

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM:
USO DE SENSORES PARA MONITORAMENTO E
CONTROLE DE PARÂMETROS DE UM PROCESSO
SUSTENTÁVEL**

JANICE RODRIGUES DA SILVA

Catalão - GO

2019

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: Dissertação Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

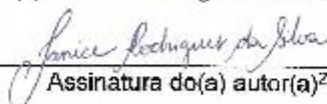
Nome completo do autor: Janice Rodrigues da Silva

Título do trabalho: automação do processo de compostagem: uso de sensores para monitoramento e controle de parâmetros de um processo sustentável

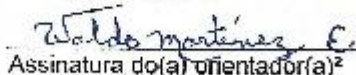
3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.


Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 18 / 10 / 2019

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² A assinatura deve ser escaneada.

AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM: USO DE SENSORES PARA MONITORAMENTO E CONTROLE DE PARÂMETROS DE UM PROCESSO SUSTENTÁVEL

JANICE RODRIGUES DA SILVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Catalão, como parte dos requisitos para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**.

Área de Concentração: Engenharia de Operações e Processos Industriais.

Orientador: Prof. Dr. José Waldo Martínez Espinosa

Co-orientador: Prof. Dr. Ed Carlo Rosa Paiva

Catalão - GO

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Rodrigues da Silva, Janice

AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM: uso de sensores para monitoramento e controle de parâmetros de um processo sustentável [manuscrito] / Janice Rodrigues da Silva. - 2019.

LXXIV, 74 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. José Waldo Martínez Espinosa; co-orientador Dr. Ed Carlo Rosa Paiva.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Engenharia e Administração, Catalão, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Catalão, 2019.

Bibliografia.

Inclui siglas, gráfico, tabelas, lista de figuras.

1. Compostagem;. 2. resíduos sólidos orgânicos;. 3. automação;. 4. sustentabilidade.. I. Waldo Martínez Espinosa, José, orient. II. Título.

CDU 658.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE ENGENHARIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº II da sessão de Defesa de Dissertação de JANICE RODRIGUES DA SILVA, que confere o título de Mestre(a) em Engenharia de Produção, na área de concentração em Engenharia de Operações e Processos Industriais.

Ao/s dezoito dias do mês de setembro do ano de dois mil e dezenove, a partir da(s) 14h e 30 min, na sala do mestrado em Engenharia de Produção da Unidade Acadêmica Especial de Engenharia, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM: USO DE SENSORES PARA MONITORAMENTO E CONTROLE DE PARÂMETROS DE UM PROCESSO SUSTENTÁVEL”. Os trabalhos foram instalados pelo(a) Orientador, Professor Doutor JOSÉ WALDO MARTINEZ ESPINOSA (PPGEP) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor MARCO PAULO GUIMARÃES (PPGEP), membro titular interno; Professor Doutor HEBER MARTINS DE PAULA (PPGEC/UFG/RC), membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca não fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata aprovada pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor JOSE WALDO MARTINEZ ESPINOSA, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos dezoito dias do mês de setembro de dois mil e dezenove.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

Título sugerido pelo autor mantido



Documento assinado eletronicamente por José Waldo Martínez Espinosa, Usuário Externo, em 17/10/2019, às 19:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Heber Martins De Paula, Vice-Coordenador de Pós-graduação, em 18/10/2019, às 10:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Marco Paulo Guimarães, Professor do Magistério Superior, em 18/10/2019, às 17:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orcao_acesso_externo=0, informando o código verificador 0950234 e o código CRC DCA3FEC1.

21/10/2019

SEI/UFMG - 0950234 - Ata de Defesa de Dissertação

Referência: Processo nº 23070.031168/2019-57

SEI nº 0950234

A toda minha família, amigos e colaboradores do campus, que me apoiaram e auxiliaram durante minha jornada.

AGRADECIMENTOS

A Deus por permitir essa experiência, graça e fé, força de vontade e perseverança.

À minha família, por todo apoio nas horas que pensei não ser capaz, à minha mãe Reusa dos Santos Rodrigues e minha irmã Patrícia Rodrigues da Silva por cuidar com muito carinho do meu filho Kaique Rodrigues André e a ele por aceitar ficar longe no tempo de meus estudos. Ao meu pai Osvaldo Rodrigues da Silva e meu irmão David Rodrigues da Silva pela ajuda em todas as fases da montagem prática do trabalho, por confiar e me apoiar.

Ao meu esposo Fernando André pela paciência, compreensão, companheirismo e motivação.

Ao meu orientador Dr. José Waldo Martínez Espinosa pela orientação, direcionamento, segurança, motivação e paciência.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Ed Carlo Rosa Paiva, pela orientação e por disponibilizar equipamentos necessários na realização do trabalho.

Ao professor Dr. Marco Paulo Guimarães por toda orientação, dedicação, disposição, paciência, sem o qual não seria possível a realização do trabalho.

Aos meus amigos e companheiros de jornada Karine de Jesus Rodrigues Santana e Jorge Maciel, pela união, força e motivação.

Aos técnicos, Iago Ferreira Lima pela disponibilidade, parceria e contribuição e Lucas Fagundes, por estar sempre presente e auxiliando na parte de informática.

A todo pessoal da manutenção e ao secretário Bruno Cezar Guerreiro pela disposição no atendimento. Ao Célio Mariano Silva e ao Thiago Elias Rosa, gestores do aterro sanitário de Catalão.

Ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos.

Ao apoio financeiro do COMDEMA/Prefeitura Municipal de Catalão, pela compra dos equipamentos, bem como na execução da área experimental.

“A aquisição do conhecimento é a chave da porta de entrada para o sucesso, não fique tentando girar a maçaneta, vá direto com a chave.”

Janice Rodrigues

SILVA, J. R. **Automação do Processo de Compostagem: Uso de Sensores para Monitoramento e Controle de Parâmetros de Um Processo Sustentável.** 74 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás. Catalão, GO. 2019.

RESUMO

A crescente produção e descarte de resíduos orgânicos gera uma preocupação ambiental, econômica e social, que pressiona, os responsáveis, a resolução dos problemas causados com esse fator. Com isso, a criação da Lei nº 12.305/10 e do Decreto nº 7.404, de 23 de Dezembro de 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), auxilia na destinação correta dos resíduos e no consumo sustentável, propiciando a possibilidade de realização de tratamento e reutilização dos resíduos. A compostagem orgânica dos resíduos é uma forma de tratamento que requer toda consecução de um processo que envolve fatores a serem analisados, tecnologias e equipamentos a serem definidos de acordo com a capacidade de cada agente. Assim, o objetivo deste trabalho é monitorar, de forma automatizada, um processo de compostagem, com o uso de sensores capazes de realizar a aquisição de dados em tempo real e controlar os parâmetros apresentados. Os materiais para a montagem do sistema de compostagem foram estabelecidos de acordo com a disponibilidade de resíduos e a determinação do processo fundamentada na capacidade das instalações e das ferramentas necessárias para análise e acompanhamento do processo. Os resultados obtidos mostraram que há a necessidade em monitorar os parâmetros de processos de compostagem, assim há contribuição para a aquisição de dados confiáveis e proporciona a tomada de decisão em tempo real; a leira possui pontos com parâmetros diferentes no mesmo tempo de compostagem; o centro da leira não apresenta o mesmo comportamento que os pontos mais externos; o monitoramento automatizado pode ser aplicado em qualquer processo de compostagem, desde que haja um acompanhamento diário de todo o sistema. Baseado nos resultados obtidos se conclui que o sistema de compostagem é uma alternativa sustentável para problemas de descarte de resíduos e a automação do processo possibilita a análise dos parâmetros que influenciam no tratamento otimizado do composto.

Palavras chave: Compostagem; resíduos sólidos orgânicos; automação; sustentabilidade.

SILVA, J. R. **Automação do Processo de Compostagem: Uso de Sensores para Monitoramento e Controle de Parâmetros de Um Processo Sustentável.** 74 p. Masters Dissertation. Federal University of Goiás. Catalão, GO. 2019.

ABSTRACT

The growing production and disposal of organic waste generates an environmental, economic and social concern, which pressures, the responsible, the resolution of the problems caused by this factor. Thus, the creation of Law No. 12,305 / 10 and Decree No. 7,404, of December 23, 2010, the National Solid Waste Policy (PNRS), helps in the proper disposal of waste and sustainable consumption, providing the possibility of realization. waste treatment and reuse. Organic composting of waste is a form of treatment that requires the completion of a process that involves factors to be analyzed, technologies and equipment to be defined according to the capacity of each agent. Thus, the objective of this work is to monitor, in an automated way, a composting process, using sensors capable of real time data acquisition and control of the presented parameters. The materials for assembling the composting system were established according to the availability of waste and the determination of the process based on the capacity of the facilities and the tools required for analysis and process monitoring. The results showed that there is a need to monitor the parameters of composting processes, thus contributing to the acquisition of reliable data and providing real-time decision making; the windrow has points with different parameters at the same composting time; the center of the windrow does not behave the same as the outermost points; Automated monitoring can be applied to any composting process as long as there is daily monitoring of the entire system. Based on the results obtained, it can be concluded that the composting system is a sustainable alternative to waste disposal problems and the process automation allows the analysis of the parameters that influence the optimized compost treatment.

Keywords: Composting; solid organic waste; automation; sustainability.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Monitoramento da temperatura.....	58
Gráfico 2: Monitoramento da temperatura na LEA 2.	64
Gráfico 3: Monitoramento da umidade na LEA 2.....	65
Gráfico 4: Monitoramento do oxigênio na LEA 2.	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Temperatura durante o processo de compostagem orgânica.	28
Figura 2 - Temperatura durante o processo de compostagem orgânica.	29
Figura 3 - Leira estática com aeração forçada.	32
Figura 4 - Ventilador centrífugo.....	37
Figura 5 - Tubo de PVC perfurado.....	37
Figura 6 - Termômetro digital portátil com sensor de imersão modelo TP-100	38
Figura 7 - Componentes para aquisição de dados.....	39
Figura 8 - Sensor de umidade YL69.....	40
Figura 9 - Sensor de temperatura PT-100.....	41
Figura 10 - Sensor de oxigênio MQ-4.....	41
Figura 11 - Diagrama do circuito dos sensores de oxigênio.....	42
Figura 12 - Cobertura do tubo com brita.....	45
Figura 13 - Sequência de montagem da leira.....	45
Figura 14 - Vista do painel frontal do programa desenvolvido.....	47
Figura 15 - Vista do diagrama de blocos do programa desenvolvido.....	48
Figura 16 - Sub-VI do sensor de temperatura.....	49
Figura 17 - Sub-VI do sensor de temperatura.....	49
Figura 18 - Sub-VI do sensor de oxigênio.....	50
Figura 19 - Programação de acionamento do ventilador.....	50
Figura 20 - Ferramentas para aquisição de dados.....	51
Figura 21 - Galpão para montagem das leiras.....	53
Figura 22 - Estrutura do piso da área para montagem das leiras.....	53
Figura 23 - Sequência de montagem da leira 1 – substrato.....	54
Figura 24 - Sequência de montagem da leira 1 – resíduos orgânicos.....	55
Figura 25 - LEA 1 montada.....	56
Figura 26 - Pontos de medições da LEA 1.....	57
Figura 27 - Reviramento da leira.....	59
Figura 28 - Cobertura do tubo de PVC.....	61
Figura 29 - LEA 2 montada.....	61
Figura 30 - Pontos de medições da LEA 2.....	62
Figura 31 - Monitoramento da LEA 1 e LEA 2.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características químicas do material e substrato utilizados para compostagem. . 43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
C – Carbono;
C/N – Relação Carbono/Nitrogênio;
CO₂ – Dióxido de Carbono;
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto;
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
NH₃ – Amônia;
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos;
pH – Potencial Hidrogeniônico;
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos;
COMDEMA – Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente de Catalão;
FUNAPE – Fundação de Amparo a Pesquisa.
PID - Controlador proporcional integral derivativo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO	18
1.1 JUSIFICATIVA	19
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	19
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	19

CAPÍTULO 2

REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 Sustentabilidade Ambiental	21
2.2 Gestão de Resíduos	23
2.3 Compostagem.....	25
2.3.1 <i>Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)</i>	27
2.3.2 <i>Temperatura</i>	28
2.3.3 <i>pH (potencial Hidrogeniônico)</i>	29
2.3.4 <i>Umidade</i>	30
2.3.5 <i>Aeração</i>	30
2.4 Processos de Compostagem de Resíduos Orgânicos	31
2.5. Automação na Leira Estática Aerada (LEA).....	33
2.6 Compostagem de Resíduos Orgânicos e a sustentabilidade ambiental	33

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1 Materiais.....	36
3.1.1 <i>Materiais usados na LEA 2</i>	38
3.1.1.1 <i>Sensor de umidade</i>	39
3.1.1.2 <i>Sensor de temperatura</i>	40
3.1.1.3 <i>Sensor de oxigênio</i>	41

3.1.2 Circuito de monitoramento e controle	42
3.2 Métodos.....	43
3.2.1 Métodos adotados na montagem das leiras	43
3.2.2 Métodos adotados na montagem da leira estática aerada (LEA 2).....	46
CAPÍTULO 4	
RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1 Montagem das leiras estáticas aeradas	52
4.2 Montagem da leira estática aerada com medição e controle automatizado (LEA 2)	60
4.3 Parâmetros da LEA 1 e LEA 2.....	67
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
REFERÊNCIAS	71

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

De acordo com a pesquisa feita sobre a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) apresentada pela ABRELPE (2016), foi coletado no Brasil em 2016 um total de 71,3 milhões de toneladas de RSU, dos quais 58,4% são destinados a aterros sanitários, 24,2% a aterros controlados e 17,4 % a lixões. Em meio a esse descarte de resíduos há a possibilidade de aproveitamento de resíduos orgânicos, os quais, após passar por um sistema de compostagem, podem ser utilizados como fertilizantes.

Paiva (2014) define a compostagem como um processo que tem por finalidade o tratamento de resíduos orgânicos, que pode apresentar menor custo em relação a outros tipos de tratamento. O adequado desenvolvimento desse processo depende de fatores que o influenciam, como a relação C/N (Carbono/ Nitrogênio), umidade, temperatura, aeração, pH e granulometria, que devem ser monitorados.

O sistema de compostagem, quando se considera uma empresa ou mesmo o aterro sanitário de uma cidade, pode contribuir para uma sustentabilidade calcada na reciclagem e reaproveitamento de resíduos e geração de fertilizantes orgânicos. Caso não reciclados, estes resíduos podem ser descartados na natureza de forma incorreta, ocasionando poluição ambiental. E o produto final da compostagem ainda ser fonte de renda para cooperados que trabalham em cooperativas dos aterros.

A relevância deste estudo se dá pela possibilidade em monitorar um processo de compostagem, com o uso de sensores capazes de fazer aquisição de dados em tempo real, possibilitando o tratamento adequado para acelerar o processo de decomposição e torná-lo mais eficiente.

1.1 JUSFICATIVA

Este trabalho se justifica pela crescente preocupação em tratar resíduos orgânicos. A compostagem destes resíduos minimiza a disposição dos mesmos em aterros. Para melhorar o andamento do processo de compostagem, a manutenção dos parâmetros como umidade, temperatura e oxigênio, proporciona a identificação de variáveis a serem corrigidas para a garantia da realização do processo no tempo adequado.

Dessa forma, a aquisição dos dados de forma automatizada possibilitou o acompanhamento 24 horas, a verificação de mudança de parâmetros e a causa dessas mudanças, além da capacidade em tomar decisões a cerca de medidas de correção dos parâmetros do processo, a fim de torná-lo mais eficiente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 *Objetivo Geral*

A pesquisa teve como objetivo geral monitorar, de forma automatizada, um processo de compostagem de resíduos orgânicos, com o uso de sensores capazes de realizar a aquisição de dados em tempo real para o controle de parâmetros previamente selecionados.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

A fim de atender ao objetivo proposto, alguns objetivos específicos foram estabelecidos:

- (i) Revisar a literatura sobre compostagem de resíduos orgânicos;
- (ii) Criar um sistema de automação capaz de realizar a leitura de dados do processo de compostagem;
- (iii) Montar leiras de compostagem, com aquisição de parâmetros manuais e automatizados, com resíduos coletados no aterro sanitário de Catalão;
- (iv) Adotar medidas de controle dos parâmetros apresentados;
- (v) Discutir o comportamento de cada parâmetro analisado, durante a decomposição da matéria orgânica.

