliográfica no Artigo Científico 1 e do experimento no Artigo Científico 2, com essa pesquisa buscou-se caracterizar o resíduo orgânico, os métodos de compostagem orgânica na zona rural, mostrar os

impactos ambientais positivos e negativos que a destinação e disposição final deste resíduo pode resultar, análise técnica e controle do processo de compostagem, qualidade do composto orgânico produzido com diferentes inoculantes (esterco bovino e microrganismos eficientes) em leiras semiautomatizadas.

Desta forma, conclui-se que o método denominado aeração forçada se adapta melhor às possibilidades, tendo uma melhor decomposição de resíduos orgânico por meio da potencialização da ação de microrganismos ao longo do processo, e por consequência, maior controle de fatores como odor, diminuição do volume de percolados sendo sua geração com coloração escura indicando bom grau de maturação, boa qualidade dos compostos gerados, além de diminuição do tempo de compostagem.

ARTIGO CIENTÍFICO 1 - RESÍDUOS ORGÂNICOS NO BRASIL: MÉTODOS DE COMPOSTAGEM PARA PEQUENAS COMUNIDADES RURAIS

SCIENTIFIC ARTICLE 1 - ORGANIC WASTE IN BRAZIL: COMPOUNDING METHODS FOR SMALL RURAL COMMUNITIES

Vinícius Barão Soares ⁽¹⁾
José Augusto Ferreira da Silva ⁽²⁾

RESUMO

Considerado o método de reaproveitamento mais aplicável para a fração orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), a compostagem - conversão biológica - atrai principalmente pelo baixo custo, portanto, o presente artigo discorre sobre a legislação referente aos resíduos sólidos no Brasil e os diferentes métodos de compostagem. O objetivo foi analisar os métodos de compostagem orgânica de baixo custo em zonas rurais como ferramenta de gestão de resíduos orgânicos para a geração de um composto orgânico estável e de qualidade para ser utilizado na agricultura. Para tanto, foi realizada uma revisão sistemática da literatura utilizando-se de estratégias Bibliométricas no portal de Periódicos Capes, por meio de palavras-chave relacionadas ao tema. Constatou-se que, de fato, o método denominado aeração forçada se adapta melhor às possibilidades, tendo uma melhor decomposição de resíduos orgânico por meio da potencialização da ação de microrganismos ao longo do processo e recomenda-se que a propriedade rural identifique o melhor meio de utilizar e preservar, potencializando não só o desenvolvimento sustentável, como também o aumento da produtividade na propriedade.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Métodos de compostagem. Composto orgânico.

ABSTRACT

Considered the most applicable reuse method for the organic fraction of Urban Solid Waste (USW), composting - biological conversion - attracts mainly because of its low cost, therefore, this article discusses the legislation regarding solid waste in Brazil and the different methods of compost. The objective was to analyze low-cost organic composting methods in rural areas as an organic waste management tool for the generation of a stable and quality organic compost to be used in agriculture. Therefore, a systematic literature review was carried out using a bibliometric strategy on the Capes Periodicals portal, using keywords related to the topic. It was found that, in fact, the method called forced aeration is better adapted to the possibilities, with a better decomposition of organic waste through the potentiation of the action of microorganisms throughout the process and it is recommended that the rural property identify the best means to use and preserve, enhancing not only sustainable development, but also increased productivity on the property.

Keywords: *Solid waste. Composting methods. Organic compost.*

(1) Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Estácio de Sá (UNESA). Pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade Redentor. Pós-graduado em Ciências Atmosféricas para Engenheiros, Ambientalistas e Educadores *latu sensu* pelo Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia (LAMET/CCT) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Consultor na empresa MAVI CONSULTORIA.

E-mail: vinicius.barao.soares@gmail.com

Endereço do lattes: <http://lattes.cnpq.br/9052139868965704>

(2) Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense), Campus Macaé, Macaé/RJ, Brasil.

E-mail: jaferreirasilva@gmail.com

Endereço do lattes: <http://lattes.cnpq.br/2157216556092647>

Nota: Artigo de Revisão Bibliográfica como requisito mínimo necessário para a qualificação que foi publicado na Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 06, Ed. 06, Vol. 01, pp. 156-195. Junho de 2021. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/metodos-de-compostagem>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/metodos-de-compostagem.

1. INTRODUÇÃO

O resíduo sólido é um dos problemas ambientais mais graves gerados pela sociedade moderna através das atividades humanas. O crescimento e a longevidade da população, associado à superurbanização e ao aumento da aquisição de novas tecnologias, produz imensas quantidades de resíduos. Além do crescimento da geração de resíduos, observa-se ao longo dos últimos anos, mudanças significativas em suas composições e características, além do aumento de sua periculosidade (MAZZA et al, 2014). No Brasil, a problemática tem sido cada vez mais discutida tanto no âmbito jurídico, em normativas e legislações, como também nas práticas de gestão que envolvem o chamado tripé da sustentabilidade, composto por sociedade civil organizada, empresas públicas e privadas, bem como instituições de ensino.

Outrora, os resíduos orgânicos eram destinados a alimentação de animais e/ou consumidos pela natureza, porém esta passou a não dar conta de reciclar os subprodutos depositados nas áreas rurais sem nenhum tipo de tratamento ou simplesmente lançados em corpos hídricos, causando grande passivo ambiental.

A promulgação da Lei nº 12.305/2010 - Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) que determinou inicialmente a desativação dos lixões até 2014, versa em seu Art. 9º a ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, seguido por: não geração, reduzir, reutilizar, reciclar, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos cujas possibilidades técnicas e econômicas de tratamento tenham sido esgotadas (BRASIL, 2010). Essa visão integrada da gestão de resíduos, apoiada no conceito economia circular, é base para a logística reversa. É uma ordem com força legal, ou seja, é um dever segui-la em busca do aumento da eficiência da cadeia produtiva e de serviços, utilizando as tecnologias adequadas.

Ainda sobre a questão da desativação dos lixões, a sanção da Lei nº 14.026/2020 – Novo Marco Legal do Saneamento Básico, promoveu alterações específicas no texto da PNRS, fixando o período máximo de dez anos para revisão dos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos e estabeleceu que a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deveria ser implantada até 31 de dezembro de 2020, exceto para os municípios que até essa data tenham elaborado plano intermunicipal ou plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos e que disponham de mecanismos de cobrança que garantam sua sustentabilidade econômico-financeira.

Nesses casos, atendidos tais requisitos legais, foram definidos os seguintes prazos: agosto de 2021, para capitais e cidades de regiões metropolitanas; agosto de 2022 para cidades com mais de 100

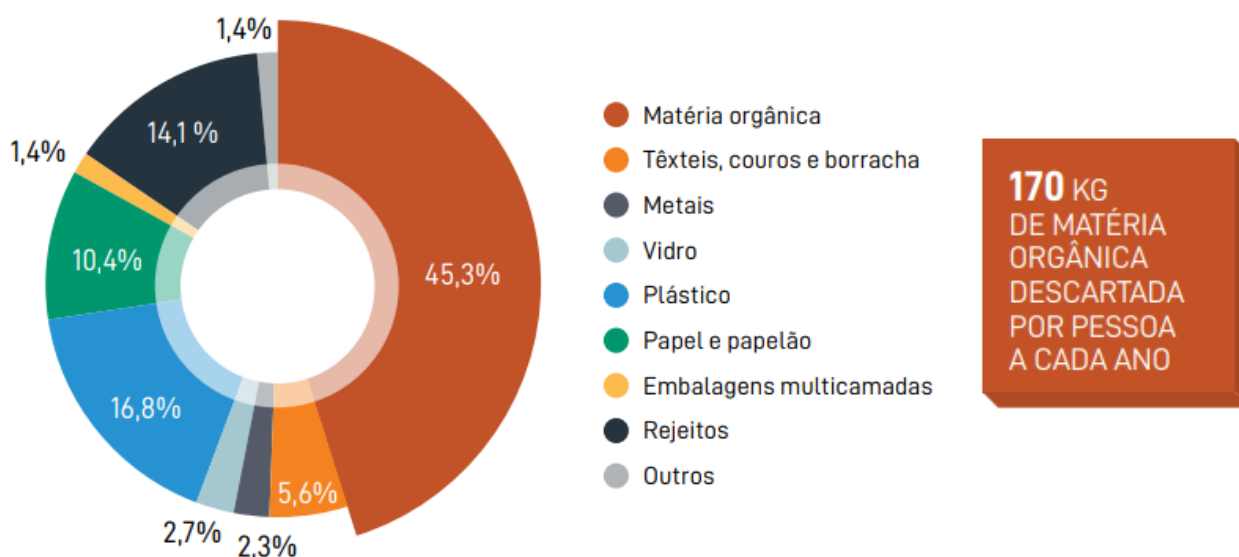
mil habitantes; agosto de 2023 para municípios com população de 50 mil a 100 mil habitantes; e agosto de 2024 é o prazo final, concedido para cidades com menos de 50 mil habitantes.

De acordo com pesquisa feita pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos – Abrelpe (2020), entre 2010 e 2019, a geração de RSU no Brasil registrou considerável incremento, passando de 67 milhões para 79 milhões de ton/ano. Por sua vez, a geração per capita aumentou de 348 kg/ano para 379 kg/ano. A quantidade de resíduos coletados cresceu em todas as regiões do país e, em uma década, passou de cerca de 59 milhões de toneladas em 2010 para 72,7 milhões de toneladas e, no mesmo período, a cobertura de coleta passou de 88% para 92%.

Ainda segundo a Abrelpe (2020), no Brasil a maior parte dos RSU coletados segue para disposição em aterros sanitários, tendo registrado um aumento de 10 milhões de toneladas em uma década, passando de 33 milhões de toneladas para 43 milhões de ton/ano. Por outro lado, a quantidade de resíduos que segue para unidades inadequadas (lixões e aterros controlados) também cresceu, passando de 25 milhões de toneladas para pouco mais 29 milhões de ton/ano.

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos refere-se à categorização dos materiais descartados pela população e seu conhecimento é um passo fundamental para a gestão integrada e eficiente desses materiais. A figura abaixo, demonstra que a fração orgânica ainda permanece como principal componente do RSU, com 45,3%, uma redução de 6,1% comparado aos dados do Panorama Abrelpe 2018/2019 que era de 51,4%.

Figura 1 – Gravimetria do RSU no Brasil



Fonte: Abrelpe, 2020.

Do ponto de vista sustentável, encarar a compostagem como uma biotecnologia ao tratamento da fração orgânica dos resíduos, significa colocá-la nos mais variados currículos técnicos superiores,

e não a manter enquadrada apenas como “antiga técnica agrícola para aproveitar o esterco e restos vegetais nas pequenas propriedades agrícolas”, mas também a inserir de forma consistente nos programas e planos de gestão de empresas e governos (INÁCIO; MILLER, 2009). Neste sentido, as instituições de ensino possuem fundamental papel no desenvolvimento de novas técnicas, sendo um laboratório de ideias sempre em busca de soluções viáveis.

Outro ponto importante nessa temática é a significativa despesa que produtores rurais tem com o subsídio de adubos químicos aos seus fornecedores para alavancar a produção. Com o aumento dos preços dos adubos químicos, a compostagem vem ao encontro das necessidades de redução do custo de produção com ingresso de energia externa a propriedade. Deste modo, a compostagem passa a ser uma alternativa viável para minimizar ou resolver o problema da geração de resíduos orgânicos na agroindústria e a possível economia com a disponibilização de composto de “qualidade” em substituição ao adubo químico (SOUZA et al, 2010).

Resíduos orgânicos são fontes para realização de compostagem e consequentemente adubação devido a sua riqueza em nutrientes, melhorando as propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo, refletindo em aumento da produtividade das culturas (SHARMA et al, 1997). Segundo D'almeida e Vilhena (2000), a compostagem é efetuada em 4 fases distintas: a primeira, quando há o início da decomposição da matéria orgânica, a segunda, onde ocorrem as reações bioquímicas mais intensas, a terceira, quando ocorre o resfriamento e a quarta, onde acontece a cura, maturação ou humificação e a mineralização do composto. Como a atividade microbiana ocorre normalmente na superfície das partículas, quanto menor o tamanho das partículas, maior a superfície ativa do material, maior a atividade microbiana e maior a taxa de decomposição. Partículas muito pequenas propiciam à compactação, inibindo a circulação de ar, diminuindo a disponibilidade de oxigênio para os microrganismos e com isso diminuindo a atividade microbiana (FIALHO et al., 2005). Nesse sentido, o sistema de compostagem com aeração forçada é visto como uma alternativa viável ao método tradicional de revolvimento das leiras.

Objetivou-se com este artigo analisar os métodos de compostagem orgânica de baixo custo em zonas rurais como ferramenta de gestão de resíduos orgânicos, transformando o resíduo em um produto estável e de qualidade para utilização agrícola.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Experiências mundiais em gestão de resíduos orgânicos

Segundo Horta e Castro (2016), em outros países o termo reciclagem é utilizado tanto para materiais recicláveis como para resíduos orgânicos. Alguns países europeus fazem distinção dos

resíduos que são dispostos nos aterros, uns com proibição da disposição, outros com um aumento na taxa de aterro. Países como Alemanha, Reino Unido, Áustria e Japão contam com planos de gestão de resíduos orgânicos, como descrito a seguir:

Desde 2012 em Londres os resíduos orgânicos são coletados de restaurantes, produção de alimentos e parques, e são destinados a uma central de compostagem. O composto é destinado ao Eco Park para ser vendido aos agricultores ou destinado aos parques da cidade, possibilitando um ciclo fechado dos resíduos (LONDON WASTE, 2014 apud HORTA E CASTRO, 2016).

Desde 1991 em Viena, os resíduos orgânicos são reciclados por meio de um pátio de compostagem aberto chamado Lobau. Este pátio tem uma capacidade anual de aproximadamente 150 mil toneladas e produz um composto com qualidade adequada para uso na agricultura. Existem 19 pontos de coleta de resíduos orgânicos no centro de Viena e, nos pontos de menor densidade populacional estão instalados cerca de 80 mil recipientes. Todos os anos, um total de aproximadamente 60 mil toneladas de materiais orgânicos são coletados a partir destes recipientes de resíduos orgânicos, e mais 30 mil toneladas provenientes dos centros de coleta de resíduos (VIENA, 2013 apud HORTA E CASTRO, 2016).

Na Alemanha, a coleta seletiva de resíduos orgânicos começou em 1985. Os resíduos coletados são transferidos para estações de tratamento de resíduos específicos, onde são compostados (aeróbio) ou fermentados (anaeróbio). Em 2011, cerca de 14 milhões de toneladas de resíduos orgânicos foram tratados biologicamente. Grande parte do resíduo orgânico foi compostado, ou seja, a energia contida não pode ser utilizada. O objetivo é aumentar a proporção de fermentação com recuperação de biogás no futuro. Por outro lado, os agricultores são os maiores beneficiários da compostagem, pois utilizam 55% do composto em suas terras reduzindo assim a necessidade de aplicação de fertilizantes químicos. Uma combinação das duas formas de uso, como por exemplo a produção de biogás de resíduos orgânicos com uso subsequente dos digestores como fertilizante é também conhecida como uso em cascata, este uso está aumentando atualmente (ALEMANHA, 2013 apud HORTA E CASTRO, 2016).

Uma iniciativa de profissionais independentes de Waste Concern, Dacca (Bangladesh) buscaram financiamento por meio dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), para organizarem a coleta seletiva de resíduo orgânico nas habitações, mercados e sacolões com a finalidade de realizar a compostagem dos resíduos e posterior comercialização do produto (WILSON et al., 2012 apud HORTA E CASTRO, 2016).

No Japão há uma lei do ano 2007, de incentivo ao ciclo de reciclagem do alimento, exigindo que as indústrias alimentícias comprem seus produtos de produtores e agricultores que utilizam composto orgânico e ração animal oriundos de processos como a compostagem, e que os resíduos biodegradáveis

da indústria sejam tratados de maneira que possam ser reutilizados pelos produtores e agricultores. O não cumprimento da lei acarreta notificações (TAKATA et al., 2012 apud HORTA E CASTRO, 2016).

2.2. Política nacional de gerenciamento integrado de resíduos sólidos e conceitos norteadores

Em breve histórico da tratativa do gerenciamento integrado de resíduos sólidos a nível nacional, tem-se inicialmente a Lei nº 9.605/1998 – Lei de Crimes Ambientais, que define em seu Art. 54º, como crime ambiental, sendo penalizado com reclusão de 1 (um) a 5 (cinco) anos, o lançamento indevido de resíduos sólidos que não se enquadrem nas exigências legais ou em regulamentos específicos (BRASIL, 1998).

Em 2007, as diretrizes nacionais para saneamento básico são definidas pela Lei nº 11.445/2007, caracterizando a gestão de resíduos sólidos como serviço público e implementa atividades que buscam melhorar a salubridade ambiental, tais como coleta, transporte, triagem, reciclagem e compostagem (CORRÊA; SILVA, 2015).

Segundo documento de revisão do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) de 2008 (2019), foi diagnosticado que em 2017 foram recebidas 3 milhões de toneladas de resíduos em 991 unidades de triagem, e 0,2 milhão de toneladas em 68 unidades de compostagem (pátio ou usina); e ainda estimou que apenas 5,4% dos recicláveis presentes nos resíduos sólidos urbanos foram de fato recuperados. O que equivale a apenas 1,8% de reciclagem do total de resíduos coletados no país.

A Política nacional de gerenciamento integrado de resíduos sólidos surge para enfrentar os problemas causados pelo manejo inadequado dos resíduos sólidos e contribui para a melhoria dos índices de reciclagem e compostagem. Desse modo, traz instrumentos e diretrizes que colaboram com o avanço para prevenção e redução da geração de resíduos (NÉTO; NETO, 2017).

A Lei nº 14.026/2020, como visto, trouxe diversas premissas e determinações que, em sendo implementadas, terão o condão de estimular os tão almejados avanços para o setor, com grande potencial para atrair os recursos demandados para sua efetiva adequação e universalização, vez que a segurança jurídica, por meio de contratos estruturados e de longo prazo, e a sustentabilidade econômico-financeira, por meio de instrumento de remuneração com cobrança dos usuários, são fatores fundamentais para atrair investimentos e viabilizar soluções consistentes (ABRELPE. 2020).

