

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

BRUNAH WAGNER

**UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA O MONITORAMENTO
DOS PARÂMETROS TEMPERATURA E UMIDADE EM COMPOSTEIRAS**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2017

BRUNAH WAGNER

**UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA O MONITORAMENTO
DOS PARÂMETROS TEMPERATURA E UMIDADE EM COMPOSTEIRAS**

Trabalho de Dissertação apresentado
como requisito parcial à obtenção
do título de Mestre em Engenharia
Civil, do Programa de Pós Graduação
em Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo L. S. Izzo
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Juliana Rose

CURITIBA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

W132u Wagner, Brunah
2017 Utilização de um sistema de baixo custo para o
monitoramento dos parâmetros temperatura e umidade em
composteiras / Brunah Wagner.-- 2017.
135 f.: il.; 30 cm.

Disponível também via World Wide Web.
Texto em Português com resumo em Inglês.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica
Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil, Curitiba, 2017.
Bibliografia: p. 126-135.

1. Resíduos sólidos. 2. Meio ambiente. 3. Compostagem.
4. Resíduos orgânicos - Reaproveitamento. 5. Engenharia
civil - Dissertações. I. Izzo, Ronaldo Luis dos Santos,
orient. II. Rose, Juliana Lundgren, coorient. III.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa
de Pós-graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: Ed. 22 -- 624



TERMO DE APROVAÇÃO

TITULO DA DISSERTAÇÃO N.º 109

UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA O MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS TEMPERATURA E UMIDADE DE COMPOSTEIRAS

POR

BRUNAH WAGNER

Esta dissertação foi apresentada às 09h00min do dia 31 de março de 2017, como requisito parcial para a obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**, área de Meio Ambiente, linha de pesquisa de Sustentabilidade, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____.(aprovado / reprovado)

Prof. Dr. Ronaldo Luis Dos Santos Izzo
(Orientador - UTFPR)

Profa. Dra. Adriana Soares de Schueler
(UFRRJ)

Dra. Juliana Lundgren Rose
(UTFPR)

Profa. Dra. Tamara Simone van Kaick
(UTFPR)

Visto da Coordenação:

Prof. Dr. Ronaldo Luis dos Santos Izzo
Coordenador do PPGEC

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a oportunidade de estudar em uma instituição pública com a qualidade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, todo o corpo técnico, docentes e servidores. Ao Restaurante Universitário da sede Ecoville e a todos os funcionários que se dispuseram a colaborar com a pesquisa. À Ana Claudia Nuernberg que dividiu algumas tardes e noites caracterizando resíduos no laboratório. Em especial agradeço aos meus orientadores, Juliana Rose e Ronaldo Izzo, pelo profissionalismo, apoio, paciência, cordialidade, por todo o aprendizado construído ao longo desses anos de mestrado. À minha família, que me deram todo o suporte e estrutura para que eu conseguisse chegar até esse ponto na vida acadêmica. Ao Mateus Rauen que me ajudou, apoiou, auxiliou tecnicamente e emocionalmente - quando necessário. Agradeço a todos os meus amigos, próximos e distantes, grandes entusiastas e incentivadores. Ao Capes/Cnpq pela bolsa e pelos fomentos, pois foram indispensáveis para a realização e conclusão dessa pesquisa.

RESUMO

WAGNER, Brunah. **UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA O MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS TEMPERATURA E UMIDADE EM COMPOSTEIRAS.** 2017. 133. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Estima-se que metade dos resíduos produzidos no Mundo sejam de matéria orgânica, sendo que este percentual aumenta em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento. Os resíduos orgânicos não se enquadram na definição de rejeito e ao seguirem para o aterro sanitário deixam de ser reaproveitados. A compostagem é, portanto, uma alternativa para o tratamento dessa parcela de resíduos. É ambientalmente aceita, segura, atende à Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Brasil, 2010a), além de contribuir diretamente para a redução dos passivos ambientais. Visando uma maior abrangência do Decreto Presidencial nº 5.940 de 25 de outubro de 2006, que instituiu a separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal (Brasil, 2006), a presente pesquisa teve o objetivo desenvolver, analisar e monitorar os parâmetros de temperatura e umidade, em métodos de compostagem aeróbia e anaeróbia, para o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos provenientes do Restaurante Universitário (RU) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Curitiba (PR), sede Ecoville. A pesquisa foi dividida em 4 etapas: caracterização dos resíduos gerados pelo RU; desenvolvimento do Sistema de Aquisição de Dados (SAD) baseado em Arduino; instrumentação e montagem das composteiras e, monitoramento dos parâmetros de temperatura e umidade ao longo do período de compostagem. Os resíduos orgânicos gerados pelo RU foram coletados, caracterizados quanto ao tipo e quantificados em peso e volume. A partir dos dados obtidos na caracterização dos resíduos, optou-se pelo tratamento dos Resíduos Orgânicos Não Cozidos (em média 50,7% do total de resíduos gerados semanalmente pelo restaurante). Para o monitoramento dos parâmetros de temperatura e umidade das composteiras, foi desenvolvido um SAD utilizando Arduino, e sensores de umidade e temperatura. Cada composteira foi instrumentada com 3 sensores de umidade e 3 sensores de temperatura fixados verticalmente no interior de cada uma delas. Esses sensores transmitiram os sinais obtidos de cada sensor, individualmente, em intervalos de 60 minutos, ao longo de 90 dias. A partir dos dados coletados pelo SAD Arduino, foram traçadas curvas de temperatura e de umidade, ao longo do tempo, para os métodos de compostagem aeróbio e anaeróbio. Pode-se concluir que o Arduino pode ser uma ferramenta acessível e viável para o desenvolvimento de atividades de pesquisa.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Reciclagem de resíduos orgânicos. Compostagem aeróbia. Compostagem anaeróbia.