O conteúdo dessa dissertação divide-se em quatro capítulos, sendo o primeiro a Introdução. O segundo capítulo aborda o referencial teórico sobre processos de compostagem e sustentabilidade ambiental. O terceiro capítulo apresenta os materiais e métodos usados na pesquisa. O quarto capítulo descreve os resultados obtidos através dos experimentos realizados no aterro sanitário de Catalão-Goiás e na Universidade Federal de Goiás. Por fim, seguem-se as considerações finais.

CAPÍTULO 2

REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico embasa o trabalho a partir de leituras e pesquisas realizadas sobre o assunto em questão.

2.1 Sustentabilidade Ambiental

A limitação dos recursos naturais está cada vez mais notória. Portanto, manter o aumento constante do consumo já não é tão relevante, referindo-se às questões ecológicas, ambientais e os impactos causados para atender toda essa demanda.

A sustentabilidade ambiental é a base para a estrutura da mudança de comportamento dos indivíduos que buscam alternativas de melhorar e aumentar a qualidade do meio ambiente. Já que suas escolhas e ações cotidianas corroboram para o agravamento da crise ambiental, buscar meios sustentáveis que implicam no cuidado através do consumo sustentável, descarte consciente e do tratamento dos resíduos é uma forma de praticar a sustentabilidade.

Ser sustentável não é uma via de regra, ou seja, nem sempre há obrigatoriedade, mesmo que algumas empresas e indivíduos, por mais que veem a todo tempo notícias como a poluição de lençóis freáticos pelo descarte incorreto do lixo, degradação da camada de Ozônio pela liberação de gases na atmosfera, principalmente o CO₂ e o consumo insustentável. Não há uma política pública acirrada que influencia ações empresariais e individuais que mudem a visão quanto à necessidade em equilibrar o consumo, o descarte, o tratamento dos resíduos e a promoção da sustentabilidade.

Uma política pública eficiente para chamar a atenção para a sustentabilidade ambiental é a Educação Ambiental. Ela provoca nos indivíduos reflexão, ação sobre seus

papéis e responsabilidades no que diz respeito à problemática dos resíduos, desempenhando, portanto, uma função decisiva no desenvolvimento sustentável. Nesse aspecto, alguns programas no Brasil têm buscado trilhar os caminhos da Educação Ambiental como um instrumento que possibilite a conscientização acerca dos problemas causados pelos resíduos sólidos. Com diferentes graus de desenvolvimento e resultado, programas diversos vêm sendo implantados por empresas municipais, órgãos do Poder Executivo local, ou mesmo por empresas privadas prestadoras de serviços no País, visando o cumprimento da sustentabilidade.

O conceito de sustentabilidade se refere à satisfação das necessidades das gerações presentes, sem afetar o suprimento das futuras. Isso começou a ser discutido a partir de conferências para tratar das atividades humanas e criar planos de ações ambientais na conferência de Estocolmo (1972) na comissão de Brundtland (1987), Rio (1992), Agenda 21, dentre outras.

Nas empresas a sustentabilidade ganhou espaço a partir do momento que John Elkington definiu o tripé da sustentabilidade (*Triple Bottom Line*), que consiste em manter uma relação com o meio econômico, ambiental e social (Elkington, 2004, 2012). Porém, há autores como Nascimento (2012) que reforça a importância em perguntar se é suficiente e qual o significado das três dimensões da sustentabilidade, que são: dimensão ambiental, que trata da capacidade que as empresas têm em produzir e manter a autorreparação; dimensão econômica, chamada eco eficiência, supõe o aumento da produção com inovação tecnológica que amplie a desmaterialização da economia; dimensão social, diz que em uma sociedade sustentável todo cidadão deve ter o necessário para manter uma vida digna e com padrões de desigualdade aceitáveis.

A questão da sustentabilidade coloca em discussão a capacidade que o ser humano tem em saber a importância de suprir suas necessidades com recursos retirados da natureza, sem esquecer ou ignorar o fato de que presente e futuras gerações também precisam e precisarão de tais recursos. Dessa forma, ações do governo, como a criação de leis, chamam a atenção de vários grupos sociais. Tornando as pessoas mais alertas aos problemas ambientais e sociais que se agravam a cada dia. Preocupados com isso, vários clientes optam por adquirir produtos ou serviços de empresas que pensam em um futuro sustentável, por meio da produção de sua própria energia, reaproveitamento de água, cuidado com o meio ambiente e o meio social. E também estão buscando ser sustentáveis em seu próprio ambiente, cuidando de resíduos de forma correta, praticando coleta seletiva e destinando-os a um local adequado.

A criação e a aprovação da Lei nº 12.305/10 do Decreto nº 7.404, de 23 de Dezembro de 2010, que prevê a responsabilidade entre empresas, governo e população,

pelos seus resíduos, dentre outros objetivos, visa o aproveitamento máximo dos resíduos e descarte em aterros sanitários somente de materiais sem nenhum tipo de finalidade.

Vários materiais são possíveis de reaproveitamento, como alumínio, plástico, papelão, vidros e resíduos orgânicos. De acordo com o Bruno et al. (2010), a criação de cooperativas é uma alternativa adotada por várias cidades com o objetivo de fazer a coleta seletiva. Porém, a maior parte dos resíduos recolhidos são os de fração seca possíveis de serem recicláveis e os resíduos orgânicos, na grande maioria, são descartados em aterros e lixões. Dessa forma, nota-se a necessidade em trabalhar a gestão correta desses resíduos.

2.2 Gestão de Resíduos

A gestão dos resíduos é um grande desafio para todas as cidades, devido às novas perspectivas ambientais e a grande necessidade em cuidar do solo, das águas, das matas, florestas e também da atmosfera. Blazy et al. (2015) ressalta que a emissão de odor proveniente das usinas de compostagem pode causar impacto significativo na saúde ambiental e prejudicar a qualidade de vida.

Assim sendo, torna-se essencial um bom gerenciamento de todas as operações que integram o processo de compostagem, a fim de minimizar os impactos causados ao meio ambiente. A gestão responsável pela transmissão de odor deve administrar corretamente as instalações de compostagem, a identificação das fontes de emissão, os níveis de confinamento, o recolhimento e o tratamento das emissões de gases no meio ambiente.

Para uma gestão eficaz dos resíduos é preciso a conscientização sobre o papel de cada um na sociedade, tanto de pessoas que produzem lixo doméstico quanto de pequenas e grandes empresas que devem ser responsáveis pelo descarte adequado, sendo possível a classificação quanto ao potencial de agressão ao meio ambiente e a sociedade (ABNT 10.004:2004). Porém, isso só se torna possível com a percepção dos problemas causados pelos resíduos condicionados de forma inadequada. Uma solução para mudar esse cenário é a implantação de programas de educação ambiental, que desperte em cada indivíduo a reflexão sobre o papel desempenhado para o desenvolvimento sustentável e qual a contribuição para a minimização dos problemas causados ao meio ambiente.

A gestão de resíduos sólidos possibilita a destinação adequada dos resíduos descartados, de forma a aproveitar e transformar em fonte de renda o que seria lixo. Isso torna possível o ganho não só para quem faz a devida transformação, mas também para o meio ambiente, sendo favorável em vários aspectos, incluindo o cumprimento da Lei nº 12.305/10.

Instituída pela Lei nº 12.305/10 e pelo Decreto nº 7.404, de 23 de Dezembro de 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) auxilia na solução de problemas ambientais, sociais e econômicos, com o auxílio da proposta de hábitos de consumo sustentável, propiciando o aumento da reciclagem, reutilização e o descarte ambientalmente correto para os rejeitos. Além de responsabilizar os geradores e titulares de resíduos sólidos pelo seu devido manejo, também contribui com a logística reversa desses resíduos. A lei ainda define em seu Artigo 3º:

Destinação final ambientalmente adequada, a destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa), entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. (BRASIL, 2010)

A Política Nacional de resíduos Sólidos cria metas para todos os níveis regionais, as quais contribuem para a eliminação de lixões e impõem a elaboração de planos de gerenciamento de resíduos sólidos para particulares. Também, faz a inclusão de catadores e catadoras no âmbito da coleta seletiva, traçando novos rumos para o descarte.

O aumento do poder aquisitivo do brasileiro proporciona maior obtenção de produtos e, em consequência, um maior descarte de resíduos, os quais necessitam de tratamento e direcionamento a locais adequados, para não acabarem jogados na natureza, poluindo e degradando o meio ambiente.

Uma solução para o destino dos resíduos sólidos orgânicos é o tratamento na forma de compostagem, que requer todo um sistema que pode envolver avançadas tecnologias ou mesmo o uso de simples técnicas. O que influencia nesse tratamento são as condições de espaço de trabalho, financeira para aquisição dos equipamentos e pessoal envolvido.

Os resíduos gerados pelo homem, em muitos casos, possuem valor comercial. Esse valor, quando trabalhado por meio de um manejo adequado e uma boa gestão, passa a ser tratado como fonte geradora de renda para alguns, em forma de matéria prima ou insumo.

Segundo o CEMPRE (*Review*, 2013), *apud* Ipea (2010), os resíduos orgânicos, que correspondem a 51,4% de todo o resíduo gerado, são descartados em aterros e lixões. Entretanto, um exemplo de como gerir esses resíduos de forma adequada é o tratamento através do processo da compostagem.

2.3 Compostagem

No cenário atual, no qual resíduos orgânicos e também outros tipos de resíduos estão sendo descartados de forma aleatória, Wang, Selvam e Wong (2016, p. 02) apontam que o desperdício de alimentos é o maior componente orgânico de resíduos sólidos urbanos em peso e se constitui, aproximadamente, de 14-70% em diferentes países. Conforme praticado em muitos países, o descarte de resíduos alimentares exige um tratamento que evite a emissão de gases de efeito estufa.

Araújo, Almeida e Basso (2015, p. 07) ressaltam que no Brasil “a população cresceu menos que o volume de resíduos sólidos por ela produzido”. Segundo esses autores, os resíduos sólidos gerados em restaurantes podem ser orgânicos (quando compostos por restos de alimentos e outros materiais que degradam) e inorgânicos (quando provêm de produtos industrializados, como alumínio, vidros, papelão e etc.). Assim, os resíduos alimentares incluem todos os resíduos utilizados no preparo da alimentação humana, seja em residências domiciliares ou restaurantes.

Quando produzido em grande escala, o processo produtivo de refeição contribui para a produção de quantidades consideráveis de resíduos sólidos. No Brasil, a maior parte dos aterros sanitários e lixões dispõem de resíduos alimentares indistintamente em suas áreas. Assim, a disposição, sem o devido tratamento, resulta em danos ambientais e é de suma importância mudar essa realidade, e a compostagem é uma alternativa em potencial. Grande parte desses resíduos é passível de reciclagem (PEDROSA et al, 2013).

Na visão de Loureiro et al. (2007), os resíduos orgânicos, tanto de origem comercial, industrial ou domiciliar que são descartados em terrenos baldios, ou são incinerados, não causam preocupação somente ao saneamento ambiental, mas também pelo desperdício de possíveis nutrientes.

A compostagem é um processo milenar de decomposição de matéria orgânica. É amplamente vista como um método econômico e ambientalmente sustentável de transformar materiais residuais em produtos comerciais (STOREY et al., 2015). Ela reduz o volume de resíduos em 40 a 50% e mata os patógenos pelo calor gerado no processo (XIAO et al., 2011).

Na visão de Matos et al. (2012), a compostagem é considerada uma das formas mais eficientes de reciclagem de resíduos orgânicos para uso agrícola. Além de apresentar baixo custo, gera vantagens para os seus usuários, tais como: acelera a decomposição da matéria orgânica; melhora as condições de atividade dos microrganismos; reduz o volume inicial de resíduos; não causa efeitos nocivos ao meio ambiente.

Sevik, Tosun e Ekinçi (2018, p. 07) apontam a compostagem como um método no qual microrganismos aeróbicos, mesófilos e termofílicos transformam a matéria orgânica em material higiênico estabilizado, maduro, desodorizado e livre de patógenos.

Budziak et al. (2004) definem a compostagem como um processo biológico aeróbio, que tem a ação de enzimas e microrganismos no material orgânico transformando-os em composto orgânico. Paiva (2014) afirma que é o tratamento de resíduos orgânicos mais utilizados no mundo, pode ocorrer em ambientes aeróbicos e anaeróbicos. Dessa forma, a compostagem de resíduos orgânicos é a transformação de material inutilizável pela população, em um material que, através da decomposição em ambiente aeróbico e do uso de técnicas monitoradas, tem como proposta o tratamento do que seria destinado a aterros sanitários ou lixões.

A compostagem atende aos preceitos da produção agrícola e animal sustentável, uma vez que proporciona o tratamento dos resíduos gerados nesses setores. É necessária uma valorização desses resíduos, pois o produto final melhora a qualidade do solo (ROSSINI-OLIVA; PE, 2017). Isto é possível transformando esse material em fertilizantes, além de também tirar do meio ambiente possíveis fontes de contaminação, como os dejetos não adequadamente utilizados. Esse processo é de fácil execução, menos dispendioso que outras técnicas de tratamento, reduz a emissão de gases do efeito estufa, a poluição de rios, nascentes e mananciais e transforma resíduo em matéria utilizável.

No processo de compostagem ocorre a transformação química da matéria orgânica pela ação microbiana. Na ocorrência desse processo há a liberação de calor, gerado pela ação dos microrganismos aeróbios, que atuando na faixa de 20 a 60°C completam um ciclo composto por diferentes tipos de bactérias, fungos e leveduras.

Esse ciclo, de acordo com Silva et. al. (2009), Xiao et al. (2011), é composto por três fases: na primeira, em um tempo que pode durar até 30 dias, o composto está imaturo ou cru. Nesse tempo há a reação ácida que produz toxinas, que em contato com as plantas, inibe a germinação e o crescimento das raízes; na segunda fase, que é a semicura ou bioestabilização, que pode também chegar a 30 dias, o composto deixa de ser tóxico; a terceira fase compreende o processo de maturação ou humificação. O ideal para a conclusão do processo de compostagem é um tempo de 30 a 60 dias para humificação e 90 a 120 dias para a bioestabilização, isso em um processo com reviramento.

Plachá et al. (2013) apontam que a produção e aplicação de compostos na agricultura constitui uma solução estratégica para o tratamento dos resíduos orgânicos. Para garantir as condições ideais em todo o processo, o procedimento de compostagem deve ser realizado obedecendo certos critérios, por exemplo, potencial hidrogeniônico (pH) , relação

C/N, temperatura, umidade, suprimento de oxigênio, de maneira que possa garantir um resultado eficiente.

2.3.1 Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)

A relação Carbono/Nitrogênio deve ser observada, levando em consideração seus parâmetros, visto que, esses contribuem com a devida concentração de nutrientes e energia necessários para o crescimento celular dos microrganismos. Kiehl (2001) salienta que a relação adequada deve ser entre 25:1 a 35:1, pois os microrganismos absorvem em uma relação adequada. Se sair dessa faixa e se elevar, o tempo de duração do processo de compostagem será maior devido a pequena quantidade de nitrogênio em relação ao Carbono. E se for baixa, o Nitrogênio em excesso será eliminado em forma de amônia (NH_3)

A representação do Carbono para a compostagem está relacionada à fonte de energia e do crescimento microbiano. Ele é liberado em forma de CO_2 e, quando submetido a condições aeróbias, se torna mais presente na fase termofílica. Ao longo de todo um processo de compostagem essa liberação vai diminuindo.

O Nitrogênio, de acordo com Batista e Batista (2007), representa a composição de elementos essenciais para o crescimento e funcionamento de células como os aminoácidos, as enzimas e coenzimas, proteínas e ácidos nucleicos. Dessa forma, manter a correta relação C/N é essencial para o bom trabalho dos microrganismos e para não ocorrer o mau cheiro, ocasionado pelo excesso de Nitrogênio. Assim, segundo Epstein (2011), é desejável que a razão adequada deve ser mantida, pois os microrganismos utilizam uma parte de N para cada 30 partes (peso) de C, ficando a razão de C/N (30:1), equilibrando o processo de compostagem, não deixando que ocorra perda de N em forma de NH_3 e nem perda de C em forma de CO_2 . Estabilizando assim o tempo de compostagem.