2.3. Lei nº 12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

Após 20 anos de tramitação no Congresso Nacional, uma aprovação praticamente unânime na Câmara dos Deputados e no Senado e mais de 10 anos de sua aprovação, a Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, estabelece diretrizes nacionais relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, responsabilidade compartilhada por todo ciclo da gestão dos resíduos

por parte dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis, e é atualmente o principal marco regulatório para o setor de resíduos sólidos no Brasil.

Neste sentido, a referida lei estabelece normas para a prestação de serviços, instrumentos, mecanismos para regulação, diretrizes para a participação e controle social. As metas foram planejadas a nível nacional, estadual, microrregional, intermunicipal, metropolitano e municipal. De forma análoga, os particulares também devem ter seus próprios Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) em consonância com a lei nº 12.305/2010.

No seu Art. 9º, a PNRS preconiza que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte hierarquia: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). Assim, é de suma importância a existência de ações preventivas por meio da educação ambiental de qualidade, pautada na Lei 9.795 de 27 de abril de 1999 - Política Nacional de Educação Ambiental, para evitar a geração de resíduos. Somente após o tratamento em meios como: segregação na fonte, coleta seletiva, reuso, incineração, compostagem e reciclagem é que se reduz a agressão ao ambiente natural e os rejeitos podem ser levados à disposição final ambientalmente adequada em aterros sanitários com o confinamento dos resíduos em camadas, impermeabilização, drenagem de gases e tratamento de chorume.

A PNRS une uma série de conceitos modernos para implementação de ferramentas que auxiliam e norteiam o processo de gestão de resíduos. Pode-se destacar desses conceitos e ferramentas o acordo setorial entre poder público e privado, que define a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, a logística reversa, a coleta seletiva, a criação de um sistema de informações sobre a gestão de resíduos sólidos, a inclusão de catadores e a criação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, elaborado com metas e estratégias nacionais (NÉTO, NETO, 2017).

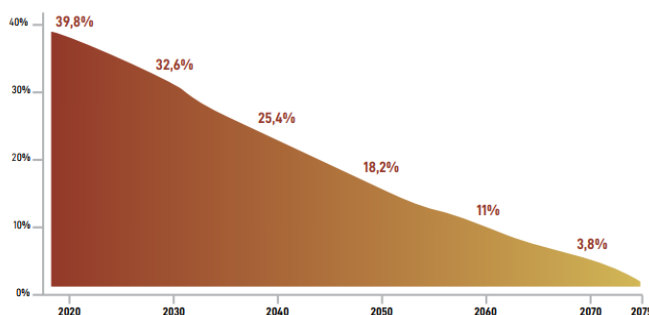
Segundo os autores da Abrelpe (2018/2019, p. 62-3), o atual cenário da gestão dos resíduos sólidos no Brasil,

(...) apesar de passados dez anos da vigência da Política Nacional de Resíduos Sólidos, o setor ainda apresenta alguns déficits consideráveis, principalmente no tocante a coleta seletiva, recuperação de materiais e disposição final dos resíduos coletados. A coleta seletiva está distante de ser universalizada, os índices de reciclagem são bastante incipientes e pouco evoluem, e os lixões estão presentes em todas as regiões, com impactos diretos sobre o meio ambiente e as pessoas – estas, além de serem afetadas por várias doenças, com custos bilionários para tratamentos de saúde, sofrem com o afastamento do mercado de trabalho. Enquanto o mundo avança em direção a um modelo mais moderno e sustentável de gestão de resíduos, o Brasil continua apresentando as deficiências verificadas há vários anos, ficando abaixo dos indicadores médios de nações da mesma faixa de renda e desenvolvimento. Ao nos aproximarmos do limiar de mais uma década, percebe-se que pouco foi feito com o

objetivo de realmente reverter o quadro deficitário e que o tema ainda não constitui uma prioridade na agenda política e social do país. No entanto, é latente a falta de recursos específicos para custear as operações do setor. Ao mesmo tempo, a tributação aplicada sobre todo o sistema é uma das mais elevadas e não favorece práticas sustentáveis. Conforme os dados veiculados nesta edição, os serviços de limpeza urbana, que na ampla maioria das cidades dependem do orçamento geral do poder público, sofreram um recuo no montante aplicado e na geração de empregos, um efeito da crise que assolou a economia do país e afetou diretamente os cofres públicos, sempre muito limitados e cada vez mais comprimidos. Como já verificado em outros estudos, para viabilizar avanços e modernizar as infraestruturas na gestão de resíduos são necessários investimentos em novas plantas e recursos financeiros permanentes na sua operação. Para tanto, é indispensável a implementação de um sistema de remuneração direta pelos usuários, assim como acontece em diversos países e em outros setores aqui no Brasil. Tal medida, além de assegurar a sustentabilidade econômico-financeira das operações, propiciará maior justiça social, uma vez que deverá ser baseada no pagamento conforme a geração e utilização dos serviços. Essa solução desonerará os cofres públicos de um desembolso geral, possibilitando a aplicação dos recursos em outras áreas de interesse da sociedade. Os princípios e objetivos colocados pela PNRS em 2010 ainda não foram refletidos no mundo real, mas é urgente que sejam transformados em ações concretas. Para tanto, o Brasil precisa mudar alguns paradigmas vigentes, sobretudo em relação ao engajamento da população, à governança político-institucional e ao custeio dos serviços.

Um dos problemas da PNRS é que embora seja uma lei altamente conceitual e uma das mais modernas e bem estruturadas do mundo, tem a deficiência da pegada prática. A lei traz amplos conceitos e princípios, mas ao mesmo tempo não traz os instrumentos suficientes e as indicações de como colocar tudo em prática (FILHO, 2020). Ao considerar a manutenção do cenário vigente – Unidades de destinação inadequadas ainda em operação, que atualmente recebem cerca de 40% do total de RSU coletado no país – seriam necessários 55 anos para que aterros controlados e lixões sejam encerrados, conforme demonstrado no gráfico a seguir, que evidencia a urgência de soluções para viabilizar as ações necessárias, de forma contínua e com sustentabilidade, para que o país possa superar essa chaga medieval de forma definitiva em todas as unidades da federação (ABRELPE, 2020).

Gráfico 1 – Evolução da situação na disposição inadequada do Brasil



Fonte: Abrelpe, 2020.

Os desafios para implementação efetiva da PNRS são muitos, e como registrados no Plano Nacional de Resíduos Sólidos, para garantir a sustentabilidade na prática, os novos paradigmas da gestão de resíduos sólidos tendo como referência o citado plano, são principalmente:

- Elaboração, licenciamento/aprovação e implementação pelo poder público de planos de gerenciamento integrado ou simplificado em 5.570 municípios;
- Eliminação dos lixões/aterros controlados e a recuperação ambiental das áreas utilizadas, tratando o passivo ambiental;
- Elaboração, aprovação e implementação dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos elaborados pelos geradores (particulares) de resíduos;
- Seleção do local, projeto, licenciamento, implantação e gestão para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (aterro sanitário);
- Implantação e universalização da coleta seletiva, logística reversa e destinação dos resíduos orgânicos como ações prévias ao aterro sanitário;
- Inclusão das cooperativas/associações organizadas – responsáveis pela coleta de materiais recicláveis e reutilizáveis – como sistemas produtivos, a fim de efetivar cidadania para estas pessoas;
- Gestão dos sistemas licenciados de tratamento para atender as demandas de resíduos perigosos, industriais e de serviços de saúde;
- Gestão e divulgação do Sistema Nacional de Informações sobre a gestão de resíduos (SINIR);
- Criação de incentivos para a destinação de resíduos sólidos;
- Implementação de programas de educação ambiental com foco nos resíduos sólidos.

Para que todas estas ações se viabilizem é necessário deixar de lado a ideia que a PNRS é a solução dos problemas, e que cada um de nós geradores de resíduos, façamos a nossa parte segregando os resíduos na origem, encaminhando para o destino correto e cobrando do poder público, fabricantes, importadores e distribuidores que também cumpram a sua parte no sistema (responsabilidade compartilhada).

2.4. Legislação Estadual

Na esfera estadual, inicia-se a tratativa de resíduos com a Lei nº 4.191/2003, que estabelece princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos no estado do Rio de Janeiro, visando controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais (BRASIL, 2003).

Em 2014, o Rio de Janeiro implementa o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS), seguindo o que indica a Lei nº 12.305/2010, no sentido de criar políticas públicas e estratégias para a questão dos resíduos sólidos (NÉTO; NETO, 2017).

O PERS tem como objetivo geral a adequação ao Plano Nacional de Resíduos Sólidos, porém, implanta ações específicas e diretrizes regionais. Pode-se destacar entre os objetivos específicos, o fomento e ampliação da capacidade de gestão dos resíduos sólidos a nível municipal e a transparência e controle das informações municipais e privadas na geração e destinação final ambientalmente adequada de resíduos. (RIO DE JANEIRO, 2003).

2.5. Legislação Municipal

O município de Rio das Ostras/RJ, que é base do estudo, até a formulação desta pesquisa, não possui o Plano Municipal de Gestão Integrado de Resíduos Sólidos (PMGIRS), sendo este, um dos instrumentos, de acordo com o Art. 8º da Lei 12.305/2010 - PNRS. Ressalto que o PMGIRS é condição para o acesso aos recursos da União, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, obtenção de benefícios por incentivos, financiamentos de entidades federais de créditos e fomento para tal finalidade.

Até o momento do desenvolvimento desta pesquisa, o município conta com um Termo de Referência Nº 016/2019, que deu origem ao processo administrativo 39738/2019, ambos os documentos tratam da contratação de consultoria especializada, pessoa jurídica, visando à elaboração do PMGIRS. Nos objetivos específicos do referido Termo de Referência, dentre as soluções e adequações técnicas para ampliação e melhoria dos sistemas de coleta seletiva, tratamento e disposição em aterro sanitário de resíduos sólidos, considerando a gestão sustentável, está a Usina de Compostagem (UCO).

O PMGIRS deverá contemplar ainda ações específicas a serem desenvolvidas no âmbito dos órgãos da administração pública, com vistas à utilização racional dos recursos ambientais, combate a todas as formas de desperdício e à minimização da geração de resíduos sólidos, além de propor ações visando a operacionalização do aterro sanitário, onde recentemente o município teve problemas de contaminação e interdição pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA). O PMGIRS deve, além das obrigações citada acima, definir as condições mínimas a serem atendidas na gestão dos resíduos sólidos por meio de insumos e tecnologias apropriadas, de forma que os produtos possibilitem a indicação das soluções adequadas e viáveis para a gestão sustentável, tratamento e redução de impactos pelo manejo e disposição dos resíduos sólidos do município.

Diversas ações são tomadas diariamente no Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) para mitigação dos impactos ambientais, incluindo relatório anual dos resíduos pesados conforme quadro abaixo, importante na definição de estratégias e tomada de decisões.

Tabela 1 – Relatório resíduos pesados (2019)

Mês	Período	Capina/ Galhada/ Roçada	Domiciliar	Entulho	Hospitalar	Inservíveis	Pneus	Orgânico	Varrição	Outros	Ton. Mês
Janeiro	01/01 a 31/01/19	71.240	3.968.470	1.711.990	10.230	23.620	190	56.870	283.590	710	6.126.910
Fevereiro	01/02 a 28/02/19	69.090	3.228.600	1.265.250	9.440	4.850	- 6.600	23.250	205.440	0	4.799.320
Março	01/03 a 31/03/19	53.580	3.622.490	1.181.950	9.520	11.380	17.290	37.860	286.390	0	5.220.460
Abril	01/04 a 30/04/19	39.700	3.345.670	1.583.010	10.800	11.250	11.080	64.740	189.120	0	5.255.370
Mai	01/05 a 31/05/19	53.630	3.316.050	1.552.550	10.680	8.700	- 19.950	25.790	146.970	0	5.094.420
Junho	01/06 a 30/06/19	6.500	3.053.630	131.940	9.210	1.870	690	0	93.970	0	3.297.810
Julho	01/07 a 31/07/19	3.460	3.251.570	551.420	11.470	0	- 10.380	0	212.120	0	4.019.660
Agosto	01/08 a 31/08/19	13.070	3.096.080	1.672.390	10.580	3.000	- 1.800	0	226.140	0	5.019.460
Setembro	01/09 a 30/09/19	15.170	2.974.290	1.894.030	9.590	5.360	6.820	0	185.240	80	5.090.580
Outubro	01/10 a 31/10/19	33.750	3.494.220	2.054.620	10.580	5.990	- 700	0	229.670	400	5.828.530
Novembro	01/11 a 30/11/19	31.300	3.495.940	1.345.670	12.440	3.170	12.070	0	196.490	0	5.097.080
Dezembro	01/12 a 31/12/19	72.550	4.020.440	1.490.330	10.320	10.920	- 3.770	0	262.870	0	5.863.660
Total	365 Dias	463.040	40.867.450	16.435.150	124.860	90.110	4.940	208.510	2.518.010	1.190	60.713.260

Fonte: Os autores, 2020.

No entanto, atualmente não existem mais ações de operação de Aterro Sanitário do município, mas sim de manutenção, que envolve todos os sistemas de drenagens e sistemas de tratamento de resíduos, como a estação de tratamento de chorume. Os resíduos sólidos urbanos atualmente são destinados para outros aterros sanitário, devidamente licenciados, sob a logística de transbordo. Comumente são destinados ao CTR Zadar e Essensis no município de Macaé/RJ ou Tecnosol no município de Quissamã/RJ, à critério da empresa contratada.

Os serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos prestados à população são de fundamental importância à vida e ao desenvolvimento humano. Quanto maiores os índices de atendimento desses serviços básicos à população, menores serão os investimentos com saúde, notadamente, os relacionados com as doenças causadas pela disposição inadequada dos resíduos.

2.6. Classificação dos resíduos segundo as normas brasileiras

A Norma Brasileira (ABNT NBR 10.004:2004 – Resíduos sólidos – Classificação), classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Estes, podem ser enquadrados em uma das seguintes classes:

Resíduos Classe I – Perigosos: são aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade apresentam riscos à saúde pública pelo aumento da mortalidade ou da morbidade ou, ainda, provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

Resíduos Classe IIA – Não Inertes: são os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos classe I – Perigosos ou de resíduos classe II B – Inertes, nos termos desta Norma.

Resíduos classe II B – Inertes: são aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente e que, quando amostrados de forma representativa, segundo a norma ABNT NBR 10.007:2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme teste segundo a ABNT NBR 10.006:2004, não têm nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da NBR 10.004:2004.

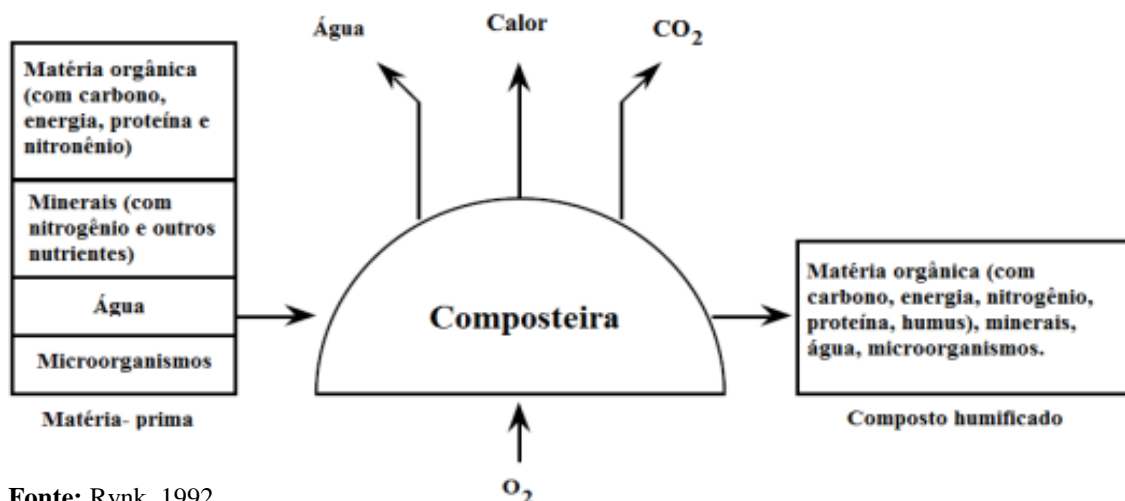
Apenas os resíduos classe IIA interessam a compostagem e mesmo assim sua composição deve ser conhecida, pois alguns resíduos nessa classe apresentam composição incompatível para produzir um composto de boa qualidade. Resíduos urbanos do tipo poda de árvores e capinas, ou resíduos agroindustriais do tipo bagaço de cana-de-açúcar, restos de madeira não tratada, palhas e resíduos de silo, são a priori sem contaminação e podem ser usados na compostagem. Outros resíduos de processos industriais (lodos de sistema de tratamento de efluentes, madeira tratada etc.) dependem de análise química e monitoramento constante para que não impliquem em risco de contaminação indesejável (INÁCIO; MILLER, 2009).

Sobre a destinação ambientalmente adequada dos resíduos citados acima, de acordo com a Lei nº 12.305/2010 - PNRS, entende-se por disposição final ambientalmente adequada a “distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos”. Para compreensão de referida definição, faz-se necessário conhecer também a definição de rejeitos que, nos termos da mesma lei, são “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (ABRELPE, 2020)”.

3. COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

A descrição da compostagem como parte de um grupo de processos de “decomposição aeróbia de sólidos”, citada por VanderGhenyst (1997), nos dá uma perspectiva muito prática do ponto de vista científico e da engenharia. Na figura que segue, entende-se um esquema simplificado do balanço de massa do tratamento por compostagem.