ABSTRACT

WAGNER, Brunah. **USE OF A LOW COST SYSTEM FOR THE MONITORING OF THE PARAMETERS TEMPERATURE AND HUMIDITY IN COMPOSTING METHODS.** 2017. 120. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017

It is estimated that half of the total waste produced in the world are organic matter, and there is an increase in underdeveloped or developing countries. The Brazilian definition of waste does not consider the organic fraction because this part of the waste can be recycled and, when it is directed to the landfill, it is no longer reused. Composting is, therefore, an alternative for the treatment of this organic fraction. It is environmentally accepted, safe, complies with the National Solid Waste Policy - PNRS (Brazil, 2010a), and contributes directly to the reduction of environmental liabilities. Aiming at a broader coverage of Presidential Decree No. 5.940 of October 25, 2006, which instituted the separation of recyclable waste discarded by federal public administration bodies and entities (Brazil, 2006), the present research had the objective of developing, analyzing and monitoring the temperature and humidity parameters, in aerobic and anaerobic composting methods, for the treatment of organic solid waste from the University Restaurant (RU) of the Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Curitiba (PR), Ecoville. The research was divided in 4 stages: characterization of the residues generated by the RU; Development of the Arduino-based Data Acquisition System (SAD); Instrumentation and assembly of the composts and monitoring of temperature and humidity parameters throughout the composting period. The organic wastes generated by the RU were collected, characterized by type and quantified by weight and volume. From the data obtained in the characterization of the residues, we chose the treatment of Uncooked Organic Residues (averaging 50.7% of the total waste generated weekly by the restaurant). For the monitoring of the parameters of temperature and humidity of the composts, a SAD was developed using Arduino, and humidity and temperature sensors. Each compost was instrumented with 3 humidity sensors and 3 temperature sensors fixed vertically inside each one. These sensors transmitted the signals obtained from each sensor individually at 60-minute intervals over 90 days. From the data collected by SAD Arduino, temperature and humidity curves were plotted over time for aerobic and anaerobic composting methods. It can be concluded that Arduino can be an accessible and feasible tool for the development of research activities. KeyWordsSolid waste. Recycling organic waste. Aerobic composting. Anaerobic composting.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Composição dos resíduos sólidos urbanos (% peso) em países com diferentes rendas e em diferentes regiões do mundo	23
FIGURA 2: Diferença em quantidade de resíduos gerados e coletados anualmente no Brasil (ton/dia)	27
FIGURA 3: Quantidade de resíduos gerados e coletados na região Sudeste (ton/dia)	28
FIGURA 4: Quantidade de resíduos gerados e coletados na região Nordeste (ton/dia)	29
FIGURA 5: Quantidade de resíduos gerados e coletados na região Centro Oeste (ton/dia)	30
FIGURA 6: Quantidade de resíduos gerados e coletados na região Norte (ton/dia)	30
FIGURA 7: Relação entre a geração de resíduos, a coleta de resíduos e o crescimento populacional no Brasil no período entre 2005 e 2015 ...	31
FIGURA 8: Parcela de resíduos, por região do Brasil, cujo destino final são os lixões	31
FIGURA 9: Quantidade de resíduos gerados e coletados na região Sul (ton/dia) .	32
FIGURA 10: Fluxograma com a classificação dos resíduos nas IES, baseado na Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010 (Brasil, 2010a), quanto à origem e periculosidade dos resíduos	35
FIGURA 11: Modelo esquemático dos fluxos de calor e gases no interior da leira de compostagem	40