Para haver o equilíbrio necessário entre (C/N) é preciso adicionar ao processo de compostagem materiais que representam fonte de Carbono (vegetais secos, serragens, plantas, folhas) e fonte de Nitrogênio (restos de alimentos e esterco animal, misturados em uma proporção ideal para o alcance das características ideais do composto).

Dessa forma, percebe-se que a relação (C/N) influencia na qualidade do composto e no tempo que levará para completar o processo.

2.3.2 Temperatura

A temperatura é um dos principais fatores a serem monitorados, já que ao longo do processo ela apresenta variações que corroboram para o surgimento de determinadas populações, como fungos termófilos, actinomicetos e bactérias que geralmente crescem em temperaturas acima de 40 °C, conforme aponta Riffaldi et al. (1986).

De acordo com Loureiro et al. (2007), na compostagem há o desprendimento de gás carbônico, água e energia, parte desta energia é usada como fonte de crescimento e movimento pelo microrganismo e o restante é liberado como calor.

O aumento da temperatura limita a existência de populações, pois elas tendem a exaurir a uma temperatura superior a 70 °C, diminuindo a atividade biológica e aumentando o ciclo da compostagem. A introdução do oxigênio possibilita a aceleração da compostagem. Nesta fase chamada de termófila, há a reação de oxidação que só deixa de existir quando entra no processo de maturação do composto e perda de calor, passando para a fase mesófila, conforme mostra a Figura 1.

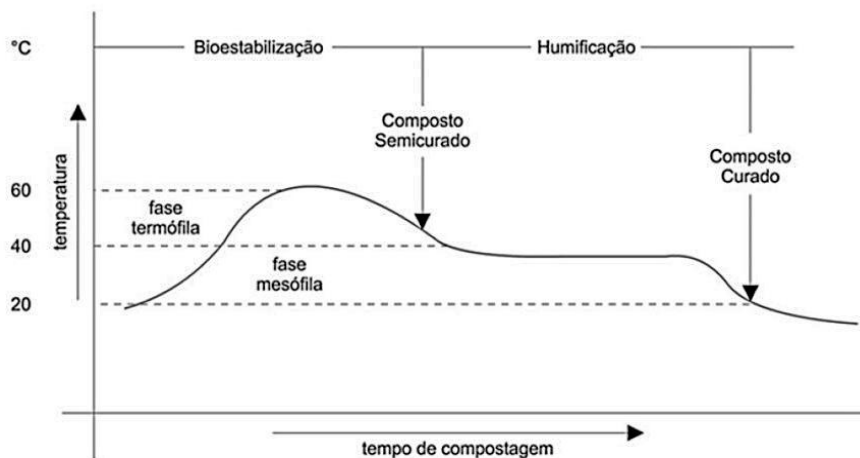


Figura 1 - Temperatura durante o processo de compostagem orgânica.

Fonte: D'Almeida e Vilhena (2000).

De acordo com Guardia et al. (2011), o material utilizado no processo de compostagem deve, ao final do processo, ficar em temperatura ambiente para que resulte na sanitização e secagem. Por ser a fase principal do processo de compostagem, a quantidade de gases emitidos durante esse processo deve ser monitorada.

2.3.3 pH (potencial Hidrogeniônico)

Além da temperatura, outro fator de influência na compostagem é o pH (potencial Hidrogeniônico). Ele sofre alteração durante o processo passando de ácido, na primeira fase, para básico na maturação, conforme Figura 2. O pH contribui em cada fase para disposição dos nutrientes. Beck-Friis et al. (2001) atribuem a acidez a presença de ácidos orgânicos como por exemplo o lático e o acético presentes nos principais materiais orgânicos colocados na leira. A Figura 2 apresenta a variação do pH durante um processo de compostagem.

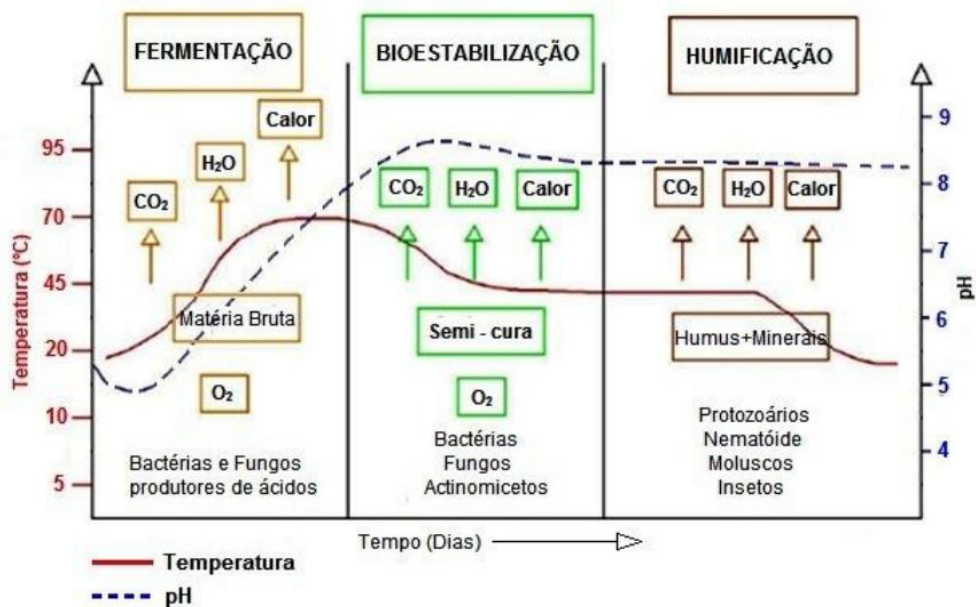


Figura 2 - Temperatura durante o processo de compostagem orgânica.

Fonte - Silva et al. (2009, p. 3).

Pereira Neto (2004) afirma que a melhor faixa de pH para a sobrevivência de bactérias é 6 e 7,5 e para fungos está entre 5,5 e 8,0. Diferente em cada fase, na primeira ele é ácido, formando ácidos orgânicos. Com o passar dos dias, os ácidos são metabolizados e tornam-se alcalinos até o fim do processo. A importância de seu monitoramento está no controle necessário à sobrevivência de fungos e bactérias característicos do material após a cura.

O processo de compostagem pode sofrer alterações em qualquer fase, devido à presença de microrganismos que influenciam o pH do material de compostagem. Com a

redução do pH no ambiente pode levar à inibição de atividades microbianas. Como consequências, podem-se incluir “decomposição lenta da matéria orgânica, estagnação e odor desagradável” (PLACHÁ et al. 2013, p. 04). O composto resultante desse processo, se aplicado ao solo, pode reduzir a germinação de sementes e prejudicar a agricultura.

2.3.4 Umidade

A água, no processo de compostagem, representa a garantia da formação da estrutura dos microrganismos, principalmente na primeira fase, pois é nessa que ocorre o crescimento dos organismos biológicos. Pereira Neto (2007) afirma que é necessário cerca de 40 a 60% de umidade para a estabilização das atividades microbianas.

Valores abaixo de 40% inibem a atividade biológica (Fernandes e Silva, 1999), diminuindo a velocidade de biodegradação. Sendo assim, algumas providências devem ser tomadas como a irrigação da leira, a começar das partes externas e, caso necessário, fazer o reviramento do material.

2.3.5 Aeração

A compostagem é um processo aeróbico. Seguindo esse conceito, observa-se a importância da aeração da massa de composto para satisfazer a demanda de oxigênio que alimenta a necessidade dos microrganismos. Se o sistema torna-se anaeróbico há a redução no pH e a atividade microbiana é limitada, o que dificulta a quebra dos ácidos orgânicos e o teor de desprendimento do gás sulfídrico e outros compostos como o enxofre atraem insetos para a leira.

Para que a aeração ocorra de forma adequada, é preciso monitorar o excesso de umidade que pode ocasionar a aglutinação das partículas impedindo a oxigenação da leira. Dessa forma, há o comprometimento do controle da temperatura no processo, pelo fato de diminuir a velocidade da compostagem, dificultar o controle de odores, presença de insetos e formação do chorume.

A aeração, além de exercer total influência nos microrganismos, contribui para o controle da umidade e temperatura. Portanto, constitui “um dos principais parâmetros no processo de decomposição da matéria orgânica” (FIGUEIRA JUNIOR, 2012, p. 14). É através do método de aeração que se definem os sistemas de compostagem.

Assim, vale ressaltar a influência e a importância da aeração em um processo de compostagem de resíduos orgânicos, já que essa possibilita o controle da temperatura, da umidade e em consequência o pH. Dessa forma, a escolha do tipo de aeração vai depender

de como será montada a leira de compostagem, os materiais, equipamentos e maquinários a disposição.

2.4 Processos de Compostagem de Resíduos Orgânicos

Os resíduos orgânicos possíveis de serem decompostos podem ser citados como os que fazem parte dos resíduos de jardins, de poda de árvores, restos de alimentos, de colheita, esterco de animal, lodo gerado na ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) e na ETA (Estação de Tratamento de Água), os quais passam por um processo de transformação bioquímica. Segundo Planeta Orgânico (2018), esse processo ocorre por milhões de microrganismos que têm como fonte de energia, carbono e nutrientes minerais e matéria orgânica *in natura*. Dessa forma, uma pilha de composto fornece as condições adequadas aos microrganismos para a degradação da matéria orgânica.

O processo de compostagem aeróbico acontece na presença do ar. Ao longo desse processo há a presença de calor, gás carbônico e material compostado. A qualidade do composto deve estar presente desde o início até o fim do processo, o que tudo depende diretamente do controle.

Esse controle vai depender do tipo de processo adotado para a compostagem. Silva e Fenandez (1999) citam três tipos de sistema de compostagem:

- Leiras Revolvidas: constitui no revolvimento da leira, com o auxílio de equipamentos simples como pá carregadeira. Há uma maior necessidade de espaço entre as leiras, o que requer mais atenção no monitoramento da aeração.

- Leiras Estáticas Aeradas: constitui num sistema de aeração forçada, no qual há tubos perfurados e posicionados na base da leira, com o propósito de satisfazer a demanda de oxigênio para controle da umidade e da temperatura.

- Sistema de reatores: constitui num sistema fechado no qual há um controle efetivo da aeração que é feita em função do oxigênio que sai do reator. Para o processo acontecer é colocada dentro do reator a matéria orgânica, lascas de madeira e composto maturado. O investimento é maior, há também dependência mecânica e tecnológica e menor flexibilidade operacional.

A escolha do processo a ser utilizado para um sistema de compostagem depende da capacidade de investimento inicial, da disponibilidade de pessoal para fazer análises e acompanhamento, além da dimensão da área. Percebe-se que o tipo de leira mais usada no processo de compostagem é o de leira estática aerada.

Leira Estática Aerada

O processo de compostagem pode ocorrer de forma natural, com o auxílio de um equipamento adequado para o revolvimento do material que o compõe ou pode também ser estática aerada, definida por Soares (2006) como aquela em que as leiras contêm tubos de ar perfurados, inseridos na leira de resíduos orgânicos.

Na visão de Paiva et al. (2012, p. 962), o “processo de compostagem por Leiras Estáticas Aeradas (LEAs) tem sido um dos mais difundidos para o tratamento de resíduos orgânicos”. A justificativa apresentada por esses autores é que esse processo de compostagem apresenta custos menores e maior eficiência na eliminação de patógenos contidos no material.

Nesse modelo apresentado na Figura 3, o fluxo de ar passa dentro dos tubos, no interior da leira, possibilitando o controle da temperatura e a umidade.

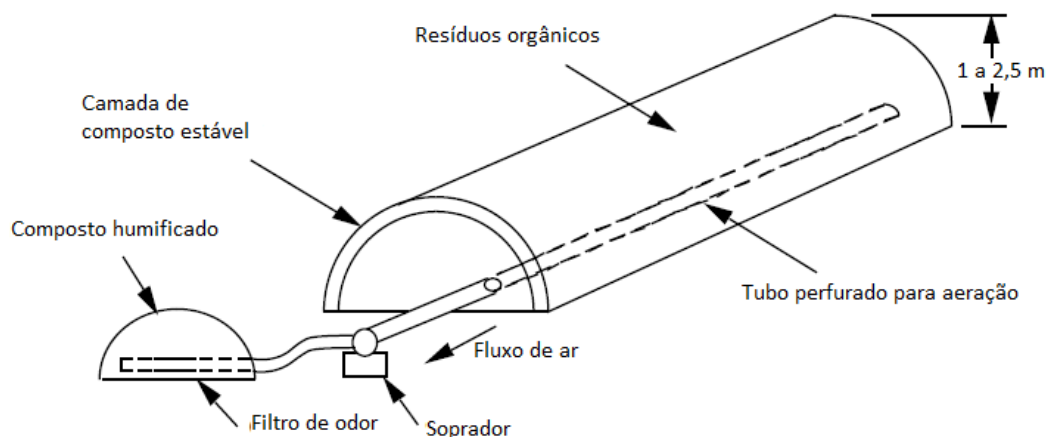


Figura 3 - Leira estática com aeração forçada.

Fonte - O'Leary, Walsh e Razvi (1989-1990).

A aeração possibilita a aerobiose e tem como objetivos resfriar o material em compostagem, remover odores através da ventilação, prevenir o umedecimento, ocorrido com a presença de fatores biológicos, secar adequadamente o composto, regular a temperatura.

2.5. Automação na Leira Estática Aerada (LEA)

A automação do processo de compostagem resulta em benefícios para o tratamento de resíduos sólidos, uma vez que permite uma compostagem mais acelerada e reduz consideravelmente o tempo de produção (FIGUEIRA JUNIOR, 2012). Muitas empresas adotam processos modernos de compostagem, visando melhorias em seu processo de reciclagem de resíduos sólidos.

Nesse sentido, torna-se urgente o desenvolvimento de tecnologias destinadas ao processo de compostagem, sob o ponto de vista ambiental e sanitário, a fim de aproveitar os resíduos sólidos para fins agrícolas. É imprescindível a criação de tecnologias mais acessíveis aos processos de compostagem, que possam promover a aeração do material reciclado (PAIVA, 2008).

Existem alternativas capazes de elevar a eficiência dos processos e a automação possibilita um ganho em produtividade e qualidade nos produtos ou serviços.

O uso de um sistema de automação na LEA possibilita a medição dos fatores que afetam diretamente o processo de compostagem, como a temperatura e umidade. Com sensores instalados na leira é possível obter informações e analisar qual o melhor método ou procedimento a ser adotado.

Pellini (2017) cita que um sistema de controle de processo é capaz de verificar seu próprio funcionamento, efetuando medições e até aplicar métodos corretivos, com ou sem a interferência humana. Na LEA o sistema adotado é capaz de medir a temperatura no interior da leira e, se acima do ideal, acionará o ventilador instalado no processo que fará controle automático da temperatura, por meio da insuflação de ar no tubo instalado no interior da LEA.

Com o sistema de automação, todo o processo de compostagem será melhorado, por fazer correções automáticas e levantar informações precisas do comportamento e das mudanças ocorridas na LEA ao longo do processo. A compostagem de resíduos orgânicos decomporá o material transformando-o de forma mais eficiente, rápida e corroborará com a sustentabilidade ambiental.

2.6 Compostagem de Resíduos Orgânicos e a sustentabilidade ambiental

A compostagem é a forma mais eficiente de tratar e aproveitar resíduos que não são considerados como lixo, por apresentarem valor econômico. Inácio e Miller (2009) definem a compostagem como um processo passível de ser controlada que tem como característica a decomposição feita por meio de microrganismos. Na visão de Pedrosa et al. (2013), o

processo de compostagem surge como uma das formas mais eficientes de solucionar a problemática ambiental, uma vez que reduz o volume de resíduos sólidos orgânicos descartados no meio ambiente.

O processo de compostagem eficiente, segundo Pereira Neto (2007), apresenta uma redução média de 40% da quantidade inicial de sólidos. Essa redução acontece devido ao contato do material com diversos microrganismos presentes no processo.