Figura 2 – O processo de compostagem (Balanço de massa)

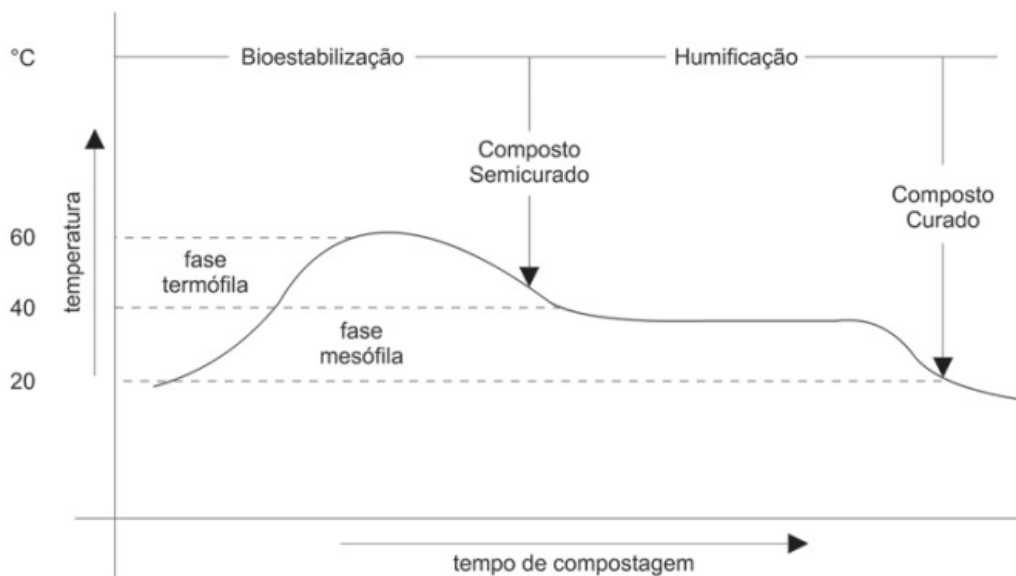


O processo de compostagem não se limita apenas à adição e mistura de materiais orgânicos em pilhas, mas envolve a escolha dos materiais, seleção do sistema de compostagem, o local onde será realizado, como também, a disponibilidade desses materiais para que processo se complete (KIEHL, 1998, p. 6).

A fase inicial do processo da compostagem é caracterizada pelo crescimento da população de mesófilos. Assim, com o aumento gradativo da temperatura, em razão do processo de biodegradação, os microrganismos mesófilos diminuem e os termófilos proliferam mais intensamente. A população termofílica é extremamente ativa, provocando intensa e rápida degradação da matéria orgânica e maior elevação da temperatura, o que elimina os microrganismos patogênicos (FERNANDES, SILVA, 1999).

Na figura que segue, percebe-se o comportamento da temperatura nas diferentes fases da compostagem, relacionada com o tempo.

Figura 3 - Fases da compostagem relacionando a temperatura do composto no tempo



Fonte: D'ALMEIDA & VILHENA, 2000.

Após a transformação da maioria do substrato orgânico, a temperatura reduz, os microrganismos termofílicos se restringem, a atividade biológica diminui significativamente e os agentes mesófilos se reinstalam. É nesta fase que a maioria das partículas biodegradáveis já foram transformadas e o odor do composto apresenta-se agradável, dando início ao processo de humificação, o qual é característico da segunda etapa do processo, nomeada maturação (FERNANDES, SILVA, 1999).

No processo de compostagem estas duas fases são bem distintas entre si. Na fase de degradação rápida, também conhecida como a fase da bioestabilização, a atividade biológica é mais intensa e a transformação da matéria orgânica ocorre rapidamente. Contudo, há um grande consumo de Oxigênio (O_2) pelos microrganismos e elevação da temperatura, além de visíveis mudanças na mistura em compostagem, visto que a mesma se apresenta mais escura e com um odor menos agressivo. Apesar desses sinais de transformação o composto ainda não está totalmente preparado para ser utilizado. Ele só estará pronto após a seguinte fase, chamada de maturação (FERNANDES, SILVA, 1999).

Na fase de maturação a atividade biológica diminui, assim com a necessidade da aeração. O processo de maturação ocorre em temperatura ambiente e se caracteriza predominantemente por transformações químicas, como a polimerização das partículas orgânicas estáveis no processo denominado humificação. Tais conceitos são importantes, posto que eles correspondem a própria concepção das usinas de compostagem. Considerando que na fase de biodegradação rápida o volume do material em compostagem diminui, observa-se que conseqüentemente a área necessária para a fase de maturação é menor. Assim, o grau de maturação do composto, pode ser definido através de alguns testes simples que permitem a verificação da preparação do composto para o uso. Assim, ele estará

apto para ser peneirado e acondicionado adequadamente para venda e transporte (FERNANDES, SILVA, 1999).

Ainda segundo Fernandes e Silva (1999), para que o processo de compostagem ocorra satisfatoriamente, é necessário que alguns parâmetros físico-químicos (Quadro 1) sejam respeitados para que os microrganismos possam encontrar condições favoráveis para se desenvolverem e transformar a matéria orgânica. Na verdade, estes limites são flexíveis e descrevem mais os intervalos ideais para cada tipo de classe de microrganismo do que divisões estanques.

Quadro 1 – Condições sugeridas para uma rápida compostagem

Condições	Faixa adequada*	Faixa preferível
Relação Carbono: Nitrogênio (C/N)	20:1 - 40:1	25:1 – 30:1
Umidade	40 - 65%**	50 – 60%
Concentração de oxigênio	Maior que 5%	Muito maior que 5%
Tamanho da partícula (cm)	0,3 - 1,5 (1/8 – ½ polegadas)	Vários**
pH	5,5 - 9,0	6,5 – 8,0
Temperatura (°C)	43,5 – 65,5 (110 – 150 °F)	54,5 – 60,0 (130 – 140 °F)

Fonte: Rynk, 1992.

* Estas são recomendações que visam uma rápida compostagem na maioria dos casos, porém também pode-se obter bons resultados fora dessas especificações.

** Depende dos materiais usados, tamanho das leiras ou pilhas, e das condições climáticas.

Segundo Aquino; Oliveira e Loureiro (2005) as transformações metabólicas dos resíduos orgânicos ocorrem em função das condições ideais de umidade e aeração, além da atividade dos microrganismos como actinomicetos, algas, bactérias, fungos e protozoários, em conjunto com atuação das larvas, dos insetos etc., que encontram sua fonte de matéria e energia na matéria orgânica *in natura*. Assim, pela digestão da matéria orgânica esses microrganismos liberam nutrientes como cálcio, fósforo, magnésio, nitrogênio e potássio, que se transformam em nutrientes minerais. Esses elementos, antes imobilizados na forma orgânica, tornam-se disponíveis para as plantas num processo conhecido como mineralização.

De acordo com Oliveira; Sartori e Garcez (2008), para que todo ciclo esteja completo são necessários aproximadamente de 90 a 120 dias após mistura dos materiais orgânicos (dependendo da relação Carbono/Nitrogênio do resíduo), tendo como resultado um composto escuro com textura turfa (figura 4), utilizado como condicionador de propriedades físicas e biológicas do solo, assim como, um composto fertilizante que fornece os nutrientes essenciais para o suprimento das plantas.

Figura 4: Composto orgânico



Fonte: Os autores, 2020.

A qualidade da engenharia do processo repousa sobre alguns aspectos específicos:

- Evitar a proliferação de moscas e a atratividade de outros vetores;
- Evitar a ocorrência de odores fortes e desagradáveis;
- Evitar excessiva produção de chorume (percolado das leiras);
- Gerar um produto sem riscos de contaminação do solo e água e adequado para o manuseio;
- Adequado para o uso na agricultura e recuperação de solos (INÁCIO e MILLER, 2009, p.1).

3.1. Microrganismos

Segundo Heidemann (2006, p. 23), os microrganismos, as bactérias, os fungos e os actinomicetos, são os principais e os únicos agentes “responsáveis pela transformação da matéria orgânica crua em húmus pelo consumo de micro e macronutrientes”, uma vez que nenhum processo, seja ele laboratorial ou industrial, conseguiu produzir húmus sintético. As bactérias são fundamentais para a fase termófila no processo de compostagem, principalmente porque são elas que decompõem os açúcares, os amidos, as proteínas e os outros compostos orgânicos que podem ser digeridos facilmente e que estão presentes na matéria. Sua função envolve a decomposição da matéria orgânica, de origem animal ou vegetal; o aumento da disponibilidade de nutrientes; a incorporação de partículas e a fixação do nitrogênio no solo. Fungos filamentosos, heterotróficos são microrganismos que se desenvolvem sob baixos e altos índices de pH, e atuam na decomposição da matéria sob temperaturas altas de adubação e fixação de nitrogênio.

O quadro a seguir, demonstra as características dos principais grupos microbianos que atuam no processo de compostagem.

Quadro 2 – Características dos principais grupos microbianos envolvidos no processo de compostagem

Discriminação	Bactéria	Actinomicetos	Fungos
Substrato	Carboidratos, amidos, proteínas e outros compostos orgânicos de fácil decomposição	Apropriada para substratos de difícil decomposição	Apropriada para substratos de difícil decomposição
Umidade	-	-	Prefere regiões secas
Oxigênio	Menor necessidade de oxigênio	Regiões bem aeradas	Regiões bem aeradas
pH ótimo	Neutro até levemente alcalino	Neutro até levemente alcalino	Ácido a alcalino
Faixa de valores de pH	6.0 a 7.7	-	2,0 a 9,0
Revolvimento	Não interfere	Desfavorável	Desfavorável
Significado durante a decomposição	80 a 90% da capacidade de degradação	-	-
Temperatura	Até 75%; redução da capacidade de degradação quando essa temperatura for ultrapassada	Supõe que o limite de temperatura seja 65°C	Limite de 60°C
Função	Decompor a matéria orgânica, animal ou vegetal, aumentar a disponibilidade de nutrientes, agregar partículas no solo e fixar o nitrogênio	Decomposição dos resíduos resistentes de animais e vegetais formação de humus, decomposição em alta temperatura de adubação verde, feno, composto etc., e fixação do nitrogênio.	Decomposição dos resíduos resistentes de animais e vegetais formação de humus, decomposição em alta temperatura de adubação verde, feno, composto etc., e fixação do nitrogênio.

Fonte: Nassu, 2003.

4. MÉTODOS DE COMPOSTAGEM

Os métodos de compostagem podem ser separados em grupos conforme o tipo de aeração, grau de desenvolvimento das leiras, ou se é realizado em leiras ou de forma confinada, como por exemplo biorreatores (INÁCIO; MILLER, 2009).

4.1. Leiras estáticas com aeração passiva (UFSC)

A partir de 1994, passou a ser utilizado e aprimorado o método artesanal indiano de compostagem termofílica, apresentado à comunidade universitária pelo professor Paul Richard Müller, pertencente ao departamento de engenharia rural do centro de ciência agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Este método, difundido pelo botânico inglês Sr. Albert Howard para a reciclagem dos resíduos orgânicos, passou a ser conhecido como “método UFSC – leiras estáticas com aeração passiva”. Em função da arquitetura na montagem das leiras, que inclui grande parte de materiais estruturantes (como palha e serragem) ordenados com camadas de resíduos orgânicos, são estabelecidas condições favoráveis para a ação microbiológica, em especial de bactérias termofílicas

cuja ação eleva a temperatura do material acima dos 55 °C, promovendo a higienização e eliminação de patógenos, bem como a rápida e eficiente degradação dos resíduos orgânicos (SILVA, 2017).

A rigor não há revolvimento, somente um e no final da fase termofílica para homogeneizar o processo de maturação. O não revolvimento se deve a estruturação ótima causada pelos materiais estruturantes. Recomenda-se o início de leiras em intervalos pequenos para que a temperatura alta da fase termofílica esteja presente nas várias leiras, assim elimina-se ou minimiza-se o ataque da mosca doméstica, visto que os ovos das mesmas não resistem a altas temperaturas. É importante sempre misturar as novas camadas com as que já estão em fase termofílica (PEIXE; HACK, 2014).

Após ação dos micro-organismos e resfriamento natural da leira, o material é maturado pelos microrganismos (ex.: minhocas) com produção de uma matéria orgânica estabilizada e rica em nutrientes, o composto orgânico. Esta forma de compostagem apresenta baixo custo de implantação e requer maior mão de obra para manutenção do pátio de compostagem, por ser um processo artesanal, conforme ilustrado na figura que segue.

Figura 5 – Composteira cabocla



Fonte: Os autores, 2020.

O líquido biológico que resulta da compostagem deve ser drenado em tanques e reinserido na leira através de uma bomba d'água ou outro método que se tenha a disposição. Este líquido ao final do processo pode ser armazenado em bombonas plásticas e pode ser usado na agricultura com diluição a 1:10, ou seja, um litro de líquido e dez de água. A quantidade de produção dos líquidos depende muito das variações climáticas, da capacidade de infiltração do solo e do sistema de drenagem. Vale lembrar que embora, salutar à natureza, não pode de forma alguma ser despejado em mananciais, redes de esgoto, mangues etc., sendo todo o processo fechado e controlado (PEIXE; HACK, 2014).

4.2. Compostagem com revolvimento de leiras

Atualmente no Brasil o método de leiras revolvidas ainda é usado por centros de pesquisa, empresas e companhias públicas na compostagem de resíduo, geralmente em volumes pequenos e situações específicas. Pátio operando com grandes volumes podem ser encontrados em algumas capitais brasileiras, em geral funcionando precariamente e com restrições operacionais e ambientais (INÁCIO; MILLER, 2009).

Este método tem melhor desempenho na compostagem de grandes volumes de material vegetal, restos de poda, grama e folhas secas, do que na compostagem de materiais mais pesados, com grande conteúdo de água, por exemplo, restos de comida.

Figura 6 – Revolvimento manual



Fonte: Natureza e Conservação, 2020.

Figura 7 – Revolvimento automatizado



Fonte: Renomaq, 2020.

4.3. Leiras estáticas com aeração forçada

A compostagem com aeração forçada utiliza equipamentos para insuflação ou aspiração de ar no interior das leiras. Esta tecnologia possibilitou resolver um típico problema da compostagem: a falta de oxigênio no interior das leiras causado pela forte atividade biológica nos primeiros dias do processo. Na maioria dos casos, a arquitetura das leiras e a estruturação do material, por exemplo, resíduos

urbanos, não permitem o fluxo de ar adequado na leira. Além disso, após o início da biodecomposição, a estrutura da leira tende a entrar em colapso reduzindo a possibilidade de haver um fluxo natural de ar. A aeração forçada é uma maneira mais eficiente que o revolvimento de leiras para manutenção do processo de compostagem, via suprimento de oxigênio, principalmente na fase termofílica (EPSTEIN, 1997). Por esses aspectos, há um satisfatório controle na emissão de odores e redução na geração de chorume. A aeração forçada permite também leiras mais largas.

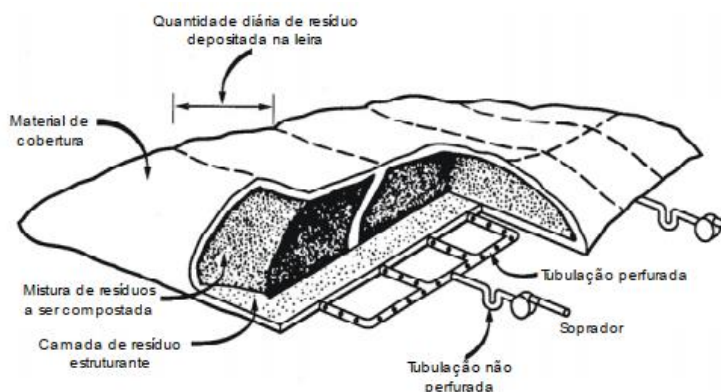
A insuflação ou aspiração de ar é feito por equipamentos específicos (compressores ou ventiladores) e através de tubos perfurados usualmente colocados na base das leiras, mas podendo ocupar também partes internas da leira. A mistura de resíduos é colocada sobre a rede de tubos Policloreto de Polivinila - Pvc. As leiras permanecem estáticas durante toda a fase termofílica o que representa uma vantagem em termos de necessidade de área (INÁCIO; MILLER, 2009).

Mesmo com os equipamentos de aeração, e como não há revolvimentos, especial atenção deve ser dada a seleção e mistura dos resíduos que formam a leira. O fluxo de ar satisfatório só se dará se houver porosidade suficiente. Se isto não for observado, pode ocorrer desde uma distribuição desuniforme da aeração até a interrupção do processo de compostagem. A leira deve ter boa estrutura a qual mantém a porosidade durante todo o processo de compostagem. Esta é uma estratégia similar as leiras estáticas com aeração passiva (figura 5), e por isso materiais como serragem, que apresentam resistência a decomposição e mantém a estruturada leira durante praticamente todo o processo, são usados na compostagem de lodos de esgoto por exemplo (INÁCIO; MILLER, 2009).

Algumas estratégias (*Rutgers strategy*) usam a aeração forçada para controlar a temperatura das leiras através de sensores de temperatura que acionam os aeradores quando a temperatura supera 55 °C. O consumo de oxigênio e a evolução da temperatura (calor) são fortemente correlacionados porque ambos medem a mesma atividade (COONEY et al., 1968 apud MILLER, 1993, p. 522). Esta estratégia se diferencia da aeração para suprir oxigênio. No entanto, a estratégia de aeração por controle de temperatura necessita de aeradores maiores e maior fluxo de ar quando comparada com o controle por intervalo de tempo baseada no controle via suprimento de oxigênio (RYNK, 1992). Nove vezes mais ventilação é requerida para remover o calor do que para suprir oxigênio as leiras (FINSTEIN et al., 1986 apud MILLER, 1993, p. 522).

Na figura que segue, observa-se o esquema de uma leira de compostagem com aeração forçada ($H = 1,5$ a $2,5$ m / $L = 2 \times H$ / cobertura = 15 cm / Base = 30-50 cm de espessura), que podem estar ligadas a um sistema de automação que aciona os aeradores quando a temperatura da leira cai - efeito da restrição da atividade microbiana pela falta de oxigênio.

Figura 8 – Leiras aeradas agrupadas



Fonte: FERNANDES, SILVA, 1999.

4.4. Compostagem em reatores (confinada)

Conhecido também como método in-vessel, consiste na compostagem em estruturas fechadas, geralmente em grandes cilindros, dentre outros recipientes, que através de um movimento de rotação contínua proporciona a aeração da massa de compostagem. Requer alto investimento de implantação. Este método possibilita a automação do processo, com controle dos fatores externos como chuva e clima. É muito utilizado em países de clima temperado. Pelo revolvimento contínuo dos cilindros, reduz o tempo de compostagem da fase ativa. A estrutura fechada também possibilita o controle da qualidade do material obtido. Pelo alto investimento, esse método é mais utilizado para grandes volumes de resíduos orgânicos (INÁCIO; MILLER, 2009).

As composteiras industriais seguem o mesmo princípio das leiras de compostagem, e utilizam a ação de microrganismos para a decomposição dos resíduos orgânicos. Em geral, as composteiras industriais se utilizam do controle dos parâmetros da compostagem em suas faixas ideais para acelerar o processo e obter o composto de forma rápida. Para exemplificação de possíveis capacidades de uma composteira industrial, na figura 9 exemplifica-se os modelos da empresa Trasix Soluções ambientais.

Figura 9 – Reator automatizado



Fonte: Trasix, 2020.

4.5. A escolha de um método de compostagem

Diversas são as variáveis que devem ser analisadas na escolha de um método ou tecnologia de compostagem. A primeira delas é o tipo de resíduo disponível para a formação da massa a ser compostada. Cada método se ajusta melhor a certas características dos materiais a serem compostados, por exemplo, quando se tem para compostagem apenas materiais vegetais como poda de parques, jardins e gramas, o método de revolvimento de leiras poderá dar conta e ser mais simples de implantar. Se houver predominância de materiais pesados (umidade maior que 70%) de rápida degradação, como restos de comida, o revolvimento terá suas limitações e restrições para o controle das condições ambientais. Nesses casos há em geral a necessidade de revolvimento frequente e um monitoramento cuidadoso. Em geral, resíduos do processamento de produtos animais e restos gordurosos existem técnicas e condições de compostagem apuradas, isto é, os operadores devem ter larga experiência com o método a ser empregado já que esses resíduos podem causar problemas com proliferação de moscas e odores fortes. O método com revolvimento é o menos indicado nesses casos (INÁCIO; MILLER, 2009).

Testes em pequena escala com leiras estáticas com aeração passiva se mostram perfeitamente satisfatório quando as vísceras e restos de processamento foram colocados em leiras já em estado termofílico e formadas com serragem e restos de comida. Isso torna evidente que mais que saber se devemos resolver as leiras ou promover a sua aeração por equipamentos, devemos construir uma leira com os materiais certos para cada situação. Sistemas em reatores tem sido a preferência para a compostagem de resíduos de processamento animal por permitir o controle maior do processo e, principalmente, pelo potencial para evitar ocorrência de odores fortes. Para compostagem de esterco de animais de criação (agropecuária) é usual a escolha do método com revolvimento ou leiras estáticas. O método baseado na aeração forçada é um dos mais favoráveis para a maioria das situações (INÁCIO; MILLER, 2009).

No quadro a seguir, observa-se informações comparativas (vantagens e desvantagens) entre os métodos de compostagem citados neste artigo.

Quadro 3 – Informações comparativas entre métodos de compostagem

Método de compostagem	Leiras estáticas com aeração passiva (Método UFSC)	Leiras com revolvimento periódico	Leiras com aeração forçada	Compostagem em reatores (In-vessel systems)
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo custo de implantação. - Simplicidade de operação. - Necessita áreas menores em relação ao método de leiras revolvidas. - Não utiliza energia externa. - Satisfatório controle de odores. - Minimização da geração de chorume. - Pouca exigência de máquinas e equipamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo custo de implantação. - Simplicidade de operação e uso de máquinas comuns. - Menor exigência de acompanhamento técnico especializado em comparação com outros métodos. - Flexibilidade de processar grandes volumes de resíduos. - Produção de composto homogêneo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Médio investimento inicial. - Maior controle do processo, temperatura e aeração. - Permite menor tempo de compostagem que as leiras revolvidas. - Melhor controle de odores. Possibilidade de uso de biofiltros. - Menor necessidade de área quer as leiras revolvidas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aceleração da fase de degradação ativa (maturação mais prolongada). - Melhor controle do processo de compostagem, aeração e temperatura. - Possibilidade de automação. - Menor demanda por área. - Possibilidade para controlar odores via biofiltros. - Potencial para recuperação de energia térmica (dependendo do sistema). - Independência de agentes climáticos.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> - Dependente de operadores bem treinados e com conhecimento do processo da compostagem. - Utiliza muito material vegetal de lenta degradação (ex.: serragem) o que pode ser difícil de ser seguido em alguns locais e elevar o custo da operação. - Montagem das leiras é mais demorada. - Em alguns casos pode exigir o peneiramento do composto para retirada de materiais de lenta degradação como a serragem remanescente, por exemplo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessita de áreas maiores em relação ao método de leiras estáticas. - Necessidade de máquinas para o revolvimento e maior intensidade de uso, elevando o custo de manutenção e operação. - Elevada produção de chorume e difícil controle de odores. - A constante movimentação de máquinas fica dificultada em períodos chuvosos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo de implantação com equipamentos de aeração específicos. - Utiliza energia externa (elétrica). - Necessita de bom dimensionamento do sistema de aeração e controle dos aeradores. - Custo com manutenção de equipamentos, aeradores e tubos perfurados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado investimento inicial. - Maior custo de operação e manutenção com os equipamentos (sistemas mecânicos especializados). - Maior produção de chorume na fase de degradação ativa. - Utiliza energia externa. - Menor flexibilidade operacional para tratar volumes variáveis de resíduos. - Risco de erro difícil de ser reparado se o sistema for mal dimensionado ou a tecnologia proposta for inadequada. - Tecnologias licenciadas.

Fonte: INÁCIO; MILLER, 2009.

5. CONTROLE DOS FATORES ECOLÓGICOS

5.1. Parâmetros físico-químicos que influenciam diretamente na compostagem

5.1.1. Aeração

Num processo de compostagem aeróbio a circulação do ar é vital para a atividade microbiana, uma vez que os microrganismos aeróbios precisam de O₂ para oxidação da matéria orgânica, da qual

os mesmos se alimentam. Ao longo do processo da compostagem, a demanda por O_2 pode ser alta, podendo a falta deste elemento limitar a atividade microbiana estender o processo de compostagem. O fornecimento de ar a massa do composto é fundamental para a agilização e concretização do processo de compostagem, e a circulação deste depende da estrutura e da umidade da massa, além da tecnologia de compostagem utilizada. O processo de aeração influencia na velocidade de oxidação do material orgânico e na redução da emissão de odores. Contudo, quando o sistema não possui aeração, ele passa a ser anaeróbico. A realização da aeração da mistura é fundamental no período inicial da compostagem, independente da tecnologia utilizada, visto que se trata da fase de degradação rápida, onde a atividade microbiana é intensa. Na próxima fase, que é a da maturação, a atividade microbiana é menos intensa, e a demanda por aeração é bem menor (FERNANDES; SILVA, 1999).

5.1.2. Temperatura

A compostagem aeróbia pode ocorrer tanto em regiões de temperatura termofílica ($45-85^{\circ}C$) como mesofílica ($25-43^{\circ}C$). Ainda que o aumento da temperatura seja necessário e importante para a eliminação de microrganismos patogênicos, pesquisadores apontam que a atividade desses agentes sobre a matéria orgânica é maior quando a temperatura se eleva a $65^{\circ}C$, contudo, o aumento dessa temperatura limita as populações aptas, sucedendo um decréscimo de atividade biológica. A temperatura é um fator de fácil monitoramento que indica o equilíbrio biológico, o qual se reflete na eficiência do processo. Se a mistura, em compostagem, apresentar temperatura da ordem de $40-60^{\circ}C$ nos primeiros três dias é sinal de que o ecossistema se encontra bem equilibrado e que a compostagem será possivelmente bem-sucedida. Quando não, isto indica que alguns parâmetros físico-químicos, como pH, relação C/N, umidade, não estão sendo respeitados, de modo a limitar a atividade microbiana (FERNANDES; SILVA, 1999).

Ainda segundo Fernandes e Silva, (1999), depois de iniciada a fase termófila (em torno de $45^{\circ}C$), o ideal é controlar a temperatura entre 55° e $65^{\circ}C$. Esta é a faixa que permite a máxima intensidade de atividade microbiológica. Acima de $65^{\circ}C$ a atividade microbiológica cai e o ciclo de compostagem fica mais longo.

5.1.3. Relação Carbono/Nitrogênio

Posto que os microrganismos precisam de carbono, enquanto fonte de energia, e de nitrogênio para síntese de proteínas, a relação C/N representam um fator importante para o equilíbrio dos substratos. Em teoria, a relação C/N inicial ideal entre o C/N encontra-se em torno de 30/1. Contudo, na prática se verifica que esta pode variar de 20 a 70 conforme a capacidade de biodegradabilidade do substrato. A falta desses elementos limita a atividade microbiológica. Assim, se a relação C/N for

muito baixa, uma grande perda de nitrogênio poderá ocorrer por causa da volatilização da amônia. E se essa relação se apresentar muito elevada os microrganismos não terão N suficiente para a realização da síntese de proteínas, de modo a limitar o seu desenvolvimento, o que conseqüentemente tornará o processo de compostagem mais lento. Seja qual for a ente da relação C/N inicial, ao fim do processo da compostagem esta relação converge-se para um valor que varia entre 10 e 20, por causa das maiores perdas de carbono, no desenvolvimento do processo (FERNANDES; SILVA, 1999).

5.1.4. Umidade

A água é essencial para a vida dos microrganismos. No composto, o índice ideal de umidade, geralmente, pode variar de 50 a 60%, e a manutenção da umidade pode ser realizada por meio da mistura criteriosa dos componentes ou da adição de água. Sendo assim, na realidade, constata-se que o índice de umidade varia conforme a eficácia da aeração e as características físicas dos resíduos, no que tange a sua estrutura e porosidade. Altos índices de umidade (>65%) propiciam a ocupação da água nos espaços vazios do meio, o que impede a circulação livre do oxigênio, de modo a provocar o surgimento de zonas de anaerobiose. Quando o índice de umidade de um composto é inferior a 40% a atividade biológica e a velocidade de biodegradação são inibidas. Contudo, como há perdas de água por causa da aeração, geralmente, o índice de umidade do composto diminui ao longo do processo. Nesse contexto, assim como outros parâmetros, o índice de umidade deve ser monitorado durante a compostagem a fim de que o processo se desenvolva adequadamente (FERNANDES; SILVA, 1999).

5.1.5. Estrutura

A atividade microbiana acelerada depende da espessura da granulometria, uma vez que quanto mais fina for, maior será essa atividade, proporcionando aumento das reações químicas em razão do aumento da área de contato com o oxigênio. Alguns pesquisadores verificam condições ótimas de compostagem com substratos identificando índice de porosidade de 30 a 36%. Em geral, para a obtenção de ótimos resultados as partículas devem ter de 27 a 75 mm de tamanho (FERNANDES; SILVA, 1999).

5.1.6. pH

É sabido que se o pH estiver em um nível muito baixo ou muito alto a atividade microbiana poderá ser reduzida ou até inibida. Quando as misturas estão com pH próximo da neutralidade, a fase inicial da compostagem, a mesófila, é caracterizada por uma queda sensível de pH, que pode variar de 5,5 a 6,0, em razão da produção de ácidos orgânicos. Se o índice de pH da mistura estiver próximo de 5,0 ou ligeiramente inferior, a atividade microbiana reduzirá drasticamente e o composto não poderá

passar para a próxima fase, a termofílica. A passagem para a fase termofílica é marcada pela rápida elevação do pH, que ocorre devido a hidrólise das proteínas e liberação de amônia. Sendo assim, em geral o pH tende a se manter alcalino (7,5-9,0), ao longo da fase termofílica (FERNANDES; SILVA, 1999).

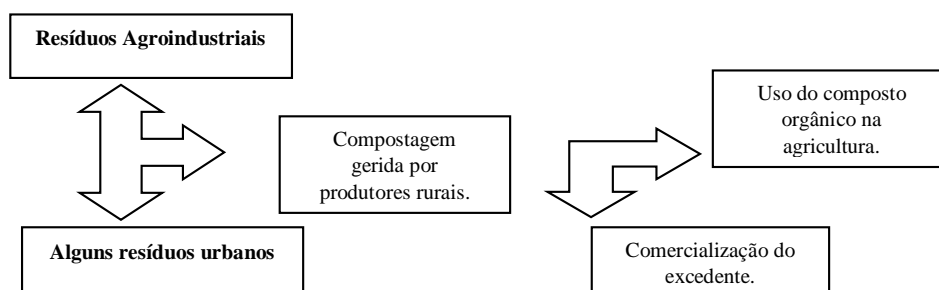
5.2. Composto orgânico

O composto orgânico é rico em húmus, nutritivo para as plantas e muito importante para revitalização de áreas verdes, pois devolve ao solo os microrganismos que favorecem a restauração de seu equilíbrio original (MONTEIRO, 2016). Em geral é um material leve, solto, escuro como café, de aroma agradável, semelhante ao cheiro de terra molhada pela chuva.

Diferentemente dos adubos sintéticos (tipo Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK)), os quais são “industrializados a partir de derivados de petróleo, o uso agrícola do composto orgânico não ocasiona prejuízos ambientais, não queima as plantas e não intoxica o solo, mesmo se usado em quantidade e concentração maior do que a ideal”. Sob essa perspectiva, o substrato pode e deve ser utilizado amplamente em jardins, pomares e hortas urbanas, uma vez que o mesmo propicia a restauração dos solos e a produção abundante de frutas, verduras e legumes, além de hortaliças orgânicas, dentre outras plantações saudáveis, sem agrotóxicos (MONTEIRO, 2016, s.p.).

Além de impulsionar a produção caseira de alimentos, favorecendo a troca e a comercialização das colheitas excedentes ao consumo doméstico, a venda do composto orgânico também pode representar uma fonte alternativa para geração de renda complementar para a família.

Figura 10 – Modelo de gestão integrada dos resíduos sólidos orgânicos



Fonte: INÁCIO; MILLER, 2009.

As normas para os padrões finais dos compostos orgânicos são Instrução Normativa nº 25, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009) e Resolução Conama nº 375 (BRASIL, 2006). As referidas normas classificam os fertilizantes orgânicos em classes que resumidamente, podem ser descritas como:

- Classe A – fertilizante orgânico que em sua produção não sejam utilizados elementos tóxicos (como metais e orgânicos sintéticos);
- Classe B – fertilizante orgânico que em sua produção sejam utilizados elementos tóxicos (como metais e orgânicos sintéticos);
- Classe C – fertilizante orgânico que em sua produção sejam utilizadas matérias primas oriundas do lixo domiciliar;
- Classe D – fertilizante orgânico que em sua produção seja utilizada qualquer quantidade de matéria prima proveniente de despejos sanitários.

6. MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa está baseada em métodos exploratório-descritivos com revisão sistemática da literatura na área ambiental, com foco em resíduos sólidos orgânicos (compostagem). Sampaio, Mancini (2007) e Gough, Oliver e Thomas (2012) concordam que a revisão sistemática, assim como outros tipos de estudo de revisão, consiste numa pesquisa que utiliza fonte de dados da literatura sobre um tema específico, a fim de agrupar e consolidar os resultados de estudos primários referentes ao tema. Esse tipo de investigação disponibiliza um resumo das evidências relacionadas, estratégias, métodos, síntese e crítica.

Nesse sentido, busca-se um universo de estudo com as publicações mais relevantes, representando de forma satisfatória o estado da arte, além de primar pela qualidade, abrangência e significância, a partir do modelo do estudo bibliométrico da produção científica nacional e internacional.

Para o desenvolvimento, utilizou-se como estratégia metodológica:

- Especificar a questão científica a qual deseja responder com o estudo;
- Definir base de dados confiáveis a serem consultadas e definir palavras-chaves e estratégia de buscas.
- Determinar critérios para refino dos resultados obtidos na busca, como: filtros, palavras-chaves, análise do conteúdo e autores.
- Analisar e avaliar os estudos selecionados, e através da síntese das informações, preparar um resumo e conclusão.

Para alcançar os resultados, utilizou-se de estratégia bibliométrica para o levantamento de referências bibliográficas, como o portal de Periódicos Capes, Acessado em: <http://www.periodicos.capes.gov.br>. A busca foi feita por assunto de forma avançada, com o objetivo de obter resultados de diversas bases de dados, como por exemplo: Scopus (elsevier) e Scielo.

Os termos de busca utilizados e as estratégias aplicadas estão relacionados no quadro a seguir, bem como as palavras-chaves utilizadas.

Quadro 4 – Estratégias Bibliométricas

Estratégias Bibliométricas						
Interação	Palavra-chave	Termos de busca	Artigos encontrados	Artigos selecionados	Artigos analisados	Autores
1	Organic waste	(Waste Management) OR (Organic Recycling) AND (National Solid Waste Policy)	423.026	2.162	15	PAIVA, MATOS, AZEVEDO et al., 2012; LO MONACO et al., 2013; PAIVA et al., 2013; HORTA E CASTRO, 2016; OLIVEIRA, XAVIER, DUARTE, 2013; PEREIRA, 2011; LIMA et al., 2017; BORGES, 2012; MAZZA et al, 2014; ROCHA et al., 2012; MONTEIRO, SILVA, DIFANTE, 2013; BAPTISTA, 2013; MAROTTI, PEREIRA, PUGLIESI, 2017; NASCIMENTO, 2017; HECK, et al., 2013; TEXEIRA, 2004; SOUZA et al., 2010; NASREEN, QAZI, 2012; INOUE et al, 2017; ZHANG, 2002; RASAPOOR, ADL, POURAZIZI, 2016; BARBOSA, FILHO, 2017; ANDRADE, OLIVEIRA, CERRI, 2006; COTTA, et al., 2015; NORD, 2013; FERREIRA, BORBA, WIZNIEWSKY, 2013; NASSU, 2003; CRIVELARO, MOREIRA, SILVA, 2018.
2	Composting methods	(Static pile) OR (Forced Aeration) OR (aerated static windrows) OR (Vermicomposting) AND (Windrow Turning) AND (Organic Fertilizer)	3.759	98	7	
3	Organic composting	(Organic Composting) OR (Organic Compound) AND (Agricultural Use)	60.486	592	6	
Obs:	<p>Ordenado por: relevância.</p> <p>Data de publicação: 2000 a 2020.</p> <p>Principais autores por termos de busca:</p> <p>1 - Huang, G (442); 2 - Rynk, Robert (16), 3 - Sánchez, Antoni (86).</p>					

Fonte: Os autores, 2020.