Quando se adota um sistema de compostagem de resíduos orgânicos como forma de tratamento dos materiais descartados, adota-se também a sustentabilidade ambiental. Com essa prática são retirados do meio ambiente, resíduos que causariam transtornos, alguns até irreversíveis. A compostagem dos resíduos orgânicos sem tratamento é responsável pela liberação de gases que contribuem para o efeito estufa. O tratamento adequado desses resíduos influencia na sustentabilidade ao passo que, gera empregos, diminui a emissão CO₂, produz adubo orgânico de qualidade, minimiza a quantidade de material descartado em aterros.

A sustentabilidade é perceptível partir do momento que reduz a quantidade de CO₂ eliminado na atmosfera, por via da composição controlada dos resíduos, diminuição de poluição do lençol freático, por não ter contato com tantos dejetos orgânicos, diminuição de poluição das matas, rios, córregos, ar e também diminuição de matérias que não são considerados lixo, pois têm valor econômico, porém são destinados a aterros ocupando lugar do que realmente é lixo.

Essa prática, além de cuidar do meio ambiente, cuida do lado social. Para ter a matéria da compostagem as pessoas precisam ser orientadas a separarem seus resíduos. Assim, conhecem novas práticas de reutilização, recebem uma educação ambiental voltada para o presente e futuro, visando garantir a sustentabilidade das gerações que estão por vir.

A prática econômica orienta empresas, através de legislações, a cuidarem e tratarem seus resíduos e não permite descarte de qualquer forma, garantindo o uso eficiente e a possibilidade de reaproveitamento dos recursos.

O resultado do processo de compostagem é um material composto por nutrientes possíveis de serem utilizados em diversos tipos de cultivo. Silva et. al. (2009, p. 6) relatam que “ao fim do processo obtém-se o húmus (matéria orgânica elaborada) e nutrientes mineralizados, que é um material amorfo, com cheiro de “terra molhada””.

O húmus tem características capazes de condicionar o solo para o plantio através de suas propriedades indispensáveis em uma produção agrícola:

- Físicas: capazes de melhorar a infiltração da água pelo solo; com a melhora da estrutura, a compactação se torna menor.
- Químicas: melhora o pH e contribui na correção de solos ácidos; fornece nutrientes ao solo.

- Biológicas: inibe a presença de ervas daninhas e doenças no solo; tem a junção perfeita da quantidade de Carbono e Nitrogênio (C/N).

O resíduo tratado ou composto orgânico deve atender padrões sanitários no intuito da disposição segura no solo, pois ele é um reservatório de patógenos que tem seu tratamento garantido por via exposição em alta temperatura por um determinado tempo eliminando fontes inseguras de microrganismos.

Contendo características ideais, nota-se que a produção de resíduos através da compostagem orgânica proporciona um destino adequado aos resíduos, que vem aumentando com o crescimento da população mundial e do poder de compra. De acordo com Inácio e Miller (2009), o composto pode ser usado em conjunto com fertilizantes químicos ou mesmo usado em longos períodos e substituí-los. O sucesso de uso vai depender de fatores como clima, cultura, condição do solo, temperatura e quantidade de composto a ser usado.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Para consecução deste experimento foram utilizados materiais adquiridos com recursos de convênio e resíduos descartados, no aterro sanitário, como restos de alimento e poda de árvores. Para a obtenção de parâmetros necessários para uma compostagem eficiente, utilizou-se um sistema de medição automatizado.

3.1 Materiais

O experimento foi realizado em duas etapas: a primeira foi a montagem de uma Leira Estática Aerada (LEA 1), a aquisição de seus dados foi realizada de forma manual. A segunda etapa consistiu na montagem de uma Leira Estática Aerada (LEA 2) automatizada, na qual a aquisição de seus dados ocorreu de forma automática.

Em ambas as LEA's foi utilizado um ventilador centrífugo (motor elétrico de 5 HP de potência) que tem a capacidade de exaurir e insuflar, Figura 4



Figura 4 - Ventilador centrífugo.

Fonte: Autora, 2019.

O ventilador pode ser controlado manualmente, por estar ligado a um inversor. De acordo com Paiva (2014), manter uma média de temperatura em torno de 55 a 60 °C em toda a massa de compostagem garante a eliminação de microrganismos patogênicos. O funcionamento do ventilador permite o controle da temperatura e também da umidade do composto.

O uso do ventilador na insuflação de ar é essencial para o controle de fatores que influenciam no processo de compostagem.

Nas duas leiras, para a condução do ar insuflado, até o interior da leira, foi usado um tubo de PVC azul de 4", rígido com parede interna lisa, com furos, ao longo do tubo, para facilitar a inserção de ar.



Figura 5 - Tubo de PVC perfurado.

Fonte: Autora, 2019.

Para a medição da temperatura na LEA 1 foi utilizado um termômetro digital portátil de precisão RTD (PT 100) com sensor de imersão modelo TP-100, conforme Figura 6.



Figura 6 - Termômetro digital portátil com sensor de imersão modelo TP-100

Fonte: Autora, 2019.

3.1.1 Materiais usados na LEA 2

Na montagem e aquisição de dados da LEA 2 automatizada, além dos materiais já citados, foram utilizados equipamentos que proporciona a aquisição de dados de forma automática.

A automação da LEA 2 teve o objetivo de dinamizar o processo e obter informações precisas após medições constantes. Em contato com essas informações foi possível estabelecer qual procedimento a ser adotado. Um desses é o acionamento automático do exaustor que insuflará a leira quando atingir uma temperatura acima de 60 °C.

Júnior (2012) afirma que a automação na LEA contribui com a aceleração da compostagem e a redução do tempo gasto na produção. Porém, Paiva (2014) afirma que aeração por insuflação apresenta queda excessiva de temperatura e em consequência a necessidade de correção do conteúdo de água, conforme foi citado anteriormente.

Para a automação do processo e da obtenção de informações do mesmo, bem como o acionamento automático do ventilador, foi necessário utilizar um sistema capaz de identificar os dados e transformá-los em informações possíveis e viáveis de interpretar.

Para a aquisição e controle desses dados foi utilizado um sistema modular *National Instruments*. Esse sistema é composto por um chassi CompactDAQ que controla a transferência de dados entre os módulos, a sincronização e a temporização, além de

possibilitar a conectividade *Wi-Fi*, USB ou Ethernet para diferentes quantidades de *slots*, um bloco de terminais NI 9923 com terminais de parafuso que permite a conexão ao módulo por dois parafusos *thumbscrew* e quatro parafusos fixos para fixar a tampa, permite a melhor conexão de fios, com um módulo NI-9205 de entrada de 4 faixas programáveis, analógicas *single-ended* ou diferenciais, de tensão da Série C, ± 10 V, 250 kS/s, 16 bits, 32 canais como pode ser observado na Figura 7.

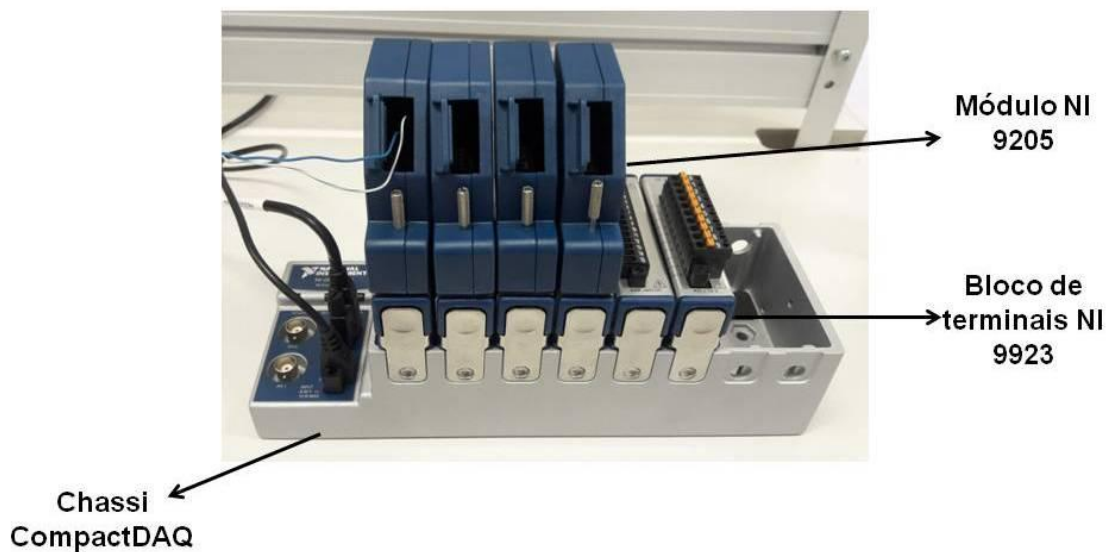


Figura 7 – Componentes para aquisição de dados.

Fonte: Autora, 2019.

Junto a este sistema foram usados sensores capazes de medir os parâmetros de interesse no processo de compostagem.

Os sensores foram instalados na LEA 2 com o intuito de medir as grandezas físicas envolvidas em todo o processo. Cada sensor possui uma determinada especificação técnica.

3.1.1.1 Sensor de umidade

O sensor de umidade utilizado foi o YL-69, que opera em uma tensão de 1,8 V a 5 V, varia de 1,8 V para úmido e 5 V para seco. O módulo sensor tem saídas digital e analógica e

é dividido em duas sondas que realizam a medição da umidade após auferir a corrente nas mesmas. A Figura 8 representa um dos sensores de umidade que foram usados no experimento.

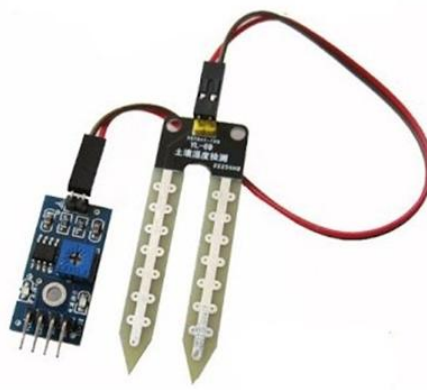


Figura 8 – Sensor de umidade YL69.

Fonte: Autora, 2019.

3.1.1.2 Sensor de temperatura

O sensor PT-100 usado no experimento é um tipo de termorresistência que possibilita a medição da temperatura a partir da variação da resistência elétrica, junto a eles são utilizados transmissores de temperatura com saída de 4 a 20 mA. Com isto, ao passar por um resistor previamente dimensionará a saída. Varia de 1,88 V para temperatura de 0 °C a 9,4 V para 100 °C.

A escolha deste sensor se justifica pela precisão e estabilidade apresentada em diversas bibliografias. Esse sensor é adequado para o experimento por operar em uma faixa que atende o necessário na medição dos parâmetros do processo, auxiliado por uma pastilha, de transmissor digital TxBlock, que transforma o sinal de tensão dos termopares em um sinal de 4 a 20 mA . A Figura 9 mostra sensores usados.



Figura 9 – Sensor de temperatura PT-100.

Fonte: Autora, 2019.

3.1.1.3 Sensor de oxigênio

O $\text{Me}_3\text{-O}_2$ é um sensor eletroquímico que detecta a concentração de oxigênio no ar. Ele opera com uma tensão de alimentação de 3,3 V a 5 V, necessita de um tempo de pré-aquecimento de 20 minutos antes de iniciar as medições.

A escolha deste sensor se justifica pela alta sensibilidade e precisão quando colocado exposto ao ar. A Figura 10 mostra o sensor.

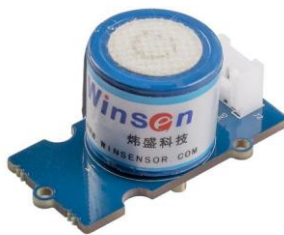


Figura 10 – Sensor de oxigênio MQ-4.

Fonte: Autora, 2019.

A saída deste sensor se dá em milivolts e por isto deve se construir um amplificador com não inversor, conforme Figura 11.

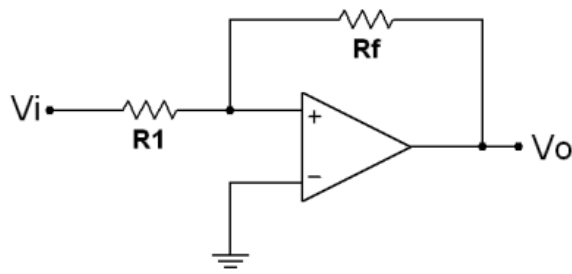


Figura 11 – Diagrama do circuito dos sensores de oxigênio.

Fonte: Wendling (2010, p. 11)

3.1.2 Circuito de monitoramento e controle

A montagem dos circuitos que fazem as conexões dos sensores ao sistema modular de aquisição de dados foi realizada com a utilização de dois *protoboards*: uma *protoboard* de 830 furos para aquisição de sinal de sensores de umidade e temperatura e outro *protoboard* MP-1680 furos para sensores de oxigênio. Nas placas foram conectados cabos metálicos para interligar eletricamente os componentes e fazer a aquisição de sinal em tensão.

O *protoboard* de 830 furos contém circuitos eletrônicos que atendem a dois tipos de sensores:

- a) Sensor de umidade: foram utilizados 4 sensores. Para cada sensor a montagem do circuito requereu a conexão de cabos positivos, negativos e sinal. A alimentação se dá com fonte de 5 V.
- b) Sensor de temperatura: foram utilizados 6 sensores. Para cada sensor a montagem do circuito requereu a conexão de cabos positivos, negativos, sinal e resistor de 100Ω. A alimentação se deu por meio de uma fonte de 19 V.

Para a aquisição de sinal do sensor de oxigênio foi utilizado o *protoboard* MP-1680 furos. Foram conectados 3 sensores de oxigênio. Para cada sensor a montagem do circuito requereu a conexão de cabos positivos, negativos e sinal, dois resistores de 100Ω, dois resistores de 20k, alimentação pela fonte PS 5000 e um amplificador de sinal UA 741.

Com materiais disponíveis o próximo passo foi definir métodos capazes de favorecer a aquisição dos parâmetros do processo de compostagem.

3.2 Métodos

A realização da pesquisa experimental oferece flexibilidade na coordenação das variáveis, sendo possível a tomada de ações que estimule o processo e facilite o controle para o alcance do objetivo esperado.

A realização de experimentos expira cuidados quanto aos métodos adotados na consecução dos estudos. Nesta pesquisa alguns métodos foram adotados com o intuito de cumprir o necessário para a obtenção dos resultados esperados.

3.2.1 Métodos adotados na montagem das leiras

A montagem das leiras de compostagem requer uma quantidade exata de substrato e resíduos sólidos orgânicos. Para o cálculo dessa quantidade foram seguidas as orientações de Richard e Trautmann (2005), os quais determinam parâmetros a serem estabelecidos para a formulação e monitoramento da compostagem, como relação C/N. Para esse cálculo é necessário conhecer as características químicas de cada material e substrato, conforme Tabela 1.

Tabela 1- Características químicas do material e substrato utilizados para compostagem.

Resíduos	Carbono (%)	Nitrogênio (%)	C/N	Teor de matéria Seca (%)
Restos de Comida	453,7	29,7	15/1	20
Resíduos de Poda	513	11	47/1	71

Fonte - Adaptado de Prampolim, Macedo e Gonzalez, (2015) e Loureiro et al. (2007).

Após a identificação da quantidade de material rico em Nitrogênio e o levantamento das características químicas de cada um, deve-se estabelecer a quantidade de substrato, seguindo o cálculo da quantidade rica em Carbono. Richard e Trautmann (2005) estabeleceram a Equação 3.1, com isso observa-se o necessário para a consecução do processo.

$$Q_2 = \frac{(Q_1)(N_1) \left(R - \frac{C}{N_1} \right) (MS_1)}{(N_2) \left(\frac{C}{N_2} - R \right) (MS_2)} \quad (3.1)$$

Q_2 = quantidade (kg) do material (substrato);

Q_1 = quantidade (kg) do material (resíduo orgânico – quantidade já estabelecida);

N_1 = teor de N na matéria seca (resíduo orgânico);

N_2 = teor de N na matéria seca (substrato);

R = relação C/N da mistura;

C_1 = teor de C na matéria seca (resíduo orgânico);

C_2 = teor de C na matéria seca (substrato);

MS_1 = teor de matéria seca (%) (resíduo orgânico);

MS_2 = teor de matéria seca (%) (substrato);

Estabelecida a proporção adequada de material e substrato para montagem da leira é imprescindível a confirmação da relação C/N. Richard e Trautmann (2005) salientam que a relação adequada é de 30/1. Utilizando a fórmula apresentada pelo autor, é possível verificar se a quantidade inicial usada na montagem da leira é a ideal. Conforme equação 3.2.

$$R = \frac{[(Q_1)(C_1)(MS_1)] + [(Q_2)(C_2)(MS_2)]}{[(Q_1)(N_1)(MS_1)] + [(Q_2)(N_2)(MS_2)]} \quad (3.2)$$

Nas duas leiras, para a condução do ar insuflado, até o interior da leira, foi usado um tubo de PVC azul de 4", rígido com parede interna lisa. Foram feitos furos de acordo com o que recomendam Friesen e Huminicki (1987) *apud* Navarro e Noyes (2001), que a perfuração seja acima de 15% da área total da superfície (Figura 7).