Os critérios de seleção dos artigos basearam-se na busca dos termos compostagem orgânica, composto orgânico e métodos de compostagem. Após selecionado os artigos de interesse, que contribuíram para a resposta da pergunta científica, eles foram analisados na íntegra, a fim de obter sólidos conteúdos e informações.

7. CONCLUSÃO

Conclui-se que atualmente, vários métodos de compostagem são aplicáveis, e a seleção do método depende do investimento, do custo operacional, do tempo necessário para atingir a maturidade do composto, da disponibilidade de terra e da origem das matérias primas. Dentre todos os métodos de compostagem disponíveis, a técnica de aeração forçada se adapta em todas as possibilidades, potencializando a ação dos microrganismos para melhor decompor os resíduos orgânicos.

Verificou-se na literatura que o composto produzido nos diferentes tratamentos teve em sua maioria, as suas características dentro dos parâmetros de qualidade estabelecidos pela Instrução Normativa nº 25 e na Resolução Conama nº 375. A transformação do resíduo da agroindústria em composto de qualidade pode resultar em um avanço em nível regional no gerenciamento de seus resíduos e permitir buscar linhas de financiamento para construção de uma planta industrial de compostagem.

Por fim, recomendam-se para as propriedades rurais, não só preservar, mas também identificar a melhor maneira de conjugar o binômio utilização/preservação (equilíbrio ecológico) dos recursos naturais e o aumento da produtividade na propriedade rural, de forma a potencializar os elementos que constituem esse arranjo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 10.004:2004. **Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT NBR 10.006:2004. **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT NBR 10.007:2004. **Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**, 2012. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2011**. São Paulo/SP.

ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**, 2018/2019. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2017**. São Paulo/SP.

ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**, 2020. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2020**. São Paulo/SP.

ANDRADE, C. A., OLIVEIRA, C., CERRI, C. C. **Cinética de degradação da matéria orgânica de biossólidos após aplicação no solo e relação com a composição química inicial**. *Bragantia*, Campinas, v.65, n.4, p.659-668, 2006.

AQUINO, A. M., OLIVEIRA, A. M. G., LOUREIRO, D. C. **Integrando Compostagem e Vermicompostagem na Reciclagem de Resíduos Orgânicos Domésticos**. Embrapa Agrobiologia. Circular Técnica, 12. Seropédica - RJ, 2005.

BAPTISTA, V. F. **A coleta seletiva como política pública na gestão de resíduos sólidos urbanos – o caso da cidade do Rio de Janeiro**. *Revista espaço acadêmico* – Nº 149 – outubro de 2013. Ano XIII - ISSN 1519-6186.

BARBOSA, A. P., FILHO, J. T. C. **Compostagem e tratamento de resíduos sólidos orgânicos e estudo de caso do grupo rio quente**. Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade da Universidade Estadual de Goiás (PPGAS/UEG) – Campus Morrinhos, 2017.

BOJANIC, A. **Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO**, 2017. Disponível em <<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/901168/>>. Acesso em 03 set. 2020.

BORGES, M. E. **Os novos paradigmas da gestão de resíduos sólidos no Brasil**. *Rev Epidemiol Control Infect*, jan./mar. 2012.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA 375/2006. **Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgotos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências**. Brasília, 2006.

BRASIL. Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. **Dispõe sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura**. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=20542>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

BRASIL. Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece Diretrizes Nacionais Para o Saneamento Básico**; Altera as Leis Nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei Nº 6.528, de 11 de maio de 1978 e dá Outras Providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 20 nov. 2019.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; Altera a Lei Nº. 9.605, De 12 de Fevereiro de 1998 e da Outras Providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 20 ago. 2020.

BRASIL. Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Dispõe Sobre as Sanções Penais e Administrativas Derivadas de Condutas e Atividades Lesivas ao Meio Ambiente e dá Outras Providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm>. Acesso em: 20 ago. 2020.

BRASIL. Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Dispõe Sobre o Novo Marco Legal do Saneamento**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>>. Acesso em: 27 mar. 2021.

CORRÊA, M. P., SILVA, J. A. F. **Centro Didático Pedagógico Para o Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos: Estudo de Caso Para Avaliação de Viabilidade no Instituto Federal Fluminense – Campus Macaé, RJ-Brasil**. Holos, [s.l.], v. 6, p.415-431, 11 dez. 2015. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).

COTTA, J. A. O., CARVALHO, N. L. C., BRUM, T. S., REZENDE, M. O. O. **Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem**. Eng Sanit Ambient | v.20 n.1 | jan/mar 2015. p 65-78.

CRIVELARO, A. L. R., MOREIRA, M. A. C., SILVA, J. A. F. **Gestão de Resíduos Sólidos e Compostagem Orgânica: Estudo de Caso para Escolha de Tecnologia de Processo em Macaé, Brasil**. Campos dos Goytacazes/RJ, v.12 n.1, p. 89-110, jan./jun. 2018.

D'ALMEIDA, M.L.; VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2 ed., São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

EPSTEIN, E., **The Science of composting**. Lancaster: Technomic Publishing, 1997. 493 p.

FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. (1999). **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Rio de Janeiro, ABES-FINEP, 84p.

FERREIRA, A. G.; BORBA, S. N. S.; WIZNIEWSKY, J. G. **A prática da compostagem para a adubação orgânica pelos agricultores familiares de Santa Rosa/RS**. Revista Eletrônica do Curso de Direito - UFSM, Santa Maria, v. 8, p. 307-317, 2013.

FIALHO, L.L.; SILVA, W.T.; MILORI, D.M.B.P.; SIMÕES, M.L.; NETO, L.M. **Monitoramento químico e físico do processo de compostagem de diferentes resíduos orgânicos**. Circular técnica Embrapa. São Carlos, nov. 2005.

FILHO, C. S.; **Resíduos Sólidos: Um monte de problemas.** Revista Eletrônica Saneamento Ambiental, São Paulo/SP, n 195, p. 10-13, 2020.

GOUGH, D.; THOMAS, J.; OLIVER, S. **Clarifying differences between review designs and methods.** Systematic Reviews, v. 1, n. 1, p. 28, 2012.

HECK, K., MARCO, E. G., HAHN, A. B. B., KLUGE, M., SPILKI, F. R., SAND, S. T. V. D. **Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final.** Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v. 17, n.1, p 54-59, 2013.

HEIDEMANN, B. R., SILVA, E. R., SOARES, M., BARBOSA. V. M. **COMPOSTAGEM ACELERADA: ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DO COMPOSTO.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais – n. 5, 2006.

HORTA, E. F, CASTRO, M. C. A. A. **Subsídios para elaboração de plano municipal para gestão da fração orgânica de resíduos sólidos domiciliares para o município de Rio Claro-SP.** Revista Brasileira Multidisciplinar – ReBraM, Vol. 19, n.2, dez. 2016.

INÁCIO, C. T. MILLER, P. R. M. **Compostagem: Ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos.** - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 1º edição. p. 154.

INOUE, D., SAWADA, K., TSUTSUI, H., FUJIWARA, T. **Identification of microbial populations contributing to nitrification-associated nitrous oxide emission during cattle manure composting process with forced aeration,** 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico** - 2008. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 218 p.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos** - 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriospesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf> Acesso em: 20 nov. 2019.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem. Piracicaba.** ESALQ-USP, 1998.

LIMA, L. C, FIA, R, RIBEIRO, A. G. C, HASHIZUME, B. M, SOARES, R. A. **Qualidade do composto gerado no tratamento de resíduos sólidos de restaurante e diferentes resíduos orgânicos.** Engenharia na Agricultura, v.25, n.5, p. 407-416, 2017.

LO MONACO, P. A. V, PAIVA, E. C. R, MATOS, A. T, FERRES, G. C, RIBEIRO I. C. A. **Avaliação da relação c/n e da qualidade do composto produzido em leiras de compostagem de carcaça e diferentes camas de criatório de frangos.** Engenharia na agricultura, viçosa - mg, V.21 N.6, NOVEMBRO / DEZEMBRO 2013.

MAROTTI, A. C. B, PEREIRA, G. S. F, PUGLIESI, E. **Questões contemporâneas na gestão pública de resíduos sólidos: análise dos princípios da Política Nacional de Resíduos sólidos a partir de seus objetivos e instrumentos.** Revista de Políticas Públicas, vol. 21, núm. 1, 2017.

MAZZA, V. M. S, MADRUGA, L. R. R. G, ÁVILA, L. V, PERLIN, A. P, MACHADO, E. C, DUARTE, T. L. **Gestão de resíduos sólidos em propriedades rurais de municípios do interior do**

estado do rio grande do sul. Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, v.7, n.3, p. 683-706, set./dez. 2014 - ISSN 1981-9951.

MILLER, F. C. Composting as a process base on the control of ecologically selective factors. In: METTING, F. B. (Ed.). **Soil microbial ecology: application in agricultural and environmental management.** New York: Marcel Dekker Inc, 1993. p. 515-541.

MONTEIRO, José André Verneck, 2016. **Benefícios da compostagem doméstica de resíduos orgânicos.** Disponível em: <<http://revistaea.org/pf.php?idartigo=2310>> Acesso em: 29 ago. 2020.

MONTEIRO, T. C., SILVA, M. B. O., DIFANTE, J. **A lei da nova política nacional dos resíduos sólidos face ao sistema de coleta seletiva do município de Santa Maria.** Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM, 2013.

NASCIMENTO, L. L. O. **Avaliação comparativa entre a política nacional de resíduos sólidos e a política municipal de resíduos da cidade de Campos dos Goytacazes.** Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes/RJ, v.11 n.2, p. 19-30, jul./dez. 2017.

NASREEN, Z, QAZI, J. I. **Lab Scale Composting of Fruits and Vegetable Waste at Elevated Temperature and Forced Aeration.** Pakistan Journal of Zoology (Vol. 44, Issue 5), 2012.

NASSU, K. **Compostagem: uma proposta alternativa para o aproveitamento da matéria orgânica dos resíduos sólidos urbanos,** 2003.

NÉTO, M. G. F, NETO, A. G. S. **Automatização de Processos de Compostagem Orgânica: construção de protótipo para o Instituto federal Fluminense – IFF – Campus Macaé,** 2017.

NATUREZA E CONSERVAÇÃO. **Método UFSC de compostagem de resíduos orgânicos.** Disponível em: < <https://www.naturezaeconservacao.eco.br/2017/07/conheca-o-metodo-ufsc-de-compostagem-de.html>>. Acesso em 29 ago. 2020.

NORD, E. **Qualidade química na compostagem de resíduos urbanos com inoculação biológica.** Revista de Estudos Sociais – Ano 2013. n. 30, v. 15, pág. 149.

OLIVEIRA, E. C. A., SARTORI, R. H., GARCEZ, T. B. **COMPOSTAGEM.** Piracicaba – São Paulo, 2008.

OLIVEIRA, J. R, XAVIER, F. B, DUARTE, N. F. **Húmus de minhoca associado a composto orgânico para a produção de mudas de tomate.** Revista Agrogeoambiental – ago. 2013.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS. **A safer future: global public health security in the 21st century,** 2007. Disponível em: <<http://www.who.int/whr/2007/en/index.html>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

PAIVA, E. C. R, MATOS, A. T, BARROS, R. T. P, COSTA, T. D. R, SARMENTO, A. P. **Avaliação de leiras estáticas aeradas na compostagem de carcaças de frango.** Engenharia na agricultura, Viçosa - MG, V.21 N.5, set./out. 2013. 482-492p.

PAIVA, E. C. R., MATOS, A. T, AZEVEDO, M. A, BARROS, R. T. P, COSTA, T. D. R. **Avaliação da compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e de leiras estáticas aeradas.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v.32, n.5, p.961-970, set./out. 2012.

PEIXE, M., HACK, M. B. **Compostagem como método adequado ao tratamento dos resíduos sólidos orgânicos urbanos: Experiência do município de Florianópolis/SC**, 2014.

PEREIRA, T. C. G. **Política nacional de resíduos sólidos: nova regulamentação para um velho problema**. Revista Direito e Justiça, 2011.

PLANSAB. **Documento em revisão submetido à apreciação dos conselhos nacionais de saúde, recursos hídricos e meio ambiente**. Ministério do Desenvolvimento Regional Secretaria Nacional de Saneamento. Brasília/DF, 2019.

PMRO - PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO DAS OSTRAS. Disponível em: <<https://www.riodasostras.rj.gov.br/>>. Acesso em 28 ago. 2020.

RASAPOOR, M., ADL, M., POURAZIZI, B. **Comparative evaluation of aeration methods for municipal solid waste composting from the perspective of resource management: A practical case study in Tehran, Iran**. Journal of Environmental Management 184, 2016. p 528 e 534.

RENOMAQ. **Sistema vertical**. Disponível em: <<https://www.renomaqautomacao.com.br/produto/modelo-sv100>>. Acesso em 29 ago. 2020.

RIO DE JANEIRO. Lei Nº 4191, de 30 de setembro de 2003. **Dispõe Sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e da Outras Providências**. Disponível em: <<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/b24a2da5a077847c032564f4005d4bf2/cf0ea9e43f8af64e83256db300647e83?OpenDocument>>. Acesso em 29 ago. 2020.

ROCHA, A. C., CERETTA, G. F., BOTTON, J. S., BARUFFI, L., ZAMBERLAN, J. F. **Gestão de resíduos sólidos domésticos na zona rural: A realidade do município de Pranchita – PR**. Rev. Adm. UFSM, Santa Maria, v. 5, n. 4 - Edição Especial, p. 699-714, set./dez. 2012.

RYNK, R. **On-farm** composting handbook. Ithaca, NY: NRAES, 1992, 186p.

SAMPAIO, R.; MANCINI, M. **Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica**. Revista Brasileira de Fisioterapia, v. 11, n. 1, p. 83–89, fev. 2007.

SHARMA, V.K.; CANDITELLI, M.; FORTUNA, F.; CORNACCHIA, G. Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: review. Energy Conser. Manag., v.38, p.453-478, 1997.

SILVA, B. M., RANZI, B. D., OROFINO, F. V. G., AQUINO, I. F., MAESTRI, J. C., ABREU, M. J., ROVER, O. J., MILLER, P. R. M., RODRIGUES, R. C. **Critérios técnicos para elaboração de projeto, operação e monitoramento de pátios de compostagem de pequeno porte**. Fundação de Amparo a Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC, 2017.

Síntese dos dados da PNSB 2008: **Pesquisa nacional sobre saneamento básico**. Disponível em <<http://www.ecodebate.com.br/2010/08/23/sintese-dos-dados-da-pnsb-2008-pesquisa-nacional-desaneamento-basico-de-2008/>>. Acesso em 28 ago. 2020.

SOUZA, A. L.K, RUFATTO, L, COSTA, V. B, RUFATTO, A. R, SIMÕES, F. **Compostagem com aeração forçada como alternativa de aproveitamento dos resíduos gerados pela agroindústria conserveira**. R. Bras. Agrocência, Pelotas, v.16, n.1-4, p.69-75, jan./dez. 2010.

TEIXEIRA, S. C. M. **Estratégias de gestão de resíduos sólidos urbanos**. Faculdade de engenharia da universidade de Porto, 2004.

TRASIX. **Soluções ambientais**. Disponível em: <<https://www.trasix.com.br/#>>. Acesso em 29 ago. 2020.

VANDERGHEYNST, J. S. et al. **Effects of process management on the emission of organosulfur compounds and gaseous antecedents from composting processes**. *Environmental Science technology*, v. 32, n. 23, p.3713-3718, 1997.

ZHANG, X., MO, H., ZHANG, J., LI, Z. **A solid-state bioreactor coupled with forced aeration and pressure oscillation**, 2002.

ARTIGO CIENTÍFICO 2 - LEIRA ESTÁTICA SEMIAUTOMATIZADA COM AERAÇÃO FORÇADA NA PRÁTICA: ANÁLISE ENTRE OS INOCULANTES MICROORGANISMO EFICIENTE E ESTERCO BOVINO

SCIENTIFIC ARTICLE 2 - SEMI-AUTOMATED STATIC WAVE WITH FORCED AERATION IN PRACTICE: ANALYSIS BETWEEN EFFICIENT MICROORGANISMS INOCULANTS AND BOVINE MANURE

Vinícius Barão Soares ⁽¹⁾

José Augusto Ferreira da Silva ⁽²⁾

RESUMO

A técnica da compostagem traz uma visão sistêmica da economia circular ao produzir um composto orgânico a ser utilizado como adubo, conservando a pureza do solo e permitindo a reciclagem dos nutrientes. O método natural de formação do solo aliado ao controle e redução dos riscos na compostagem com a aeração forçada e o controle semiautomatizado dos fatores: relação C/N, estrutura, balanço hídrico (umidade), pH e odor, potencializam a utilização da matéria orgânica na produção agrícola. Buscou-se com o artigo analisar os inoculantes esterco bovino e Microrganismos Eficientes – ME/solo, submetidos a compostagem semiautomatizada com aeração forçada, a fim de obter o melhor desempenho no processo. Esta análise enriquece o processo e torna a atividade agrícola duradoura, racional, além de estar alinhada ao Objetivo do Desenvolvimento Sustentável - ODS nº 12, que assegura padrões de produção e de consumo sustentáveis. Os resultados alcançados foram controle de odor, diminuição do volume de percolados sendo sua geração com coloração escura indicando bom grau de maturação, boa qualidade dos compostos gerados e diminuição do tempo de compostagem.

Palavras-chave: Aeração forçada, Compostagem, Inoculantes.

ABSTRACT

The composting technique brings a systemic view of the circular economy by producing an organic compost to be used as fertilizer, preserving the purity of the soil and allowing the recycling of nutrients. The natural method of soil formation combined with the control and reduction of risks in composting with forced aeration and the semi-automated control of the factors: C/N ratio, structure, water balance (moisture), pH and odor, enhance the use of organic matter in agricultural production. The article sought to analyze the inoculants bovine manure and Efficient Microorganisms - ME/soil, submitted to semi-automated composting with forced aeration, in order to obtain the best performance in the process. This analysis enriches the process and makes agricultural activity sustainable, rational, in addition to being aligned with the Sustainable Development Goal - SDG No. 12, which ensures sustainable production and consumption patterns. The results achieved were odor control, decrease in the volume of leachates and their generation with a dark color indicating a good degree of maturation, good quality of the generated compounds and reduction of the composting time.

Keywords: *Forced aeration, Composting, Inoculants.*

(1) Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Estácio de Sá (UNESA). Pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade Redentor. Pós-graduado em Ciências Atmosféricas para Engenheiros, Ambientalistas e Educadores *latu sensu* pelo Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia (LAMET/CCT) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF). Consultor na empresa MAVI CONSULTORIA.

E-mail: vinicius.barao.soares@gmail.com

Endereço do lattes: <http://lattes.cnpq.br/9052139868965704>

(2) Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense), Campus Macaé, Macaé/RJ, Brasil.

E-mail: jafferreirasilva@gmail.com

Endereço do lattes: <http://lattes.cnpq.br/2157216556092647>

1. INTRODUÇÃO

A humanidade será saudável se os alimentos possuírem energia vital, os alimentos só dispõem de energia vital se as plantas forem sadias e as plantas somente terão saúde se o solo for prolífero. Nesse contexto, o meio ambiente de qualidade, sadio e ecologicamente equilibrado é considerado um direito fundamental de terceira dimensão, consagrado pela Constituição da República Federativa do Brasil no art. 225 (CARLI, 2021). Por consequência, reciclar nutrientes e matéria orgânica, principalmente para os solos agrícolas brasileiros onde a reciclagem da matéria orgânica é rápida mediante a enorme quantidade de microvida (inoculantes), cerca de 20 milhões de fungos e bactérias por cm³ de solo, são benefícios diretos proporcionado pela compostagem (ANDRADE, 2011).

Considerando a coleta de RSU no Brasil e a composição gravimétrica, em 2018 a fração orgânica correspondeu a cerca de 37 milhões de toneladas. Desse montante, apenas 127.498 toneladas foram valorizadas em unidades de compostagem, segundo os dados declarados no SNIS-RS 2018. O restante da matéria orgânica gerada nas cidades brasileiras foi encaminhado para disposição em aterros sanitários ou, de maneira inadequada, para aterros controlados e lixões (PLANARES, 2022).

Kiehl (2004) afirma que a compostagem é um processo controlado de decomposição microbiana, de oxidação e de oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido, compreendendo uma fase inicial rápida mesofílica, que se caracteriza por células microbianas em estado de latência, porém com uma intensa atividade metabólica. Posteriormente, ocorre a fase termofílica, e logo após atinge finalmente a terceira fase, em que ocorre a humificação ou maturação, acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica, como nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio, que passam da forma orgânica para a inorgânica, ficando disponíveis às plantas.

Os critérios e procedimentos para garantir o controle e qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, estão descritos no Resolução Conama nº 481. No entanto, o êxito da compostagem está relacionado a qualidade final do composto, tendo como parâmetro a Instrução Normativa nº 25 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e Resolução Conama nº 375. A qualidade passa diretamente pelo controle do processo de compostagem com aeração forçada e o gerenciamento da matéria prima que entrará no processo, determinando riscos ambientais e o impacto a vizinhança. O entendimento da ecologia das leiras e a gestão dos fatores físicos, químicos e biológicos, são os principais pontos para evitar a maior parte dos impactos indesejáveis, entre eles, o visual e o odor que é tido como o principal problema para áreas de compostagem devido ao efeito de

rejeição que pode provocar na população vizinha. O projeto de engenharia junto a estética de um pátio são fatores que influenciam na aprovação ou não de uma propositura.

O esterco bovino, quando utilizado fresco (não curtido) na agricultura pode conter microrganismos causadores de doenças transmissíveis para o ser humano (patógenos), principalmente em função da fonte de alimentação e controle das zoonoses do gado. Quando utilizado como inoculante em leira de compostagem, está sujeito a altas temperaturas na fase termófila, eliminando os patógenos e possibilitando seu uso.

Na agricultura natural, são praticados o princípio da reciclagem de recursos naturais e o enriquecimento da matéria orgânica com Microrganismos Eficientes - ME, tornando a atividade agrícola duradoura e racional. A utilização dos ME regenerativos é uma opção aos produtos químicos ou esterco bovino como inoculantes, pois produzem substâncias orgânicas úteis às plantas, e via metabolismo secundário podem produzir hormônios e vitaminas que melhoram as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (ANDRADE, 2011).

Com o objetivo de inserir técnicas e métodos mais apropriados, a pesquisa foi estruturada por meio da revisão bibliográfica publicada no artigo científico Resíduos Orgânicos no Brasil: Métodos de Compostagem para Pequenas Comunidades Rurais (SOARES e SILVA, 2021). Na sequência, para desenvolver a segunda etapa da pesquisa, buscou-se construir duas leiras de compostagem para comparar os inoculantes esterco bovino e Microrganismos Eficientes – ME/solo, a fim de obter o melhor desempenho no processo de compostagem e analisar tecnicamente o controle do processo junto a qualidade do composto orgânico produzido com diferentes inoculantes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa utiliza como metodologia a revisão bibliográfica de caráter exploratória-descritiva, que segundo Gil (2010), tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, para torná-lo mais explícito ou para construir hipóteses.

Neste artigo foi feito um estudo de caso com análise qualitativa sobre a compostagem orgânica semiautomatizada (conforme descrito no item 3.4 deste artigo) junto a aeração forçada, comparando os diferentes tipos de inoculantes e buscando melhor eficiência no processo. Como base foi utilizado o caderno dos microrganismos eficientes (ME) da Universidade Federal de Viçosa/MG, entrevistas e observações.

Foi estruturado da seguinte forma:

- (i) Pesquisa exploratória-descritiva com revisão dos modelos de compostagem semiautomatizado com aeração forçada.

- (ii) Pesquisa bibliográfica e produção do ME/solo;
- (iii) Montagem das leiras semiautomatizadas para estudo de caso, coleta e análise dos dados.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. Captura do ME/solo

A primeira ação para produção dos Microrganismos Eficientes – ME/solo foi cozinhar 1 Kg de arroz sem sal, sem óleo e com água limpa (sem cloro). Após o cozimento, o arroz deve estar úmido. Se estiver com pouca umidade, adicione água aos poucos até ficar com textura aglutinada.

Após a etapa inicial, a primeira mata (floresta secundária) escolhida para inserir a isca e coletar os microrganismos, tinha indícios de degradação e solo lixiviado. A isca foi inserida, e após 15 dias quando foi retirada o resultado não foi o esperado, com predominância do fungo com coloração cinza, marrom e preta (degenerativos), conforme Figura 1, que produzem no seu metabolismo primário substâncias como amônia e sulfeto de hidrogênio, com ação prejudicial para a planta e endurecimento do solo.

Figura 1 – Fungos degenerativos



Fonte: Os autores, 2022.

Na segunda tentativa, quando o resultado foi o esperado, escolhemos uma mata (clímax) com dossel formado e com bom índice de diversidade biológica, conforme Figura 2.

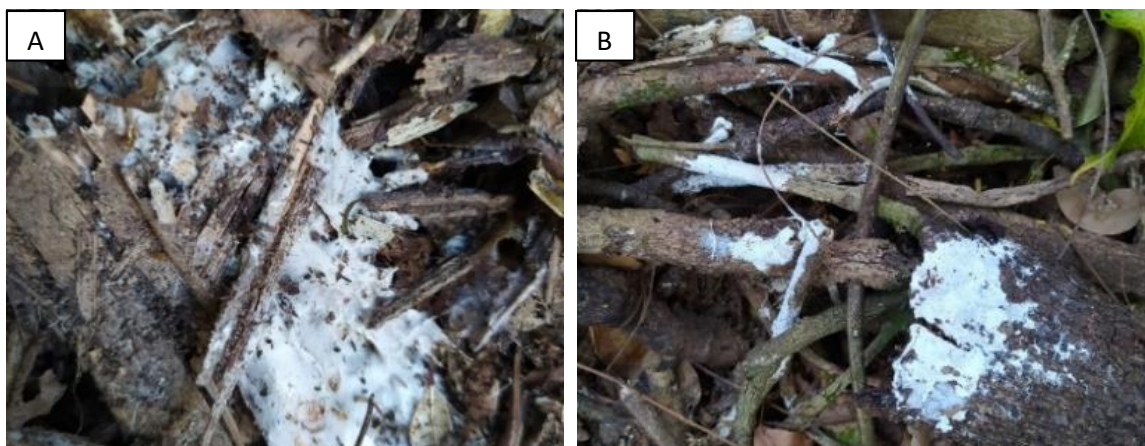
Figura 2 – Mata (clímax)



Fonte: Os autores, 2022.

Diversos fatores podem influenciar na colonização micorrízica em florestas primária e secundária, dentre os quais destacam-se a disponibilidade de nutrientes e água no solo, além de mudanças na cobertura do solo. Os locais mais prováveis para ocorrência de micorrizas com hifas representativas e coloração branca, são as bordas da mata e as margens de corpos hídricos, tendo maior ocorrência na serrapilheira e pequenas galhadas conforme Figura 3.

Figura 3 – Hifas



Fonte: Os autores, 2022.

Após a identificação do local ideal para inserir a isca (arroz), ela foi inserida diretamente no solo saudável, após o afastamento da serrapilheira. Como a intenção do ME/solo produzido é a reestruturação do solo, a prática de inserir a isca diretamente no solo é importante para que haja a troca direta da isca com os microrganismos existentes. A isca deve ser coberta com uma tela (peneira), fixando as bordas com ganchos em forma de Y coletados na própria floresta, visando evitar a ação indesejada da fauna, conforme Figura 4A. Após esta etapa, a própria serrapilheira que foi afastada inicialmente, foi utilizada para cobrir e camuflar o local, conforme Figura 4B.

Figura 4 – Isca coberta com tela



Fonte: Os autores, 2022.

Após o período de 14 dias inserido na mata, o volume da isca que inicialmente era de 1 Kg, reduziu à metade, e nesse período a colônia de microrganismos foi criada e capturada. Conforme ilustrado na Figura 5, as partes da isca (arroz) que estavam com as colorações rosada, azulada, amarelada e alaranjada estavam os microrganismos eficientes (regeneradores), que produzem substâncias orgânicas úteis às plantas, e via metabolismo secundário podem produzir hormônios e vitaminas, melhorando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Figura 5 – Microrganismos regeneradores



Fonte: Os autores, 2022.

3.2. Ativação do ME/solo

Após a etapa de captura do ME/solo, a etapa da ativação deve ser iniciada pela segregação dos fungos degenerativos ainda misturados aos regenerativos. No passo seguinte, distribuimos a quantidade de isca existente em 5 garrafas pets de 2 litros. Em cada garrafa foi adicionado 200 ml de caldo de cana e completado com água limpa (sem cloro). As garrafas foram fechadas e deixadas à sombra por período de 24 dias. Durante este período, no intervalo de 2 dias, foi aberto a tampa da garrafa pet e retirado o ar com a intenção de liberar o gás produzido dentro da garrafa para proporcionar as condições ideais para que a fermentação fosse anaeróbica. Quatro garrafas pararam de produzir gás e estabilizaram no 12º dia e a quinta garrafa se estabilizou no 24º dia.

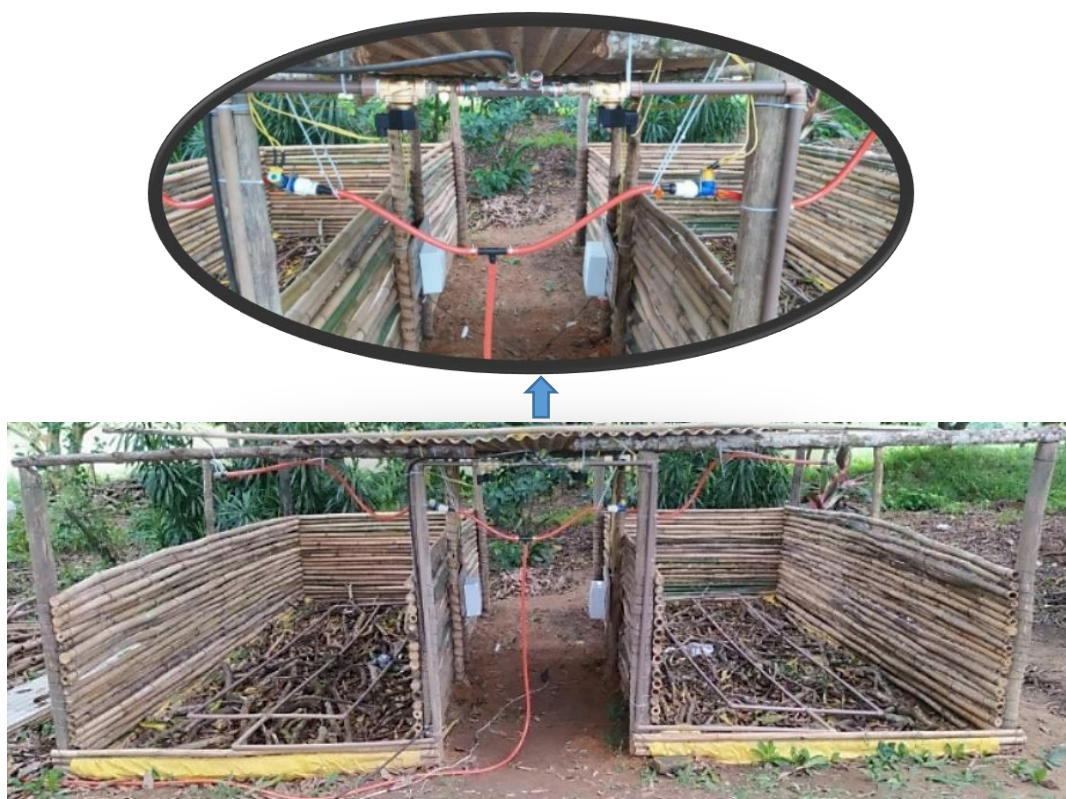
A partir deste ponto, basta coar e está pronto o ME/solo (neste momento não há mais produção de gás dentro da garrafa). O ME/solo tem coloração alaranjada conforme Figura 6, podendo ser mais clara ou mais escura, o que depende da matéria-prima, não implicando, porém, na qualidade do produto. O cheiro é doce e agradável e pode ser armazenado por até 1 ano.

Figura 6 – ME/solo

Fonte: Os autores, 2022.

3.3. Construção do experimento

Conforme Figura 7, foram construídas duas leiras, sendo cada uma com 4,0 m de comprimento, 2,0 m de largura e 1,0 m de altura, totalizando um volume de 8,0 m³. Ambas ligadas a um sistema semiautomatizado que aciona o aerador ou a água, quando a temperatura ou umidade ultrapassam os limites estabelecidos.

Figura 7 – Leira semiautomatizada

Fonte: Os autores, 2022.

Nas Tabelas 1 e 2, estão descritas as ordens de montagem das leiras.

Tabela 1 - Dados construtivos da leira A

COMPONENTES	UNIDADES DE MEDIDA cm = Centímetros
Cobertura (feno) *	N/A
Esterco bovino	5,0 cm
Napier picado com farelo	70 cm
Esterco bovino	5,0 cm
Tubulação Pvc (Aeração forçada)	N/A
Serrapilheira	10 cm
Base (galhada)	10 cm

Fonte: Os autores, 2022

Tabela 2 - Dados construtivos da leira B

COMPONENTES	UNIDADES DE MEDIDA cm = centímetros L - Litro
Cobertura (feno) *	N/A
ME/solo	4 L
Napier picado com farelo	80 cm
Tubulação Pvc (Aeração forçada)	N/A
Serrapilheira	10 cm
Base (galhada)	10 cm

Fonte: Os autores, 2022

* A cobertura (feno) é utilizada no volume suficiente para manutenção de umidade e evitar a proliferação de vetores.

Nota: A leira não pode ter altura e largura elevadas para não dificultar o aporte e manutenção do material.

Para a montagem das duas leiras de compostagem foram utilizados: 14 mourões de eucalipto tratado com diâmetro de 10 a 12 cm, 80 varas de bambu com 4,1 m de comprimento para as laterais e 40 varas com 3,1 m de comprimento para as cabeceiras. Todas as varas de bambu tem em média 5,0 cm de diâmetro. A amarração do bambu nos mourões foi feito com arrame galvanizado para evitar deterioração.

Na sequência foi feito o nivelamento do solo com canaleta no meio do piso, com inclinação de 1%, direcionando o percolado para a caixa coletora, e logo após, a instalação da lona para impermeabilizar e direcionar o percolado a bacia contentora com capacidade de armazenamento de 50L.

A ordem de montagem das leiras se deu inicialmente pela base, com o posicionamento dos pilares e fixação dos bambos nas laterais e cabeceiras, conforme medidas citadas acima. Na parte interna das leiras, a montagem inicial (base) foi com materiais de difícil decomposição como galhada, seguida por serrapilheira, inoculante (ME/solo ou esterco bovino), capim napier picado e misturado com o farelo de trigo na proporção C/N - 30/1, inoculante (ME/solo ou esterco bovino), e por fim uma cobertura com feno para controle de luminosidade, temperatura e vetores.