Para evitar o entupimento dos furos e melhorar a distribuição do ar insuflado foi colocada uma camada de cobertura de brita 1 sobre toda a extensão do tubo (Figura 12).



Figura 12 - Cobertura do tubo com brita.

Fonte: Autora, 2019.

A sequência da montagem das leiras de compostagem foi seguida de acordo com recomendações de Nunes (2009), conforme Figura 13, adotando a seguinte sequência:

- Primeira camada de 15 cm composta por poda de árvore e umedecida.
- Segunda camada de 5 cm composta por restos de alimento e umedecida.
- Terceira camada de 15 cm composta por poda de árvore e umedecida.
- Repete-se a sequência até ser colocada a última camada de restos de alimento. Por último, cobriu-se a leira com serragem, a fim de evitar a liberação de mau cheiro e a atração de vetores.

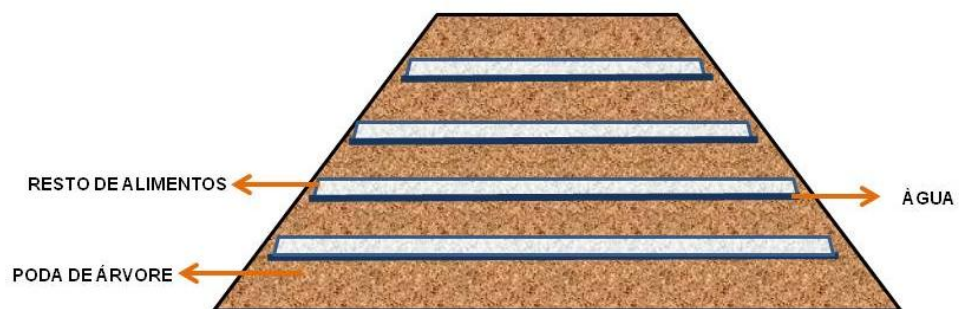


Figura 13 - Sequência de montagem da leira.

Fonte: Autora, 2019.

Após a montagem da leira é necessário o monitoramento, por via de medição da umidade adequada, ou seja, entre 40 e 60%. O composto não deve ficar encharcado, pois há possibilidade de compactação e diminuição de atividade das bactérias e nem deve ficar ressecada. Paiva (2008), trabalhando com compostagem de carcaça de frango com aeração forçada, notou ressecamento da massa, para correção desenvolveu um dispositivo no qual o ar passava dentro de um galão com água e saía umedecido, corrigindo, deste modo, o teor de umidade da leira.

3.2.2 Métodos adotados na montagem da leira estática aerada (LEA 2)

Para a aquisição de parâmetros do processo de compostagem experimental – LEA 2, foi utilizado o Labview[®], licença de uso da Universidade Federal de Goiás. Seu emprego é justificado por ser uma plataforma conhecida na aquisição, análise, armazenamento e controle de dados.

O programa desenvolvido tem o propósito de medir a temperatura, oxigênio e umidade ao longo da LEA 2, com a finalidade de obter dados de todo o processo. Assim, na Figura 14 se apresenta uma vista panorâmica do sistema no qual é possível observar a vista do painel frontal do programa utilizado.

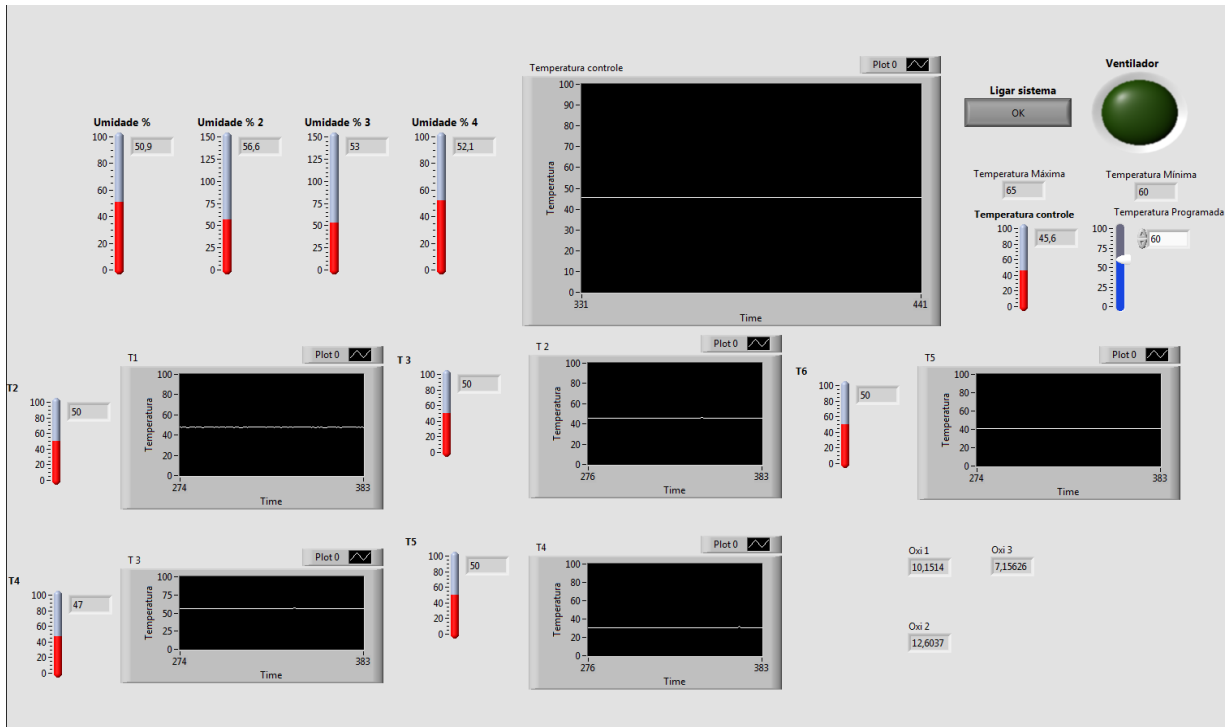


Figura 14 – Vista do painel frontal do programa desenvolvido.

Fonte: Autora, 2019.

Além do painel frontal há também o diagrama de blocos. Nele é possível visualizar o código do programa criado, as caixas de comando, as entradas e saídas. Para o programa desenvolvido é possível observar na Figura 15 as entradas e saídas que originaram o painel frontal.

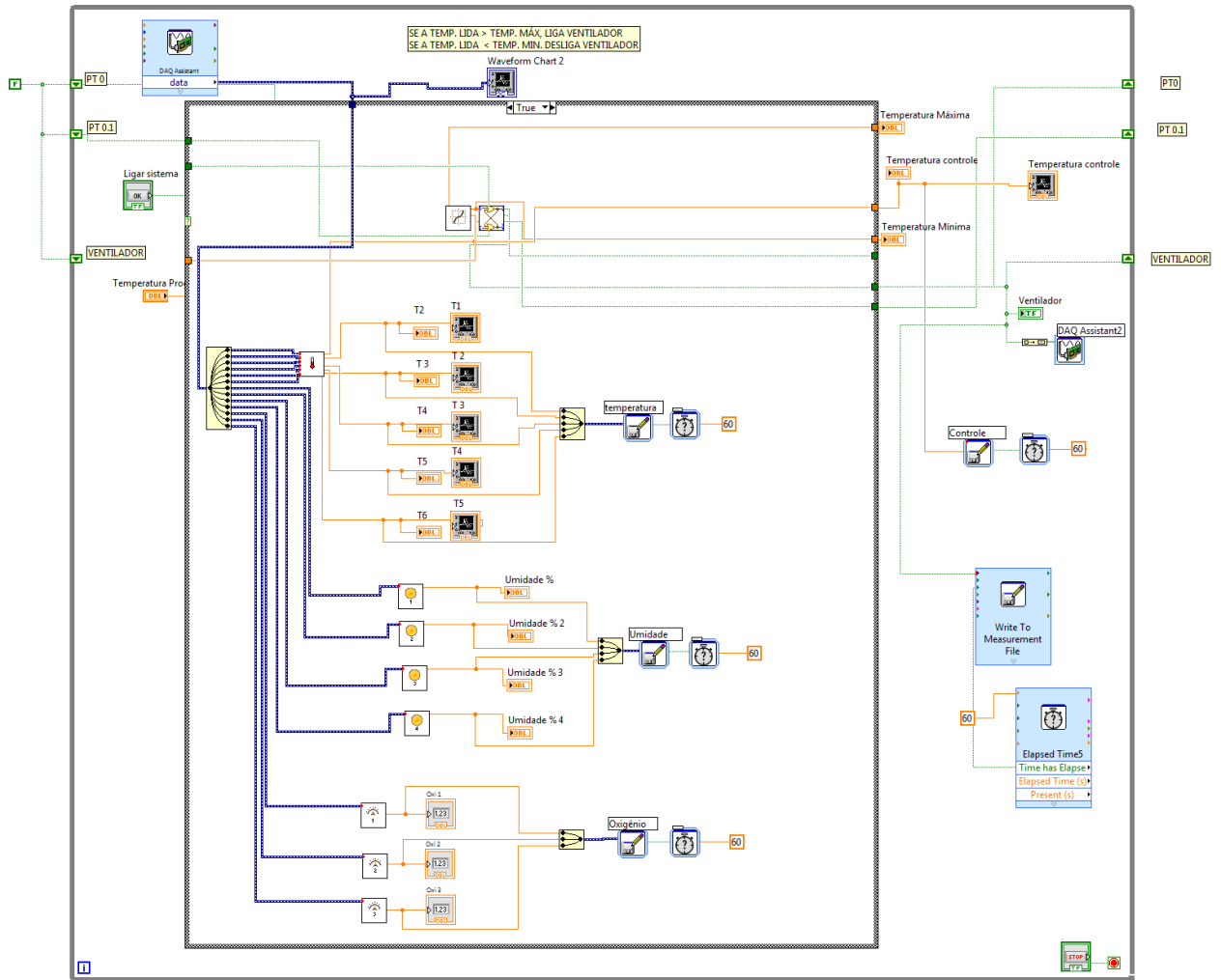


Figura 15 – Vista do diagrama de blocos do programa desenvolvido.

Fonte: Autora, 2019.

Para cada sensor programado foi necessário criar Sub-VI's que juntos fazem a aquisição dos dados.

O sensor PT-100 mede a temperatura baseado na resistência. Dessa forma, para a conversão do sinal em °C fez-se um programa (VI) que subtrai a voltagem mínima equivalente a 0°C e multiplica pela razão de temperatura por volt, conforme mostra figura 16

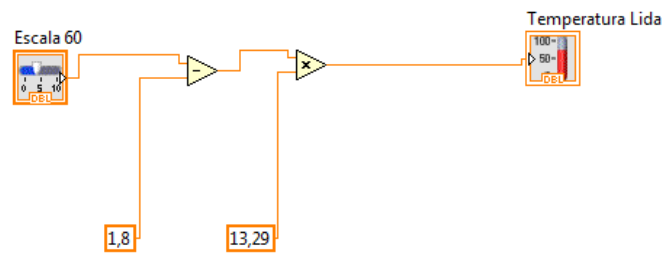


Figura 16 - Sub-VI do sensor de temperatura.

Fonte: Autora, 2019.

O sensor de umidade YL-69, opera em tensão. Na criação do Sub-VI foi subtraído o valor máximo de tensão e multiplicou-se pela razão da subtração de valores máximo e mínimo de % pelo mínimo e máximo da voltagem, conforme mostra a figura 17.

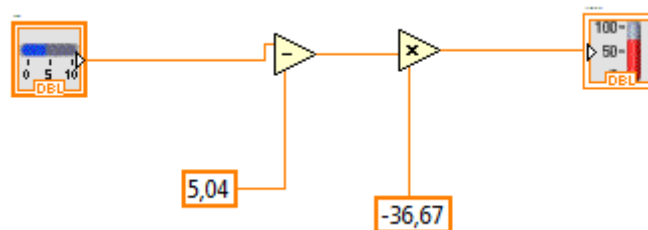


Figura 17 - Sub-VI do sensor de temperatura.

Fonte: Autora, 2019.

O sensor $\text{Me}_3\text{-O}_2$ é um sensor eletroquímico. Para a criação de seu VI foi necessário fazer uma curva de calibração, utilizando o equipamento Testo 350. Os dados das medições foram colocados em um gráfico e assim foi possível conhecer a função e usá-la em uma fórmula para gerar os dados em % de oxigênio, a Figura 18 apresenta o Sub-VI.

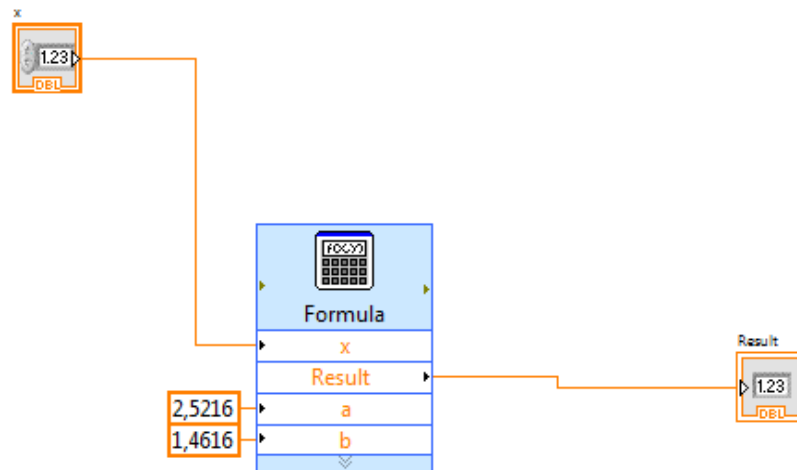


Figura 18 - Sub-VI do sensor de oxigênio.

Fonte: Autora, 2019.

Além da aquisição de dados, o programa criado no Labview foi configurado para acionar o ventilador em relação ao aumento da temperatura. Para isso, foi feita a conexão no sensor de temperatura no ponto 2 da leira. A escolha deste ponto se deu pela quantidade maior de resíduos que se concentram no meio da leira. Assim, a programação apresentou-se da forma esquematizada na figura 19.

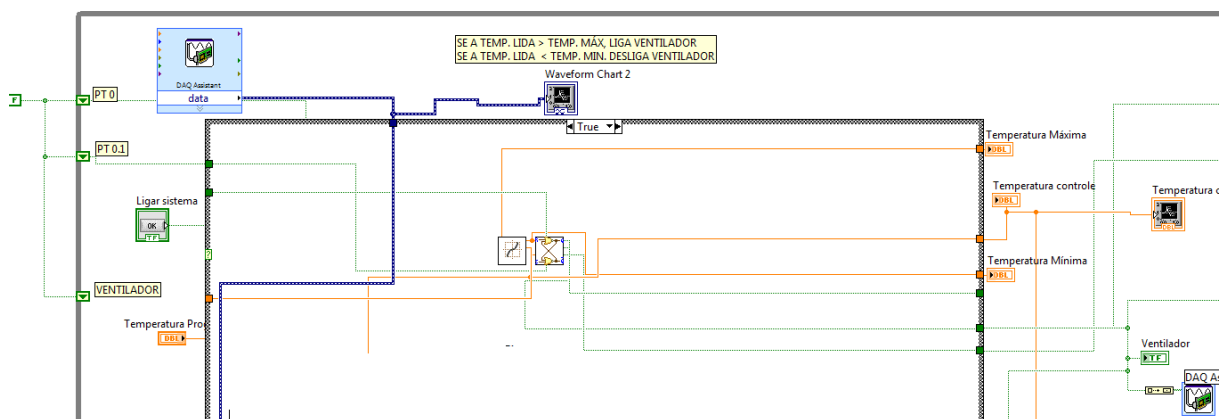


Figura 19 - Programação de acionamento do ventilador.