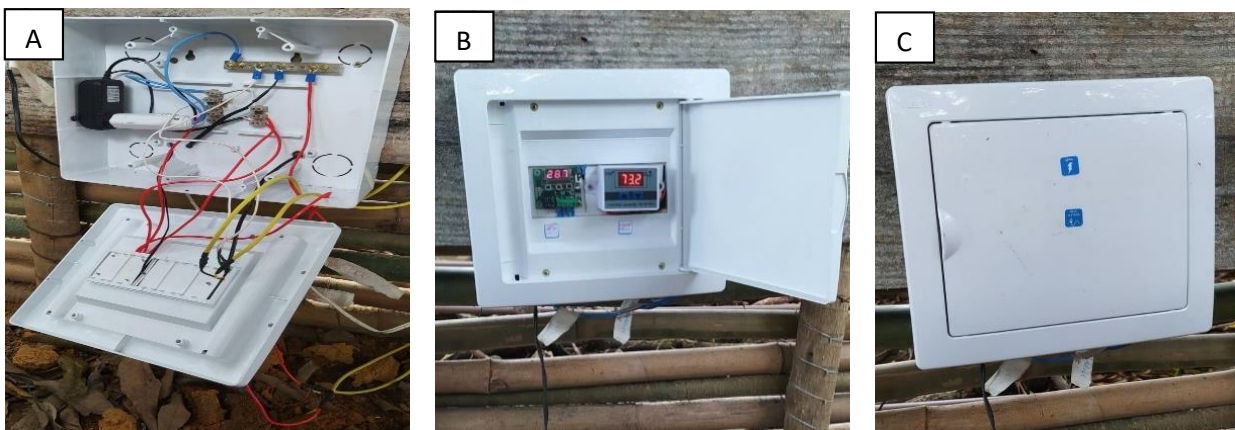
A área de capineira utilizada para o experimento foi de 400 m², com capim a uma altura média de 2,5 m. O volume de capim utilizado em cada leira foi de 5,2 m³. Na leira em que o inoculante é o esterco bovino, o volume utilizado foi: 2,0m largura x 4,0m comprimento x 0,05m altura = 0,4 m³,

sendo 0,2 m³ abaixo do material a ser decomposto e 0,2 m³ acima do material a ser decomposto. Na leira com inoculante ME/solo, o volume concentrado utilizado foi 4 litros, sendo estes diluídos em 16 litros de água sem cloro, totalizando 20 litros.

A origem do ar para a aeração forçada foi por meio de compressor da marca Pressure E 10/100 V-2HP Trifásico e Monofásico, Pressão de Operação Mín. e Máx.: 6,9 bar / 9,7 bar (1 bar/min = 0,12 m³/min). A distribuição do ar no interior das leiras foi feita por três linhas de tubos Policloreto de polivinila - Pvc de 25 mm e 3,2 m de comprimento cada, formando uma grade. A cada 20 cm os tubos Pvc foram perfurados (3 furos) com broca de 1,5 mm, totalizando 159 furos em cada grade. A grade foi instalada acima da serrapilheira, a uma altura de 20 cm da base das leiras. A mistura de matéria orgânica com o farela de trigo (C/N) foi colocada sobre a rede de tubos Pvc. O fluxo de ar satisfatório se deu pela boa montagem da estrutura e porosidade das leiras.

O controle dos dados foi realizado através da montagem de um painel elétrico, composto por higróstato e o termostato, sendo estes descritos no item 3.4. Os painéis foram instalados e abrigados na lateral das leiras, conforme a figura 8.

Figura 8 – Painel elétrico



Fonte: os autores, 2022.

3.4. Aeração forçada (Oxigênio) x temperatura

Com o aumento da atividade biológica no início do processo, dois fatores são fortemente correlacionados, sendo eles o consumo de oxigênio e a temperatura (INÁCIO, 2009). Esta interatividade é produto de três fatores: Oxigênio sendo utilizado pelos microrganismos, oxigênio sendo repostado pela aeração forçada e troca de gases como meio. Na prática a compostagem é um processo predominantemente aeróbio e não totalmente aeróbio, sendo comum a formação de zonas internas anaeróbias.

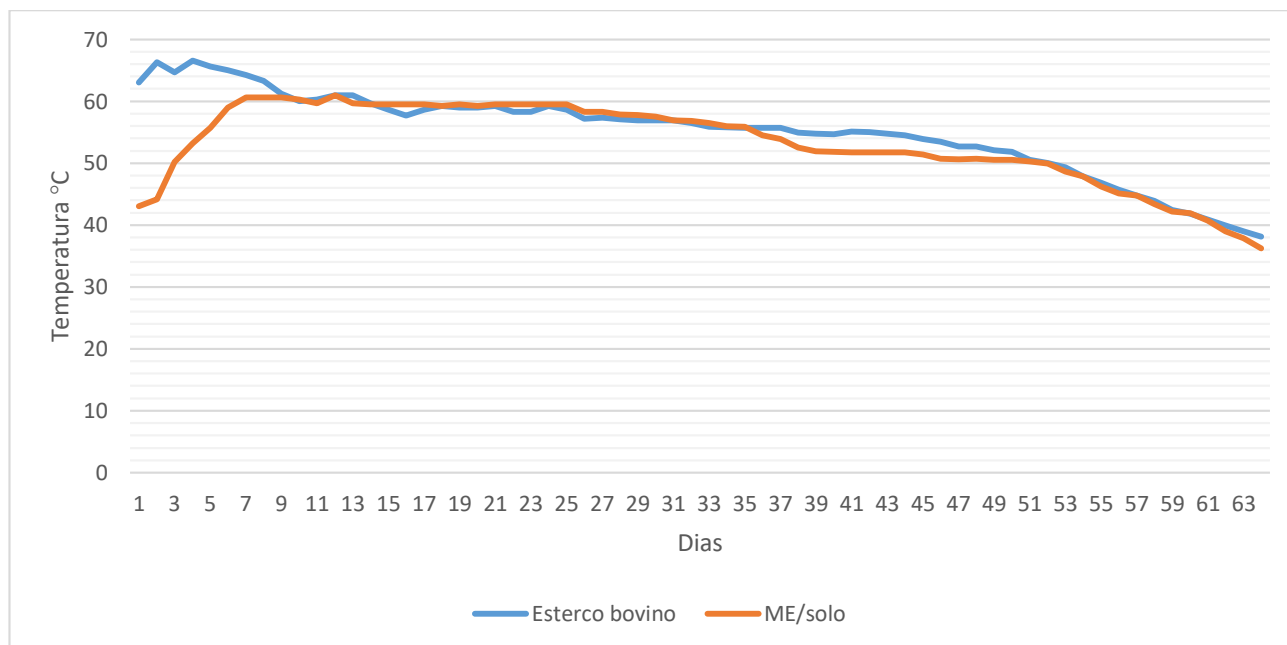
No Quadro 1, seguem as especificações adotadas pelo sistema de aeração forçada neste experimento, de acordo com a potência do aerador utilizado.

Quadro 1 - Especificações para sistemas de aeração forçada

PROCESSOS	TAXA	UNIDADE DE MEDIDA
Potência do aerador	2	HP
Pressão	140	Lbf/pol
Deslocamento de ar	283	L/min
Diâmetro do tubo Pvc	25	Milímetro (mm)
Comprimento do tubo Pvc	3,2	Metros (m)
Orifício no tubo Pvc (broca)	1,5	Milímetro (mm)

Fonte: Os autores, 2022.

O aporte de oxigênio foi controlado através de um sensor de temperatura instalado no centro e a 45 cm do topo da leira, sendo este, interligado a um termostato W1209 Arduíno, que através do relé, foi dimensionado para atuar na faixa de temperatura até 60°C nos quatro primeiros dias. A partir do 5º dia o termostato foi ajustado para 84°C. O comportamento da temperatura ao longo do processo até a maturação/humificação do composto, está figurado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Temperatura x Tempo

Fonte: Os autores, 2022.

Sempre que a temperatura da leira atingir as faixas previamente programadas, o termostato envia um sinal para a válvula solenoide modelo 2W16025-NF-1-127V, que aciona o aerador ligado na rede elétrica, liberando o ar e realizando a aeração forçada com insuflação oxigênio suficiente para que os microrganismos trabalhem na faixa de temperatura considerada ótima de decomposição da matéria

orgânica. Após baixar em 2 °C a faixa previamente programada, a válvula solenoide cessa o fornecimento de ar e envia um sinal para o aerador que funcionará até o cilindro do compressor atingir sua pressão máxima novamente, ficando o sistema pressurizado e pronto para o novo acionamento.

3.5. Relação C/N

Conforme Figura 9, a relação C/N aplicada foi de 30/1. Como fonte de carbono (energia), foi utilizado o capim napier picado na máquina ensiladeira do fabricante Nogueira, modelo EN 9F3B, motor Yanmar, e como fonte de nitrogênio (reprodução) o farelo de trigo.

Figura 9 – Capim Napier e farelo de trigo



Fonte: Os autores, 2022.

3.6. Estrutura

Conforme a Figura 10, o capim napier utilizado estava em sua fase adulta, fibroso e com menos teor de água, ideal para o experimento. A ensiladeira de capim teve sua contrafaca regulada para cortar o capim napier na medida entre 0,3 e 1,5 cm de espessura. Os elementos utilizados para a montagem das leiras seguiram conforme a Tabela 1 e 2 - Dados construtivos das leiras.

Figura 10 – Matéria orgânica



Fonte: Os autores, 2022.

3.7. Balanço hídrico (Umidade)

Devido às altas temperaturas que ocorrem no processo de decomposição da matéria orgânica, grande parte do volume a ser compostado é reduzido, pois são constituídos em geral por 70% de água, que é evaporada na troca exotérmica ou drenada como composto líquido (INÁCIO, 2009). Um requisito fundamental estabelecido, foi construir um dreno (30x30cm) no entorno das leiras para evitar que águas pluviais e de outras áreas entrasse nas mediações da compostagem e instalação de telhado sobre as leiras de compostagem, evitando o superdimensionamento do volume de percolado direcionado as caixas coletoras.

Para obter a quantidade exata de precipitação durante o processo, foi instalado próximo das leiras um pluviômetro manual, conforme Figura 11, com unidade de medida em mm, que representa L/m².

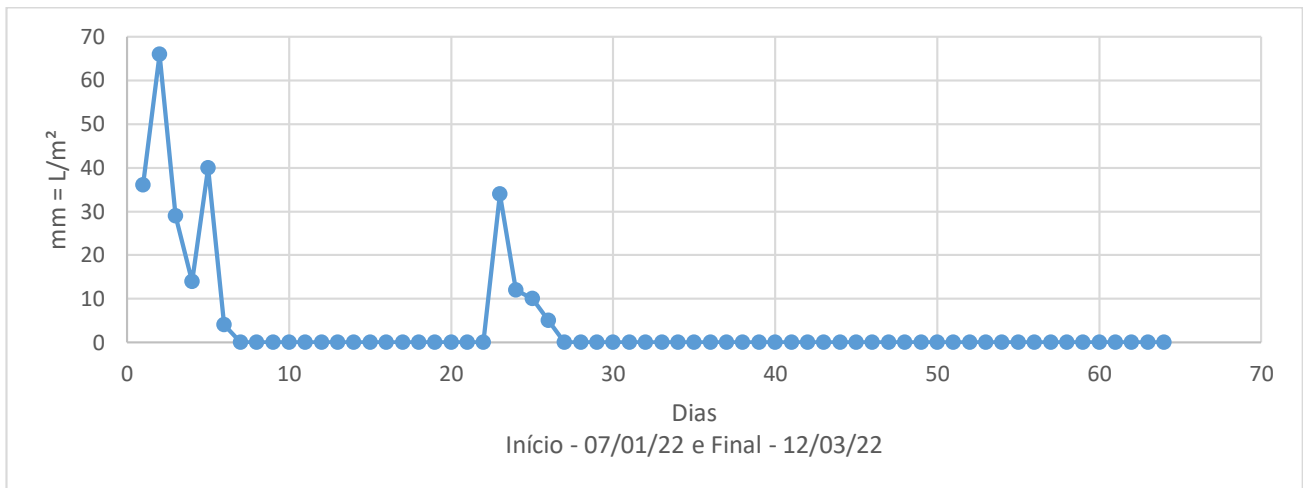
Figura 11 – Pluviômetro manual



Fonte: Os autores, 2022.

Os dados obtidos seguem no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Precipitação



Fonte: Os autores, 2022.

A área sob as leiras de compostagem foi impermeabilizada com lona, garantindo que o percolato seja conduzido integralmente para um sistema de captação dotado de caixas coletoras com volume de 50L em cada leira. Este percolato pode ser ou não recirculado, a depender do projeto, e ainda ser diluído em água na proporção 1/10 para ser utilizado como biofertilizante. Deste modo, evitou-se o vazamento do líquido percolato e sua infiltração no solo.

O pátio de compostagem não deve ser construído em áreas sujeitas à inundação. O composto líquido produzido também não deve apresentar odores, sendo sua coloração escura (preta) indicando bom grau de maturação e a coloração marrom ou amarela indicando processo incompleto, com presença de fortes odores.

O controle da umidade foi realizado através de um sensor instalado no centro e a 45 cm do topo da leira, sendo este interligado a um do higrômetro modelo XH-W3005, que através do relé, foi dimensionado para atuar na faixa de umidade 45% a 60%. Sempre que a umidade da leira atingir a faixa mínima programada, o higrômetro envia um sinal para a válvula solenoide, interligada a um reservatório de água, com recalque de 4 m em relação ao ponto de entrada no sistema. O fluxo de água é direcionado a um tubo Pvc de 20 mm de diâmetro, 3,2 m de comprimento e furos de 1,5 mm de diâmetro, instalado sobre a leira de compostagem. Esse sistema atuará no controle da umidade necessária para que os microrganismos trabalhem na faixa ótima de decomposição da matéria orgânica.

3.8. pH

Conforme a Figura 12, o pH do meio tem influência na dinâmica microbiana, principalmente na fase inicial da compostagem. Nesse sentido, a mistura inicial teve o pH controlado entre 6,0 e 7,0,

plenamente satisfatório a atividade microbiana. Esse índice tende a se manter alcalino na fase termofílica (7,5 a 9,0). O instrumento medidor de pH (pHmetro) utilizado foi o modelo PHD-4000, utilizando um sensor com o comprimento de 200 mm.

Figura 12 – pHmetro



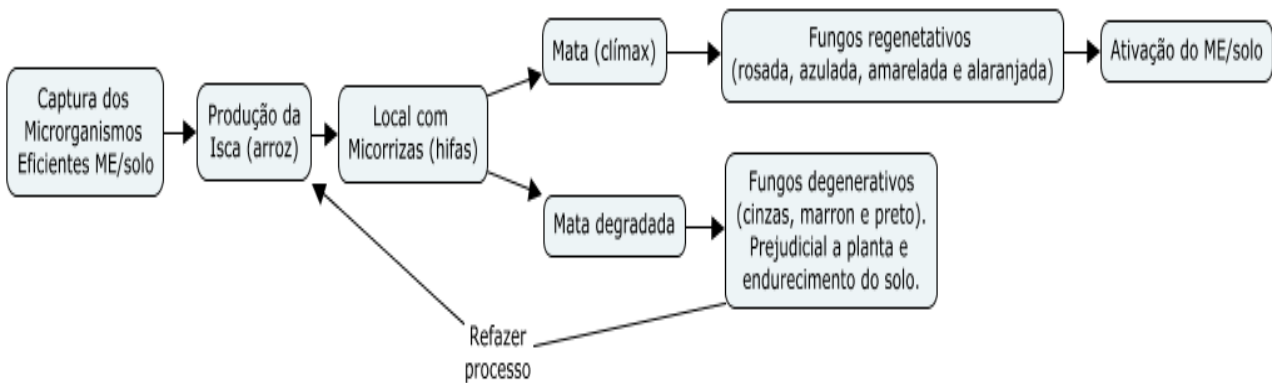
Fonte: Os autores, 2022.

3.9. Odor

Avaliação foi qualitativa durante todo o período do experimento, sendo controlado os 4 principais motivos de mal cheiro na compostagem: Excesso de nitrogênio, falta de aeração, ausência de cobertura ou cobertura ineficiente na pilha de compostagem e excesso de umidade.

4. RESULTADOS

A escolha do local para inserir a isca e coletar os microrganismos regenerativos (colorações rosada, azulada, amarelada e alaranjada) não pode ter indícios de degradação e solo lixiviado, e ainda deve apresentar bom índice de diversidade biológica, nutrientes e água no solo. Os locais com maior ocorrência de micorrizas com hifas representativas e coloração branca, são as bordas da mata e as margens de corpos hídricos, tendo maior ocorrência na serrapilheira e pequenas galhadas. Após a etapa de escolha do local, aconteceu a preparação do ME/solo que tem produto final de cor alaranjada, podendo ser mais clara ou mais escura, o que depende da matéria-prima, não implicando, porém, na qualidade do produto, com cheiro doce e agradável. O fluxograma representado na Figura 13, sintetiza as etapas desse processo.

Figura 13 – Produção do ME/solo

Fonte: Os autores, 2022.

No segundo momento, a escolha do local para montar a compostagem, aquisição e organização dos materiais é fundamental para o desenvolvimento do processo, seguido de controle dos dados que foi realizado através da montagem e operação de um painel elétrico, composto por higrostató e termostato. O fluxograma representado na Figura 14, representa as etapas da construção do experimento.

Figura 14 – Construção do experimento

Fonte: Os autores, 2022.

Com o funcionamento do sistema, pôde-se observar no Gráfico 1 deste artigo, que o uso do inoculante esterco bovino se mostrou mais eficaz em comparação ao ME/solo para acelerar a fase inicial, isto é, alcançar nos 4 primeiros dias temperaturas termofílicas ($>53\text{ }^{\circ}\text{C}$), e assim impedir a proliferação de larvas de mosca que costuma ser um problema na compostagem. Observou-se que a temperatura e o consumo de oxigênio são altamente correlacionados e medem verdadeiramente a atividade microbiana.