Fonte: Autora, 2019.

Foi estabelecido que se a temperatura alcançasse 65°C o ventilador seria acionado e quando a temperatura (mínima) baixasse para 60 °C ele seria desligado.

Para a aquisição de dados em formato de Excel, foi usada uma ferramenta *Elapsed Time*, que temporiza a frequência da aquisição dos dados e o *Write to Measurement File*, conectados ao sinal de cada sensor. A Figura 20 apresenta um esquema desta ferramenta.

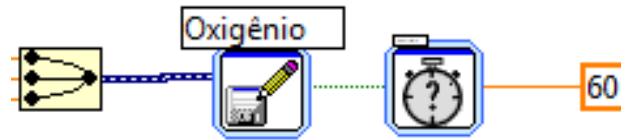


Figura 20 - Ferramentas para aquisição de dados.

Fonte: Autora, 2019.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta como resultados obtidos: a coleta de resíduos, as etapas de montagem das leiras, definição de pontos de coletas de dados e a discussão da realização do monitoramento de forma manual (LEA 1) e de forma automatizada (LEA 2).

4.1 Montagem das leiras estáticas aeradas

A montagem das leiras teve o intuito de fazer o levantamento do comportamento das leiras ao longo do processo de compostagem. Duas leiras foram montadas, uma monitorada manualmente e outra a partir do uso de sensores.

Montagem da leira estática aerada (LEA 1)

O experimento foi realizado em um espaço cedido pelo secretário do Meio Ambiente do município, no aterro sanitário, situado na GO 210 Km 05, Catalão – GO. Construído no ano de 2003, o aterro foi projetado seguindo técnicas que asseguram a saúde pública e o meio ambiente. Vários tipos de resíduos são depositados diariamente, cada um possui destino específico e área reservada para acomodação e tratamento devido, como o galpão de usina de reciclagem, galpão de lixo eletrônico, trincheiras impermeabilizadas com manta

para disposição de resíduos sólidos, “bota-fora” de resíduos de construção civil, podas, capinas e roçagem, incinerador de resíduos de saúde e lagoas de recebimento de chorume.

O espaço foi cedido pela Prefeitura Municipal de Catalão, como parte do Convênio 449/2013, celebrado entre a UFG/FUNAPE e a Prefeitura Municipal de Catalão. O recurso possibilitou a construção de um galpão aberto, com dimensões de 15 m x 8 m de área coberta, conforme Figura 21.



Figura 21 - Galpão para montagem das leiras.

Fonte: Autora, 2019.

Para a construção da área foram tomadas algumas medidas como a leve inclinação do piso. Assim, haja chorume, este não empoçar a leira. Também, houve o uso de lona plástica impermeável para proteger o solo, conforme mostra a Figura 22.

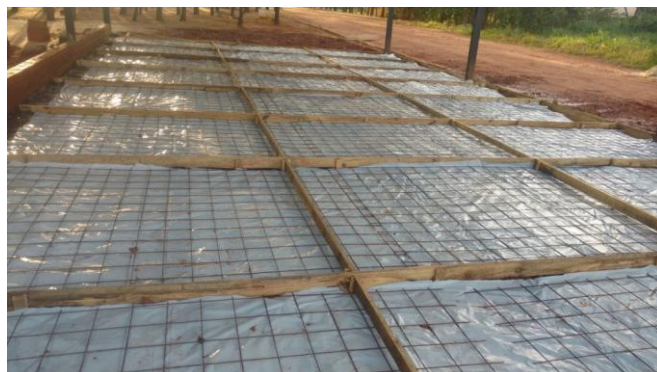


Figura 22 - Estrutura do piso da área para montagem das leiras.

Fonte: Autora, 2019.

Com o galpão construído, garantindo um espaço adequado e protegido da chuva e do sol, foi possível montar uma leira, utilizando podas de árvores que são feitas pela prefeitura e trituradas em tamanhos variados antes do descarte, restos de alimentos descartados no aterro por restaurantes e serragem coletada em madeireira e marcenaria da cidade. A escolha destes resíduos se deu pela observação da quantidade diária de cada resíduo descartado no aterro.

A leira estática aerada (LEA 1) foi montada com seção transversal trapezoidal, medidas de 2,5 m de base maior, 1,5 m de base menor e 1 m de altura e 4 m de comprimento, onde foram colocados os resíduos orgânicos. Os substratos foram distribuídos em camadas, alternando as fontes de carbono (15 a 20 cm de poda de árvore) e nitrogênio (5 a 7 cm de restos de alimento), conforme recomendações de Nunes (2009).

Na montagem da LEA deve-se tomar o cuidado de colocar os materiais em camadas, de forma ordenada, iniciando pelo substrato, regando e seguindo com restos de alimentos, conforme mostra Figuras 23.



Figura 23 - Sequência de montagem da leira 1 – substrato.

Fonte: Autora, 2019.

Depois de colocada a primeira camada, segue a montagem com resíduos orgânicos até completar a quantidade necessária para a realização do processo (Figura 24).



Figura 24 - Sequência de montagem da leira 1 – resíduos orgânicos.

Fonte: Autora, 2019.

A montagem da LEA 1 empregou um total de 2.270,65 kg de resíduos orgânicos (restos de comida), 1.530 kg de substrato (poda de árvore), estabelecidos de acordo com Richard e Trautmann (2005), e 200 kg de serragem que serviu como camada externa, usada como filtro para inibir mau cheiro e evitar a aglomeração de insetos ao longo da leira. Toda a leira foi montada em formato trapezoidal, com 1 metro de altura e 4 metros de comprimento, e está mostrada na Figura 25.



Figura 25 – LEA 1 montada.

Fonte: Autora, 2019.

Pereira Neto (2007) salienta que, em razão da temperatura ser um dos principais parâmetros que influencia o processo, esta deve ser medida de forma criteriosa nos principais pontos da leira.

Paiva et al. (2012) cita que o reviramento da leira se inicia com a retirada de 15 cm de camada superficial, que geralmente apresenta temperatura ambiente e sofre influência das condições climáticas. Esse material deve ser passado para o interior da leira e entrará em contato com altas temperaturas, contribuindo para a eficiência do processo.

Na maioria dos trabalhos tidos como referência, o processo de compostagem com medição de parâmetros manuais, requer em torno de 30 a 60 dias para humificação e 90 a 120 dias para a bioestabilização. Assim, Wang et al. (2011) e Paiva (2008) destacam que em seus trabalhos de compostagem com carcaça de frango, encontraram a redução de 17% na concentração de sólidos voláteis em 18 dias de processamento e de 21,9% a 28,8% em 45 dias. Paiva (2008) ainda salienta que o uso da LEA é satisfatório, por apresentar qualidade sanitária após 49 dias de tratamento.

Monitoramento da temperatura

A temperatura é um parâmetro essencial no processo de compostagem. De acordo com cada fase da compostagem, ela sofre variações e também indica atividade dos micro-organismos. A temperatura de todo o processo montado no aterro foi medida em pontos

diferentes na leira. Para a marcação dos pontos monitorados foram colocados tubos de PVC azul.

Para aeração, em um tubo de comprimento de 4 m, usado na LEA 1, foram feitos um total de 80 furos de 8 mm de diâmetro, distribuídos ao longo do tubo na parte superior e lateral, o que representa 0,8 m perfurados, ou seja, 16% da área total, conforme recomenda Friesen e Humnicki (1987) *apud* Navarro e Noyes (2001).

No ponto 1 (próximo ao topo da leira e lateral) o tubo foi colocado a 70 cm acima da base da leira; no ponto 2 (centro da leira) o tubo foi colocado a 10 cm acima da base; no ponto 3 (meio da leira e lateral) o tubo foi colocado a 40 cm acima da base da leira, conforme ilustra a Figura 26.



Figura 26 – Pontos de medições da LEA 1.

Fonte: Autora, 2019.

Na aeração da leira foi estabelecida uma vazão de 2,8 m³/min, seguindo as especificações disponibilizadas no catálogo do ventilador. Para disponibilizar tal vazão foi necessário operar o motor com uma rotação de 65 rpm; caso a vazão apresentasse muito elevada pode-se correr o risco da temperatura cair demasiadamente e a umidade também.

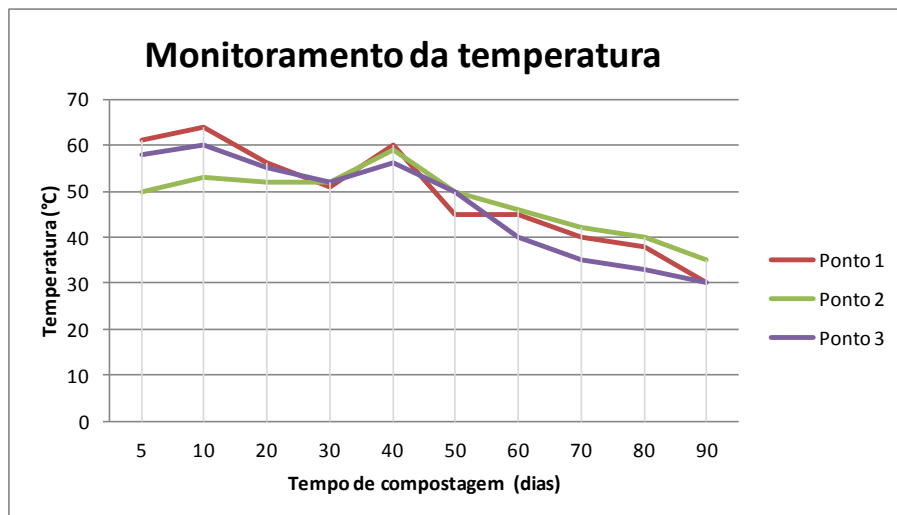
No primeiro dia, após a montagem da leira, foi possível perceber que a temperatura elevou-se até 61°C, em um dos pontos, o que é um sinal de atividade dos micro-organismos no processo. A temperatura não se apresenta a mesma em toda a leira. A marcação de pontos específicos possibilitou o acompanhamento da variação da temperatura em pontos diferentes.

Com o passar dos dias, as temperaturas, nos diferentes pontos, variaram e algumas medidas foram tomadas, como: conferir a umidade, observando a presença de chorume ou o apertar manual do composto e perceber que havia bastante umidade, acionamento manual do ventilador e reviramento.

O acionamento do ventilador ocorreu a cada 3 dias, nos primeiros 30 dias, no período vespertino, por um tempo de 15 minutos. Júnior (2012) aborda que a demanda de oxigênio varia de acordo com cada fase do processo, sendo o ideal de 0,5 a 1 m³/min por tonelada de matéria seca na fase termófila, 0,1 a 0,5 m³/min na fase mesófila e 0,1 m³/min na fase de maturação.

No monitoramento manual mediu-se a temperatura para o acompanhamento do processo. Durante 90 dias, os 3 pontos foram monitorados e foi possível perceber que a cada fase do processo a leira apresentava uma temperatura diferente. Todo o processo ocorreu no tempo e nas fases termófila, mesófila e umificação, citadas por Silva et al. (2009), conforme mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1: Monitoramento da temperatura.



Fonte: Autora, 2019.

Nos primeiros 30 dias, a leitura da temperatura nos 3 pontos foram feitas todos os dias, após esse período passou-se a medir a cada 5 dias.

Na primeira fase, que é a termófila, todos os pontos apresentaram temperaturas acima de 50°C. Após 10 a 15 dias da LEA 1 montado, as temperaturas começaram a cair e

a se manter na faixa de 50 a 55°C o que mostra que o processo de compostagem estava lento.

Diagnosticada esta condição na temperatura na leira, optou-se por fazer aos 30 dias o revolvimento manual, conforme mostra a Figura 27, tomando o cuidado de retirar a primeira camada de serragem, que tem a função de filtro de odores, posteriormente, retirou-se a parte externa do composto e passou-se para a parte interna e vice-versa. Com esse reviramento buscou-se a homogeneidade do composto, a correção da umidade e a aeração.



Figura 27 – Reviramento da leira.

Fonte: Autora, 2019.

Após a realização da correção da umidade, por via regamento, e o fechamento da leira foi possível identificar, no Gráfico 1, uma nova elevação da temperatura. Porém, como o processo já entrando na fase mesófila, a temperatura elevou-se por aproximadamente 10 dias e novamente começou a cair.

Ao longo dos 90 dias foi possível observar a perda de altura da leira, isso se explica pelo fato de ocorrer a biodecomposição. Inácio e Miller (2009) salientam que a compostagem permite a redução de 25-50% no volume e 40-80% no peso total. Essa redução representa a sustentabilidade no tratamento de resíduos descartados como lixo e na gestão de aterros sanitários.

Para o acompanhamento das fases mais ativas de um processo de compostagem foi montada uma nova leira estática aerada, porém com aquisição de parâmetros de forma automatizada.

4.2 Montagem da leira estática aerada com medição e controle automatizado (LEA 2)

A princípio a LEA 2 seria montada no aterro sanitário, assim como foi a LEA 1. Porém, por questões de segurança e devido ao fato de os equipamentos usados na aquisição de dados serem de alto custo e o aterro sanitário não oferecer, até o presente momento, segurança aos equipamentos, a montagem da LEA 2 ocorreu em um espaço cedido na Universidade Federal de Goiás – Campus Catalão. A área de montagem foi cercada com tela e sinalizada para a segurança de transeuntes no local.

Vista a disponibilidade de espaço foi estabelecida a quantidade de resíduos específicos para a montagem correta da leira, seguindo orientações de Richard e Trautmann (2005) na realização dos cálculos para uma correta relação C/N. A coleta e separação do resíduo orgânico (restos de comida) foi realizada no aterro sanitário durante 5 dias e também no mesmo local a coleta de poda de árvore que é o substrato na compostagem.

A quantidade de resíduo orgânico coletada totalizou 590 kg. Para essa quantidade foi necessário usar um total de 397 kg de substrato (poda de árvore) para a relação carbono nitrogênio ser a ideal esperada que é 30/1. Também se usou 150 kg de serragem para cobrir a leira e servir como inibidor do mau cheiro que poderia surgir durante o processo.

Para a aeração forçada, usou-se também um tubo de PVC azul de 4", de 3,5 metros, rígido com parede interna lisa com um total de 70 furos em 3 metros, que correspondem a 18,6% da área total da superfície, conforme recomenda Friesen e Huminicki (1987) *apud* Navarro e Noyes (2001), acoplado ao ventilador para garantir a aeração. Na montagem da leira teve-se o cuidado em cobrir toda a extensão do tubo com brita 1, para evitar o entupimento com composto, conforme mostra a Figura 28.



Figura 28 - Cobertura do tubo de PVC.

Fonte: Autora, 2019.

Assim como na LEA 1, a LEA 2 teve sua montagem realizada em camadas, iniciando com substrato, regando e depois inserindo o resíduo orgânico, regando, assim sucessivamente, até completar o ciclo com o total disponível de resíduos. A leira foi montada em formato trapezoidal, com 95 cm de altura e 3 metros de comprimento, 2,5 metros de base maior e 1 metro de base menor, como mostra a Figura 29.



Figura 29 - LEA 2 montada.

Fonte: Autora, 2019.

Após a montagem da LEA 2 deve-se alocar os sensores para a medição. A LEA 2 foi marcada em 3 pontos principais. Para isso, foram usados 3 tubos com as pontas perfuradas no intuito de medir o oxigênio. Com tamanhos diferentes, cada tubo foi inserido na leira nas seguintes posições:

Ponto 1: meio da leira e lateral - o tubo foi colocado a 40 cm acima da base da leira.

Ponto 2: centro da leira - o tubo foi colocado a 10 cm acima da base.

Ponto 3: próximo ao topo da leira e lateral - o tubo foi colocado a 60 cm acima da base da leira.