Na fase inicial do processo (mesófila) a temperatura teve aumento constante, com valores variando na leira A (esterco bovino) de 37 para 66,6 $^{\circ}\text{C}$ e na leira B (ME/solo) 37 para 53,2 $^{\circ}\text{C}$, indicando boa montagem e bom funcionamento das leiras. A partir do 5º dia, houve um aumento gradativo e simultâneo da temperatura, culminando na faixa de 61 $^{\circ}\text{C}$ em ambas as leiras no 12º dia. Esta é a fase termofílica onde ocorre a eliminação dos microrganismos patogênicos e larvas de mosca. A partir do 13º até o 20º dia, a temperatura teve variação de 2 $^{\circ}\text{C}$ na leira A (esterco bovino) e 1,8 $^{\circ}\text{C}$

na leira B (ME/solo). Do 21º dia em diante a temperatura foi diminuindo e se aproximando da temperatura ambiente, caracterizando o retorno da fase mesófila e indicando a maturação do composto.

As leiras cobertas, localizadas no município de Rio das Ostras/RJ (coordenadas: Latitude – 22º 28' 55,1" e Longitude – 42º 01' 11,9"), com as dimensões e materiais descritos no item 3.3 deste artigo, submetidas ao processo de compostagem semiautomatizada com aeração forçada, com matéria orgânica estabilizada em ambas as leiras no 64º dia, sendo coletados na composteira A (Esterco bovino) – 3,2 m³ de composto orgânico e 49 litros de biofertilizante e na composteira B (ME/solo) - 3,6 m³ de composto orgânico e 62 litros de biofertilizante, conforme ilustrados nas Figuras 15A e 15B.

Figura 15 – Produtos



Fonte: Os autores, 2022.

Destaca-se que o biofertilizante produzido na composteira B (ME/solo) teve sua coloração menos escura em função do líquido não passar pelo esterco bovino. Ambos estão livres de odor, o que indica equilíbrio na relação C/N, e podem ser diluídos em água na proporção 10/1, para serem utilizados para irrigação de culturas. Nesta pesquisa, o inoculante esterco bovino se mostrou mais eficiente na decomposição da matéria orgânica do que o inoculante ME/solo.

O controle do processo permitiu que o ciclo da compostagem em ambas as leiras fosse consideravelmente menor em relação aos processos de aeração passiva (aproximadamente de 120 dias), produzindo um composto escuro com textura turfa, que fornece os nutrientes essenciais para o suprimento das plantas, além do controle de odor e diminuição de volume do percolado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos de compostagem orgânica de baixo custo em zonas rurais são ferramentas de gestão de resíduos orgânicos, transformando o resíduo em um produto estável e de qualidade para utilização agrícola. Levando em consideração que os produtores rurais têm como subsídio os adubos químicos para alavancar a produção, sendo o alto custo dos fertilizantes um dos principais responsáveis pelo aumento dos preços do produto final, a compostagem vem ao encontro das necessidades de redução do custo de produção com ingresso de energia externa, melhorando as propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo, refletindo em aumento da produtividade das culturas. Desse modo, a compostagem passa a ser uma alternativa viável para minimizar ou resolver o problema da geração de resíduos orgânicos na agroindústria e economia com a disponibilização de composto de qualidade em substituição ao adubo químico.

Por fim, como sugestão para melhorias desse experimento proposto, recomenda-se discussões futuras visando o aprimoramento com indicadores de qualidade do composto obtido com testes laboratoriais tanto no composto orgânico quanto no biofertilizante, verificando se estão dentro dos parâmetros de qualidade estabelecidos pela Instrução Normativa nº 25, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e Resolução Conama nº 375 e suas aplicabilidades.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 10.004:2004. **Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT NBR 10.006:2004. **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT NBR 10.007:2004. **Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2020. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2020**. São Paulo/SP.

ANDRADE, F. M. C. **Caderno dos microorganismos eficientes (EM)**. - Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 2ª edição. p. 32.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA 481, de 03 de outubro de 2017. **Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19344546/do1-2017-10-09-resolucao-n-481-de-3-de-outubro-de-2017-19344458>. Acesso em: 03 abr. 2022.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Altera a Lei Nº. 9.605, De 12 de Fevereiro de 1998 e da Outras Providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 20 ago. 2020.

CARLI, A. A. de. **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS): Uma análise interdisciplinar de sua efetividade**. Organização de Ana Alice de Carli e Felipe da Costa Brasil. - Rio de Janeiro: Multifoco, 2021. 344p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

INÁCIO, C. T. MILLER, P. R. M. **Compostagem: Ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 1ª edição. p. 154.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4. ed. Piracicaba, 2004. 173 p.

RYNK, R. **On-farm composting handbook**. Ithaca. NY: NRAES, 1992, 186p.

PLANARES. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/conesan/sites/253/2020/11/pnrs_2020.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2022.

SALATI, P. **Após novo recorde, Brasil encerra 2021 com 562 agrotóxicos liberados, sendo 33 inéditos**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2022/01/18/apos-novo-recorde-brasil-encerra-2021-com-562-agrotoxicos-liberados-sendo-33-ineditos.ghtml>>. Acesso em: 23 jan. 2022.

SOARES, V. B. SILVA, J. A. F. **Resíduos orgânicos no Brasil: métodos de compostagem para pequenas comunidades rurais**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano

06, Ed. 06, Vol. 01, pp. 156-195. Junho de 2021. ISSN: 2448-0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/metodos-de-compostagem>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/metodos-de-compostagem. Acesso em: 10 maio 2021.

7. ANEXO - ENQUADRAMENTO PARA LICENCIAMENTO AMBIENTAL NO RIO DE JANEIRO- RJ

Grupo XXVIII - Saneamento e serviços de utilidade pública

Subgrupo – Processamento e disposição de resíduos sólidos

Código - 28.04.03

Atividade – Usinas de compostagem (PPIM - desprezível)

Critério - CE041

Critério de Enquadramento CE041

1 - Porte

1.1 - Quantidade a ser tratada (t/dia) Classificação

a) Até 5	Mínimo
b) Acima de 5 até 20	Pequeno
c) Acima de 20 até 50	Médio
d) Acima de 50 até 100	Grande
e) Acima de 100	Excepcional

2 - Potencial Poluidor

2.1 - Quanto à composição do resíduo Classificação

a) Com separação na fonte geradora	Desprezível
b) Sem separação na fonte geradora	Baixo

2.2 - Impermeabilização da área de produção Classificação

a) Sim	Desprezível
b) Não	Baixo

CLASSIFICAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL

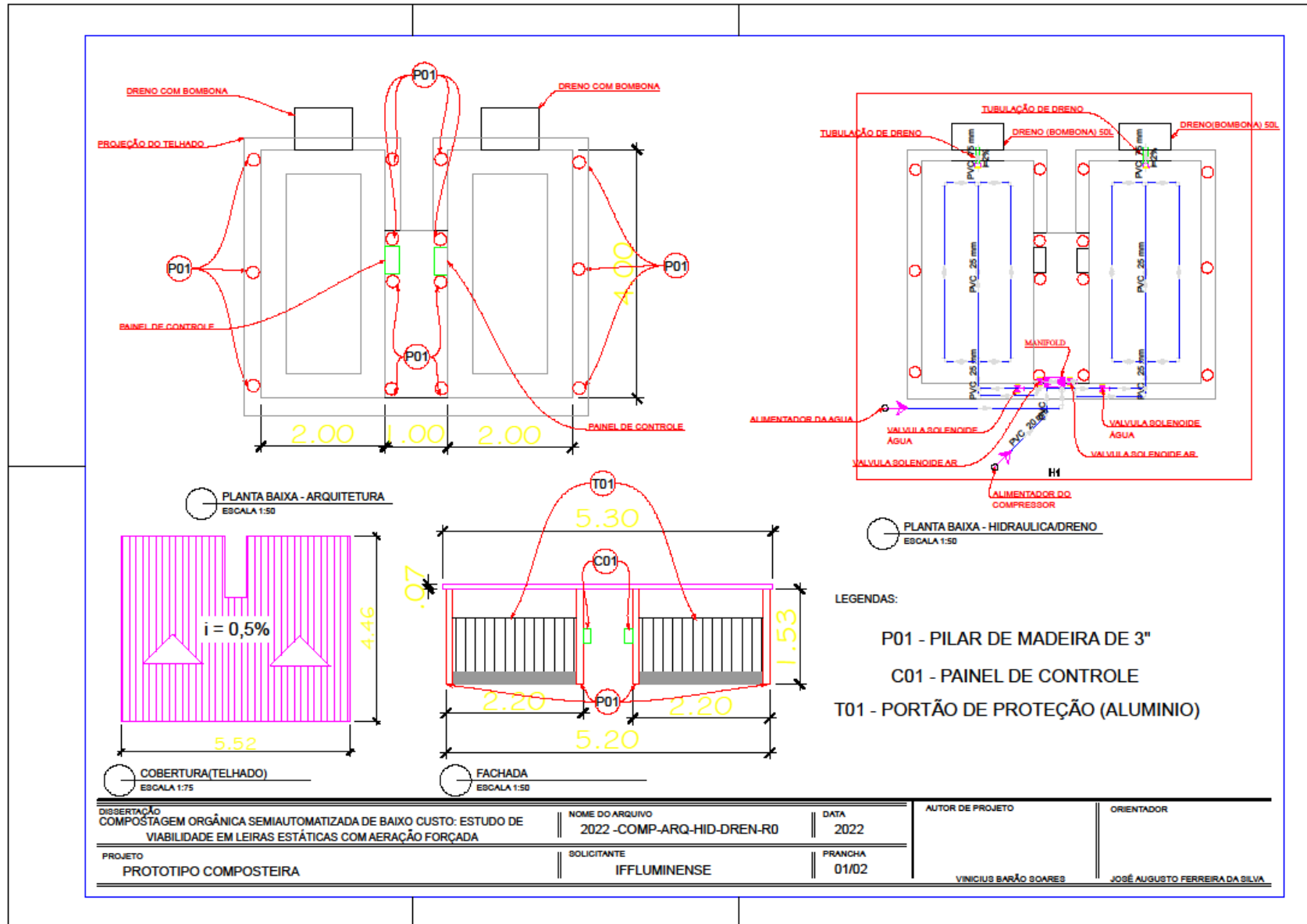
PORTE	POTENCIAL POLUIDOR			
	Desprezível	Baixo	Médio	Alto
Mínimo	Classe 1A IMPACTO DESPREZÍVEL	Classe 2A BAIXO IMPACTO	Classe 2B BAIXO IMPACTO	Classe 3A MÉDIO IMPACTO
Pequeno	Classe 1B IMPACTO DESPREZÍVEL	Classe 2C BAIXO IMPACTO	Classe 3B BAIXO IMPACTO	Classe 4A MÉDIO IMPACTO
Médio	Classe 2D BAIXO IMPACTO	Classe 2E BAIXO IMPACTO	Classe 4B MÉDIO IMPACTO	Classe 5A ALTO IMPACTO
Grande	Classe 2F BAIXO IMPACTO	Classe 3C MÉDIO IMPACTO	Classe 5B ALTO IMPACTO	Classe 6A SIGNIFICATIVO
Excepcional	Classe 3D BAIXO IMPACTO	Classe 4C MÉDIO IMPACTO	Classe 6B SIGNIFICATIVO	Classe 6C SIGNIFICATIVO

Fonte: NOP-INEA-46, 2021.

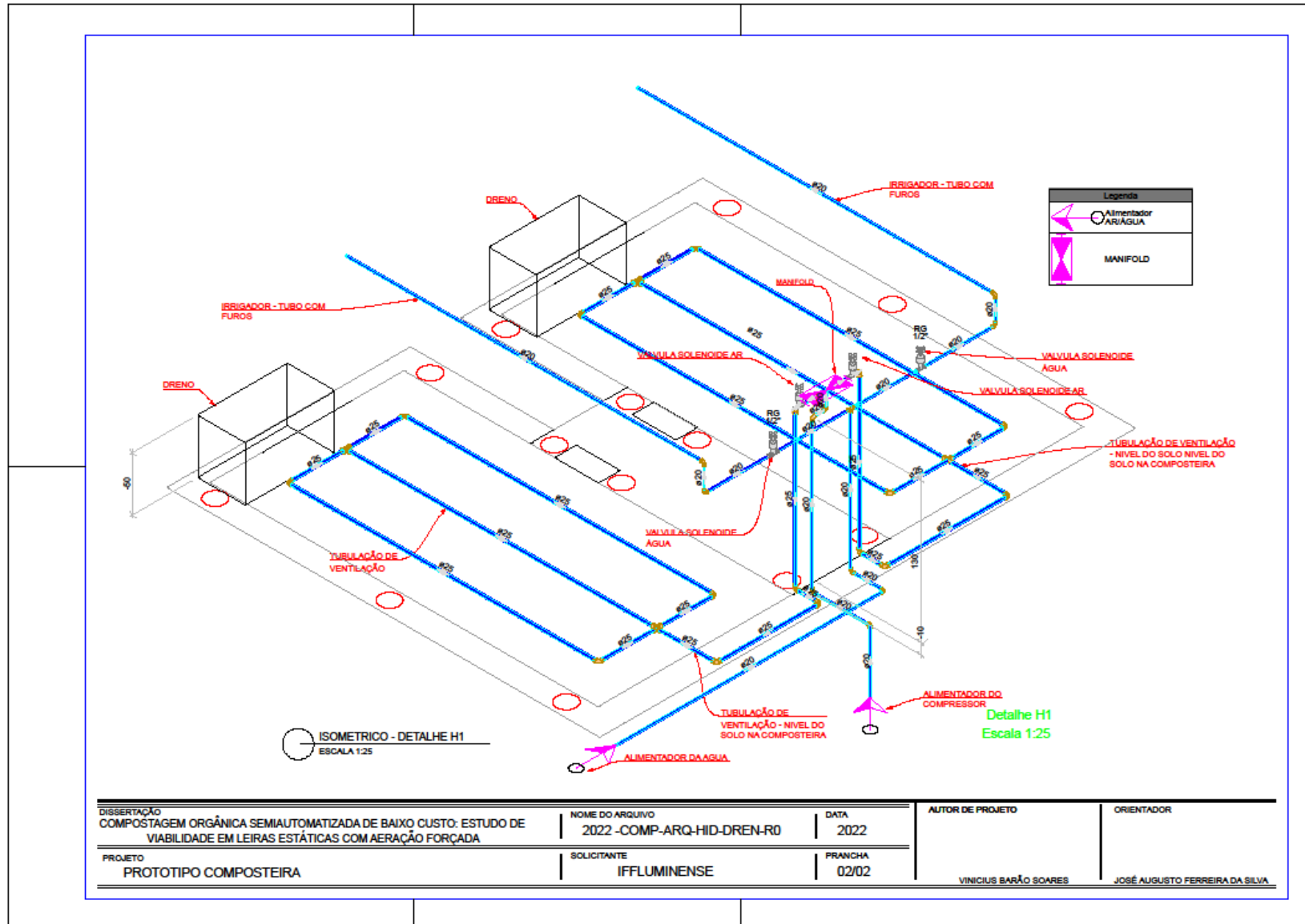
Nota: Este enquadramento foi realizado de acordo com:

- Decreto Nº 46.820 de 23 de dezembro de 2019 (SELCA).
- NOP-INEA-46 - ENQUADRAMENTO DE EMPREENDIMENTOS E ATIVIDADES SUJEITOS AO LICENCIAMENTO E DEMAIS PROCEDIMENTOS DE CONTROLE AMBIENTAL, publicado em 18/08/2021.
- Boletim de Serviço nº 110 de 23 de agosto de 2021 (Anexo I da NOP-INEA-46).

8. APÊNDICE A – PLANTA BAIXA



9. APÊNDICE B – PLANTA (ISOMÉTRICO)



11. APÊNDICE D – PLANILHA DE CUSTOS

Unidade	Planilha de custos	
4 Kg	Arroz	R\$ 9,49
2 Un	Peneiras de obra	R\$ 48,00
1 Un	Medidor pH	R\$ 129,63
2 Un	Higrostatos	R\$ 260,00
2 Un	Válvulas solenoide (ar)	R\$ 485,20
2 Un	Válvulas solenoide (água)	R\$ 60,00
2 Un	Termostato	R\$ 60,00
100 m	Fio 2,5 mm	R\$ 114,90
5 m	Fio 1,5 mm	R\$ 10,00
1 Un	Pluviômetro	R\$ 69,00
14 Um	Mourões (10-12)	R\$ 264,60
1 Un	Adaptador sold. 32/1	R\$ 3,60
2 Kg	Arame queimado	R\$ 55,80
1 Un	Bucha de redução sold. 32/25	R\$ 1,80
2 Un	Cap soldável 20 mm	R\$ 1,80
1 Un	Cola adesivo PVC	R\$ 4,41
1 Un	Fita isolante alta fusão	R\$ 20,70
8 Un	Joelhos 90° solda (25 mm)	R\$ 14,40
20 m	Lona	R\$ 135,00
2 Un	Luvas solda/rosca 25-3/4	R\$ 4,00
35 m	Mangueira 1/2	R\$ 126,00
2 Un	T solda (25 mm)	R\$ 3,60
4 Un	Tubos solda 6m (25 mm)	R\$ 94,68
2 Un	Tubos solda 6 m - 20 mm	R\$ 41,22
6 Un	Abraçadeira s/fim 3/4	R\$ 9,78
2 Un	Cruzeta solda (25 mm)	R\$ 23,63
6 Un	Adaptador de mangueira 1/2	R\$ 16,20
1 Un	curva solda (32 mm)	R\$ 9,90
2 Un	Joelhos solda/rosca 20-1/2	R\$ 5,40
2 Un	Luva rosca 1/2	R\$ 4,90
2 Un	Quadros 6/8 disj. sobrepor	R\$ 128,01
1 Un	Luva solda/rosca 20-1/2	R\$ 3,42
2 Un	Redução metal 1"-1/2	R\$ 10,00
1 Un	Adaptação metal 3/4-1/2	R\$ 12,00
1 Un	Luva metal 1/2	R\$ 12,00
1 Un	Adaptador pneumático 3/4-1/4 NPT	R\$ 32,00
1 Un	Luva metal 1/4-1/4 NPT	R\$ 22,00
2 fardos	Feno	R\$ 32,00
75 Kg	Farelo	R\$ 200,00
Soma		R\$ 2.539,07