Em cada tubo foi inserido um sensor de umidade, um de oxigênio e um de temperatura. Porém, em outros pontos também foram colocados mais sensores de temperatura, apresentados pela Figura 30.



Figura 30 - Pontos de medições da LEA 2.

Fonte: Autora, 2019.

A disposição dos sensores nos pontos se deu da seguinte forma:

Ponto 1: Sensor de umidade 1, oxigênio 1 e temperatura 2

Ponto 2: Sensor de umidade 2, oxigênio 2 e temperatura 3

Ponto 3: Sensor de umidade 3, oxigênio 3 e temperatura 4

Ponto 4: Sensor de temperatura 4

Ponto 5: Sensor de temperatura 5

Ponto 6: Sensor de temperatura 6

Medições automatizadas no processo de compostagem

O processo de compostagem foi iniciado no dia 06 de julho de 2019, na estação do inverno, na qual há incidência de temperatura ambiente variando entre 20 a 27 °C e ventos mais fortes, sem presença de chuva. O acompanhamento automatizado da LEA 2 ocorreu ao longo de 40 dias, iniciada a aquisição dos dados no dia 11 de julho de 2019.

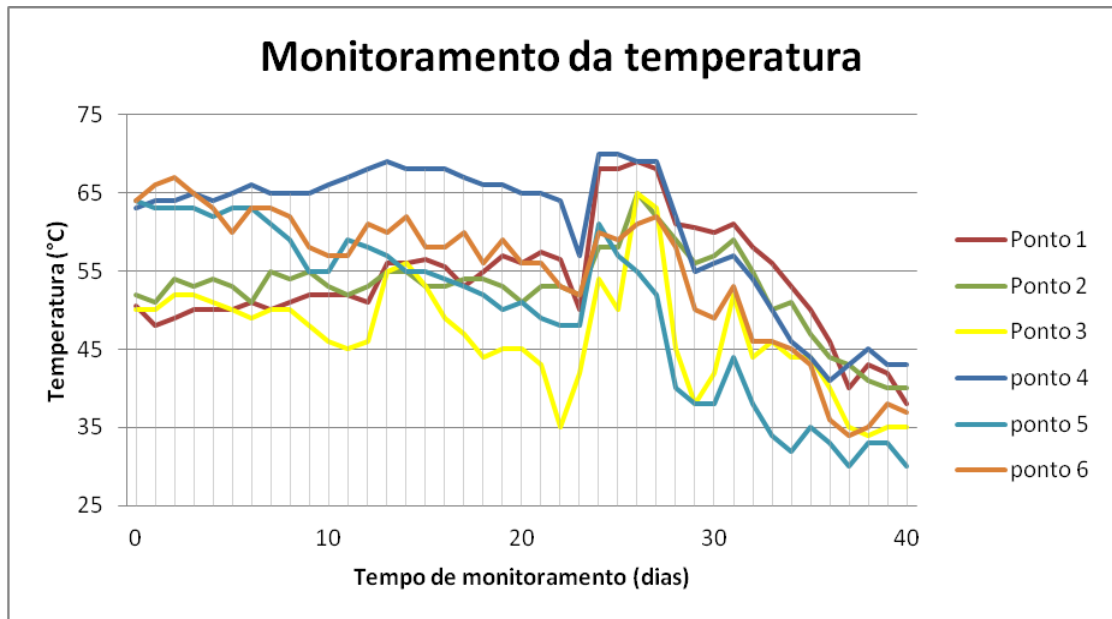
A aquisição dos dados ao longo de 40 dias, se explica por ser essa a fase que, segundo Pereira Neto (2007), ocorre a máxima decomposição dos compostos orgânicos, formação de calor e vapor de água, chamada de fase termófila. Sarkar et. al. (2016), realizando a compostagem de resíduos vegetais, abordam que a quantidade de células mesofílicas são drasticamente reduzidas na fase termofílica. O fim dessa fase e início da fase mesófila é marcado pela redução da temperatura, redução de moléculas de fácil digestão e aumento da população de fungos que desempenham um papel importante na decomposição de materiais mais resistentes, Lacey (1997).

Nas medições, durante 24 horas de cada dia, percebe-se que os parâmetros sofrem variações, assim o processo foi acompanhado em tempo real, o que possibilita a interferência quando os parâmetros não se apresentavam de acordo com o que literaturas recomendam.

A aquisição dos dados de temperatura, da umidade e oxigênio foi feita a partir do 6º dia após a montagem da LEA 2. No acompanhamento diário da temperatura, foi possível observar que ela é diferente em diversos pontos. Cada um sofre a influencia de fatores (vento, calor, frio) relacionados direta ou indiretamente com o processo de compostagem.

Nos primeiros dias de medições a temperatura se apresenta diferente, em quase 10 °C, nos pontos 1, 2 e 3 dos pontos 4, 5 e 6. É notório que os pontos próximos ao ambiente externo a leira (ponto 4, 5 e 6) alcançam temperaturas mais altas, até 68 °C, primeiro que os pontos internos, como mostra o Gráfico 2, tal fato se explica pela facilidade na circulação do oxigênio e por haver umidade, conforme pode ser observado no Gráfico 3, tornando propício o surgimento de bactérias e fungos responsáveis pela compostagem e a também a eliminação de patógenos nocivos as plantas e ao homem (KIEHL, 1985)

Gráfico 2: Monitoramento da temperatura na LEA 2.



Fonte: Autora, 2019.

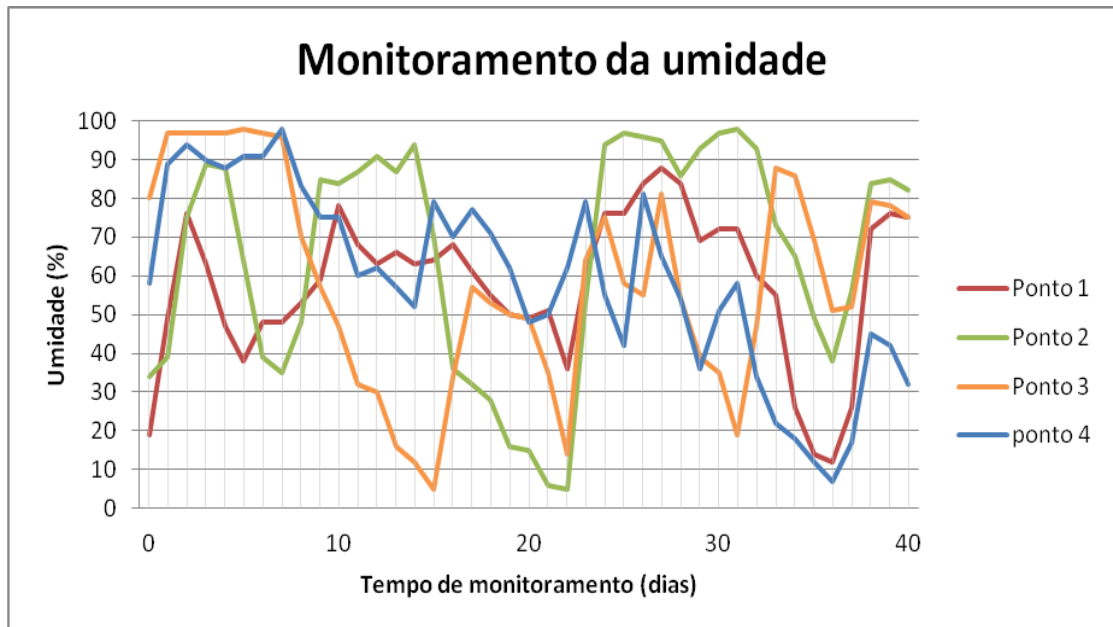
Inácio e Miller (2009) defendem que a temperatura é um fator determinante na atividade microbiana. A temperatura segue o fluxo da compostagem, a sua evolução indica atividade, assim é considerado um parâmetro de estatus da compostagem (TANG et. al. 2011).

Se o composto estiver com características adequadas (umidade e oxigênio) a temperatura se manterá. Ecochem (2004) aponta que as moléculas de água aderem à superfície das partículas, reduzindo a passagem de oxigênio porém a intervenção com a inserção forçada de ar pode corroborar em diminuir a umidade, e em consequência abrir caminho para a oxigenação o que pode também diminuir a temperatura.

Durante o acompanhamento das características essenciais no processo, a aquisição dos dados apresentou a necessidade de intervenção, dessa forma a primeira ocorreu seis dias após o início das medições, com a rega, por via uso de um aspersor ligado e acoplado ao topo da leira no intuito de umedecer as partes extremas, como pode ser visto no Gráfico 3, que os pontos 1, 3 e 4 foram os mais influenciados, o ponto 2 continuou caindo a umidade por estar no centro da leira e não ser afetado pela rega.

Outro fator possível de ser observado é o comportamento do sensor de oxigênio, ao ser umedecido o composto diminui a capacidade de aeração, conforme mostra o Gráfico 4, diminuindo a porcentagem de oxigênio presente em meio ao composto.

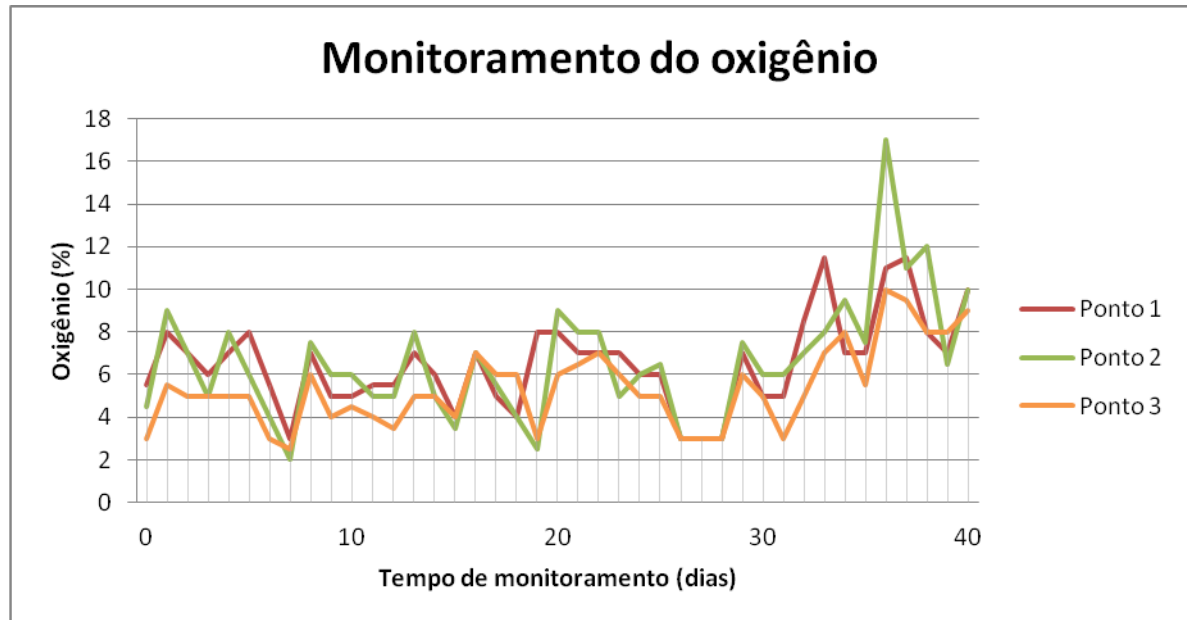
Gráfico 3: Monitoramento da umidade na LEA 2.



Fonte: Autora, 2019

O que se espera em um processo de compostagem é que ele siga um fluxo e que se complete todas as fases até a maturação, porém o que os dados apresentam é uma variação em seus parâmetros.

O oxigênio não se apresenta constante em todos os dias de medição, conforme pode ser visto no Gráfico 4, ele sofre a influência do vento em contato com a leira, e é também influenciado pela umidade do composto.

Gráfico 4: Monitoramento do oxigênio na LEA 2.

Fonte: Autora, 2019.

O acionamento manual do ventilador aconteceu em duas datas: no 13° e 31° dia de medição. No primeiro acionamento é possível observar, no comportamento dos sensores, que a quantidade de oxigênio aumenta no dia do acionamento e depois cai. Ao acionar o ventilador vapor de água sobe, isso pôde ser observado na presença de gotas de água no tubo fixado em cada ponto, essas gotas umidecem o composto em alguns pontos e por certo tempo, o que não impediu que a umidade declinasse novamente. Esse vapor é resultante da degradação biológica do carbono para a obtenção de energia, liberando CO₂ e H₂O (INÁCIO; MILLER, 2009).

O segundo acionamento manual ocorreu na tentativa de manter o processo de compostagem além dos trinta dias com temperaturas ainda elevadas, porém esse aumento da temperatura não prevaleceu e a umidade começou a declinar.

Com 23 dias de medição e 28 dias de compostagem, após a análise dos parâmetros houve a percepção da necessidade de revolvimento da LEA 2. Após abertura da leira, reviramento manual e correção da umidade por via umedecimento é possível observar, nos gráficos apresentados, o aumento na temperatura, umidade e variação de oxigênio em porcentagem mais alta. O reviramento possibilitou a mistura dos compostos, a correção da umidade e oxigenação da leira.

Novamente a LEA 2 entrou em atividade, a temperatura alcançou os 65°C e acionou o ventilar automaticamente. O acionamento diminuiu a temperatura, aumentou a entrada de oxigênio nos próximos dias e diminuiu também a umidade. Contudo essa variação não perdurou, novamente por volta do 26º dia de medição é possível observar a queda na temperatura, o que confirma o início da fase mesófila no processo.

4.3 Parâmetros da LEA 1 e LEA 2

O acompanhamento da LEA 1 se deu por meio da medição de temperatura e conferência manual da umidade. Essas práticas não são confiáveis suficientes para conhecer os parâmetros do processo de compostagem, o reviramento foi realizado a partir das informações obtidas sobre temperatura e a correção da umidade pela percepção, ao toque, da necessidade de umedecer o composto.

Com a análise da montagem das duas leiras pode-se perceber que, o uso de sensores para a aquisição de dados proporciona maior segurança e confiabilidade aos dados obtidos do processo. Tomar medidas de correção é mais viável quando se sabe com clareza o que deve ser feito. Dessa forma, a aquisição de dados de uma leira de compostagem é mais vantajosa por ter medidas a todo tempo e possibilitar a aeração de forma automática. Assim sendo, é possível analisar quais períodos há mais atividade, qual ponto não está compostando ou qual atitude tomar frente a um problema no processo de compostagem.

A concentração maior de resíduos é no centro da leira, onde o processo de compostagem é mais lento, a temperatura se mantém e não sofre grandes variações como nos pontos mais externos, a umidade é mais alta e a taxa de oxigênio em alguns períodos é menor.

Com a montagem do processo de compostagem foi possível observar que a atividade na leira é mais intensa nos primeiros dias, conforme salienta Oliveira (2004). Os pontos mais externos alcançam temperaturas mais altas com maior rapidez, porém, são também estes pontos que requerem maior intervenção, como a correção da umidade, pois há a presença, em determinado período do dia de oxigênio, devido à exposição ao vento, o que resseca o composto.

Em ambas as leiras, próximo a 30 dias de compostagem, observou-se que haveria a necessidade de reviramento, para corrigir a umidade e tirar o composto do centro e realizar a homogeneização. Sarkar et. al. (2016) salientam que o reviramento ajudar a tornar o composto mais uniforme e evita o processo termofílico acontece somente no centro da leira.

Após revirada a leira todos os pontos apresentaram alta na temperatura, porém, o tempo que se mantiveram altas foi de aproximadamente 3 dias e logo voltaram a baixar. Essa mudança é explicada pelo fato de a compostagem ocorrer em fases, conforme já foi abordado: altas temperaturas e maior ocorrência de atividade é até 30 dias, fase termófila.

Observando o parâmetro temperatura nas duas leiras, conforme Figura 31, é possível perceber que a LEA 2, a qual foi automatizada e contou com correção de parâmetros, apresentou temperaturas mais estáveis na faixa de 50 a 60°C até aproximadamente 30 dias de compostagem, isso confirma a ideia de que a automação pode contribuir para manter o processo ativo, visto pelo parâmetro da temperatura que é crucial no processo de compostagem. A LEA 1 teve declínio da temperatura a partir do 11º dia, não chegando a temperatura ambiente, mas com temperatura que se caso houvesse correção de parâmetro, estaria mais elevada.

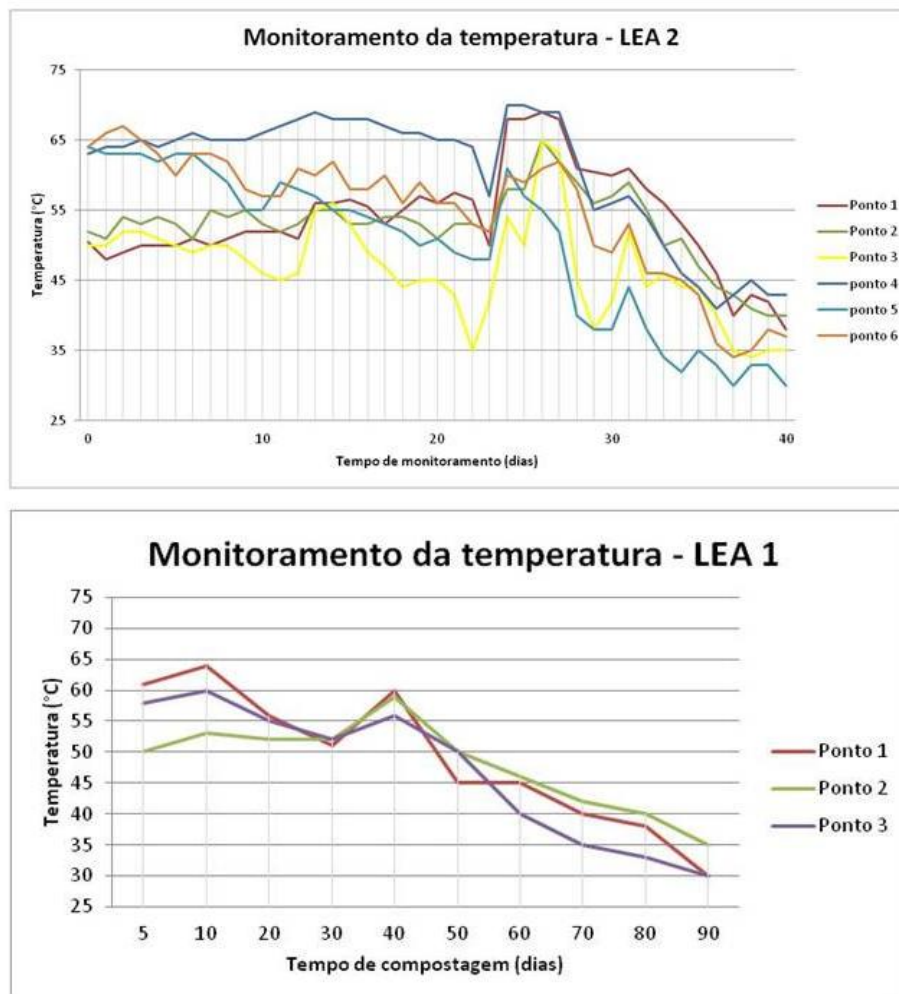


Figura 31: Monitoramento da LEA 1 e LEA 2

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização dessa pesquisa foi possível verificar que o descarte de resíduos sólidos orgânicos em aterros sanitário é bem comum. Muitas pessoas não têm consciência de que este resíduo não é lixo, pois após o descarte ainda há um destino para ele que não seja a trincheira.

A compostagem de resíduos sólidos orgânicos garante que haja um destino aos resíduos, evitando assim o enchimento de aterros e lixões e tirando da natureza o que pode ser sinônimo de poluição ambiental e gerador de gás do efeito estufa.

Realizar um processo de compostagem pode parecer bem simples. Porém, se não ficar atento à quantidade correta de carbono e nitrogênio, o composto pode demorar a se decompor e não apresentar as especificações pretendidas.

Ficou comprovada a necessidade de monitorar também os parâmetros que influenciam no processo de compostagem, como a umidade, oxigênio e temperatura. Caso esses parâmetros não estejam na faixa ideal, alcançar todas as fases da compostagem pode requerer mais tempo.

Monitorar estes parâmetros de forma automatizada proporciona a tomada de decisão em tempo real, corrigindo os diferentes parâmetros que se mostrassem necessários. Porém requer um investimento considerável com a compra da licença do software, dos sensores, do ventilador, materiais de instalações elétricas, além de contar com um responsável com capacidade e conhecimentos técnicos para acompanhar e monitorar o processo e a aquisição de dados.

Os pontos mais externos da leira automatizada apresentam temperaturas mais altas que o centro, desde início da medição até aproximadamente 8 dias após, esses pontos chegam a até 10°C mais quentes que os pontos próximos ao centro e base da leira.

Com a diferença de temperatura observada nas medições é possível afirmar que há uma importância considerável em monitorar vários pontos de uma leira, pois o centro da leira não apresenta o mesmo comportamento que os pontos mais próximos ao topo.

No centro da leira a umidade é mais acentuada, há aeração natural, proporcionada pelo tubo colocado no centro da leira para possibilitar a aeração forçada, mas não suficiente

para ressecar o centro. A temperatura é mais constante e não se eleva muito em relação a rapidez que os outros pontos atingem níveis mais altos de temperatura.

Monitorar o ponto central da leira, de forma mais criteriosa, é garantir o controle do processo, devido ao fato de que é nesse que se concentra maior parte do composto e que os parâmetros influenciam o restante. Se ressecar o centro não haverá, na fase termófila, vapor de água subindo para os outros pontos, se a temperatura não se elevar os pontos mais extremos não se manterá no mínimo de tempo necessário para a compostagem.

Esse sistema de automação é aplicável em processos de compostagem que tem como resíduos orgânicos restos de comida, porém há uma necessidade em fazer um acompanhamento diário das condições dos sensores, para não correrem o risco de corrosão, e do funcionamento interrompido do software.

A questão ambiental ultimamente tem entrado muito em pauta, discussões de como melhorar a natureza e o lado social. Academicamente, a automação do processo de compostagem oferece oportunidade de mostrar que há maneiras de tratar os resíduos de forma correta e assistida, além de conscientizar todos para a separação de vários tipos de resíduos, não só os mais comuns como garrafa pet e alumínio.

Como sugestão futura de pesquisa, sugere-se implementar um sistema de automação do processo de compostagem pelo modelo técnica de controlador proporcional integral (PID) para reduzir o tempo de resposta e nunca eliminar. Na LEA 2 o controle é *on-off*, dessa forma o ventilador funciona ligando e desligando, com o PID evitaria de cessar bruscamente a ação de algum parâmetro.

Sugere-se também relacionar a temperatura com sensor de umidade e oxigênio, para realização do controle dos parâmetros não só pela temperatura em um ponto específico da leira, mas em todos os pontos com acionamento automático do ventilador, tendo como referência os dados de todos os sensores, evitando assim que um parâmetro corrigido não influencie negativamente outro parâmetro, já que um exerce influência no outro e todos corroboram para a conclusão do processo.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 10.004: (2004a). **Resíduos sólidos: Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 71 p.
- ABRELPE, 2016, **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>> Acesso em: 25 de jun. 2018.
- ARAÚJO, A.; ALMEIDA, F.; BASSO, L. **Gestão de resíduos sólidos 2**. Compostagem. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental. São Paulo, 2015.
- BATISTA, J.G.F.; BATISTA, E.R.B. **Compostagem**: utilização de compostos em horticultura. Açores: Universidade dos Açores, 2007. 254 p.
- BECK-FRIIS, B. et al. Gaseous emissions of carbon dioxide, ammonia and nitrous oxide from organic household waste in a compost reactor under different temperature regimes. London: **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.78, n.4, p.423-430, 2001.
- BLAZY, V.; A. DE GUARDIA, A. DE; J.C. BENOIST. J.C.; DAUMOIN. M.; GUIZIOU, F.; LEMASLE, M., WOLBERT, D.; BARRINGTON, S. Correlation of chemical composition and odor concentration for emissions from pig slaughterhouse sludge composting and storage. **Chemical Engineering Journal**, pp.398-409, 2015.
- BRASIL, **Lei no 12.305 de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010.
- Budziak, C. R.; Maia, C. M. B. F.; Mangrich, A. S. Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira. **Química Nova**, v.27, n.3, p.399-403, 2004.
- CEMPRE. **Compromisso empresarial para a reciclagem**. Cempre Review 2013. Disponível em <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos>> Acesso em: 12 de mar. 2018.
- D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: CEMPRE, 2000.

Ecochem. **Composting process**. 2004. Disponível em < [http:// www. Ecochem .com/t_compost_fa2.ht ml](http://www.Ecochem.com/t_compost_fa2.html) >. Acesso em: 22 de ago. de 2019.

ELKINGTON, J. **Enter the triple bottom line**. In A. Henriques & J. Richardson (Orgs.), *The triple bottom line, does it all add up?* (pp. 1-16). London: Earthscan, 2004.

EPSTEIN, E. **Industrial Composting**: Environmental Engineering and Facilities Management. Taylor and Francis, 2011.

FERNANDES, F.; Silva, S.M.C.P. **Manual prático para compostagem de biossólidos**. Edição. PROSAB/FINEP, Rio de Janeiro, 1999.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6ª Edição. São Paulo: Ática, 2008.

GUARDIA, A. de, PETIOT, J.C. BENOIST, C. DRUILHE, C. **Characterization and modelling of the heat transfers in a pilot-scale reactor during composting under forced aeration**. Elsevier, 2011. Disponível: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X12000049?via%3Dihub> > Acesso em: 15 de set. 2019.

INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem**: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2009. 156 p.

JÚNIOR, E. A. F. **Projeto industrial para aeração automática de leiras de compostagem orgânica**. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2012.

KIEHL, C.J. **Produção de composto orgânico e vermicomposto**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.22, n.212, p.40-42, 47-52, 2001.

KIEHL, C.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Ed. Agronômica Ceres, 1985.

LOUREIRO, D.C. et al. **Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico**. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 42, n. 7, P. 1043-1048, jul. 2007.

MATOS, A. T.; TEIXEIRA, D, L.; RIBEIRO, I.C. PAIVA, E. C. R.; LACERDA FILHO, A. F. **Demanda de potência do ventilador para aeração de material em compostagem**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.32, n.3, p.542-551, maio/jun. 2012.

MILANEZ, B.; LUEDEMANN, G.; FILHO, J. D. O.; SILVA, J. H. G. **Pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos**. Brasília: Ipea, 2010. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/253/_arquivos/estudo_do_ipea_253.pdf>. Acesso em: 15 de ago. 2019.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 12 ed. São Paulo: Editora Hucitec, 2010.

NAVARRO, S.; NOYES R. T. **The Mechanics and Physics of Modern Grain Aeration Management**. CRC Press, LLC, 2001.

NASCIMENTO, E. P.; **Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico**. Estudos avançados. 26 (74). 2012.

NUNES, M. U. C. **Compostagem de resíduos para produção de adubo orgânico na pequena propriedade**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 7 p.

PAIVA, E.C.R. **Avaliação da compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e leiras estáticas aeradas** (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2008. 163 p.

_____. **Gestão de Resíduos Sólidos Orgânicos - Compostagem: variáveis de projeto e operação**. Novas Edições Acadêmicas, 2014. 160 p.

PAIVA, Ed Carlo R. et al. **Avaliação da compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e de leiras estáticas aeradas**. *Eng. Agríc.* [online]. 2012, vol.32, n.5, pp.961-970.

PAIVA, E. C. R.; MATOS, A. T, de.; MÔNICA A. AZEVEDO, M. A.; RENATA T. P. DE BARROS, R. T, P. de; 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.

PEDROSA, T. D.; FARIAS, C. A. S. de; PEREIRA, R. A.; FARIAS, E. T. R. **Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais**. *Nativa, Sinop*, v. 01, n. 01, p. 44-48, out./dez. 2013

PELLINI, E. L. **Introdução a automação de sistemas elétricos: conceitos básicos**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas. São Paulo: USP, 2017. Disponível em: <<https://edisciplinas.usp.br/.../Conceitos%20Basicos%20Automação%20-%20PEA%203>> Acesso em: 05 ago. 2018.

PEREIRA NETO, J. T. **Compostagem: Fundamentos e métodos**. I Simpósio sobre compostagem. UNESP, 2004.

_____. **Manual de Compostagem: Processo de baixo custo**. Viçosa: UFV, 2007. 81 p.

PLACHÁ, D.; RACLAVSKA, H.; KUCĚROVA, M.; KUCHARĚOVA, J. **Volatile fatty acid evolution in biomass mixture composts prepared in open and closed bioreactors**. Elsevier, 2011. Disponível: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X13000512>> Acesso em: 15 de set. 2019.

PLANETA ORGÂNICO. **Compostagem: a arte de transformar o lixo em adubo orgânico**. Disponível em: <<http://planetaorganico.com.br/site/index.php/compostagem/>>. Acesso em: 06 ago. 2018.

PRAMPOLIM, G.; MACEDO, R. S.; GONSALEZ, V. L. **Concepção de um pátio de compostagem na região do Guarapiranga**. Projeto de Formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

RICHARD, T.; TRAUTMANN, N. C/N Ratio. **Cornell composting Science & Engineering**. Cornell University. 2005. Disponível em: <<http://compost.css.cornell.edu/science.html>>. Acesso: 20 de jun. 2018.

RIFFALDI, R.; LEVI-MINZI, R.; PERA, M. B. **Evolution of compost maturity by means of chemical and microbial analyses**. Waste management and Research, London, v.4, n.1, p.387-396, 1986.

ROSSINI-OLIVA, S.; MINGORANCE, M. D.; PEÑA, A. Effect of two different composts on soil quality and on the growth of various plant species in a polymetallic acidic mine soil. **Chemosphere**, v. 168, pp. 183-190, 2017.

SARKAR, S.; PAL, S.; CHANDA, S. Optimization of a vegetable waste composting process with a significant thermophilic phase. **Procedia environmental sciences**, v. 35, p. 435-440, 2016.

SEVIK, F.; TOSUN, I.; EKINCI, K. **The effect of FAS and C/N ratios on composting of sewage sludge, dairy manure and tomato stalks**. Disponível: <https://www.researchgate.net/publication/326823865_The_effect_of_FAS_and_CN_ratios_on_co-composting_of_sewage_sludge_dairy_manure_and_tomato_stalks> Acesso em: 15 de set. 2019.

SILVA, J.G.; EIGENHEER, E.M.; RODRIGUES, D.C. **Produção e aproveitamento de composto orgânico a partir de resíduos de origem vegetal no campus da Universidade Federal Fluminense/Niterói-RJ**. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, Niterói. 2009. 11p.

SILVA, S. M. C. P. & FERNANDES, F. **Co-compostagem de biossólidos, lodo de tratamento de água e resíduos de podas de árvores.** In " XXVI Congresso Interamericano de Ingeniería sanitaria y ambiental", 1-5 de novembro de 1998, Lima, Perú, 1999, 51 p.

STOREY, S. et al. Comparison of bacterial succession in green waste composts amended with inorganic fertiliser and wastewater treatment plant sludge. **Bioresource Technology**, v. 179, p. 71–77, 1 mar. 2015.

XIAO, Y. et al. Changes in the actinomycetal communities during continuous thermophilic composting as revealed by denaturing gradient gel electrophoresis and quantitative PCR. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 1383–1388, 2011.

Tang, Z., Yu, G.H.; Liu, D.Y.; Xu, D.B.; Shen, Q.R. Different analysis techniques for fluorescence excitation-emission matrix spectroscopy to assess compost maturity. **Chemosphere**, v. 82, p. 1202–1208, 2011.

WANG, L.; LIU, J.; LI, X.; SHI, J.; HU, J.; CUI, R.; ZHANG, Z.; PANG, D.; CHEN, Y. **Growth propagation of yeast in linear arrays of microfluidic chambers over many generations.** *Biomicrofluidic*. 2011. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3364811/>>. Acesso em: 15 set. 2018.

WENDLING, M. **Amplificadores operacionais.** Unesp. São Paulo, 2010.

WANG, X.; SELVAM, A.; JONATHAN W.C. WONG, J. W.C. **Influence of lime on struvite formation and nitrogen conservation during food waste composting.** Elsevier, 2016. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416302632>>. Acesso em: 20 jul. 2018.