FIGURA 12: Variação na composição da vida microbiana ao longo das diferentes fases de compostagem e também relacionado à temperatura	41
FIGURA 13: Gráfico com a demanda por oxigênio durante as fases da compostagem aeróbia	43
FIGURA 14: Esquemático do adensamento e zonas de anaerobiose no interior da composteira	44
FIGURA 15: Gráfico da perda de umidade durante as fases da compostagem ...	45
FIGURA 16: Gráfico da perda de umidade durante as fases da compostagem ...	46
FIGURA 17: Gradiente de temperatura no interior da leira de compostagem	46
FIGURA 18: Modelo esquemático da instrumentação	60
FIGURA 19: Sensor de temperatura DS18B20	63
FIGURA 20: Sensor de umidade	63
FIGURA 21: Fluxograma de desenvolvimento	70
FIGURA 22: Dados técnicos da balança utilizada; à direita imagem da balança ..	71
FIGURA 23: Baldes volumétricos com diversos tipos de resíduos do preparo do alimento	72
FIGURA 24: Triturador, amostras e quarteador	73
FIGURA 25: Detalhes de medidas da composteira Aeróbia	77
FIGURA 26: Tambor alimentício utilizado como composteira	77
FIGURA 27: Composteira aeróbia	78
FIGURA 28: Composteira anaeróbia	78
FIGURA 29: Sensor de temperatura DS18B20 (A); sensor de umidade LM393 (B)	79
FIGURA 30: Distância entre os sensores de temperatura e umidade para a instrumentação da composteira	80
FIGURA 31: Modelo esquemático da ligação do <i>clock</i> externo (modelo DS3231) no Arduíno UNO	80

FIGURA 32: Modelo esquemático para a multiplexação das portas	81
FIGURA 33: Modelo esquemático da ligação dos conectores RJ45 nas placas multiplexadas	82
FIGURA 34: Modelo esquemático das ligações entre a <i>shield</i> de Rede (modelo W5100) e o Arduino UNO	82
FIGURA 35: Modelo esquemático das portas extras	83
FIGURA 36: Modelo esquemático da instrumentação	84
FIGURA 37: Descrição dos grupos de resíduos orgânicos gerados pelo Restaurante Universitário (RU) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Curitiba, sede Ecoville	88
FIGURA 38: Representatividade dos resíduos, por espécie vegetal, gerados pelo RU da UTFPR câmpus Curitiba, sede Ecoville, durante a semana 3 de caracterização	89
FIGURA 39: Quantidade (kg) de RPA gerados pelo Restaurante Universitário (RU) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, câmpus Curitiba, sede Ecoville, para cada período de caracterização	90
FIGURA 40: Diferença entre o volume medido (L), o volume após Trituração (L) e o valor (em %) da redução do volume ao passar pela Trituração	91
FIGURA 41: Comparação entre o peso total semanal de cada tipo de resíduo gerado no RU da UTFPR, câmpus Curitiba, sede Ecoville	92
FIGURA 42: Comparação entre a quantidade de RCB e RNCB gerados pelo RU da UTFPR, câmpus Curitiba, sede Ecoville, durante os períodos de caracterização	92
FIGURA 43: Valores de peso (kg) e volume (l) do RPA utilizado no método de compostagem aeróbio e no método anaeróbio para tratamento dos resíduos gerados pelo RU da UTFPR, câmpus Curitiba, sede Ecoville	95

FIGURA 44: Relação entre a temperatura (°C) e o tempo (em dias) das composteiras	98
FIGURA 45: Envoltórias mínimas e máximas de nona ordem	100
FIGURA 46: Aumento do erro em função da ordem polinomial devido ao fenômeno de Runge	101
FIGURA 47: Curvas médias ajustadas para os campos de temperatura	102
FIGURA 48: Primeiro ponto de inflexão das polinomiais	104
FIGURA 49: Campo de convergência das inflexões	106
FIGURA 50: Inflexões distribuídas na curva de temperatura	107
FIGURA 51: Envoltória máxima de temperaturas com a separação entre as fases de compostagem	108
FIGURA 52: Campo bruto de umidade em função do tempo em dias	109
FIGURA 53: Envoltória do campo de umidade com interpolação polinomial de grau 9	111
FIGURA 54: Interpolação polinomial do campo de umidades	112
FIGURA 55: Campo de umidade nas fases termofílica e de maturação e regiões ótimas de umidade obtidos na compostagem	114
FIGURA 56: Campo de temperatura obtidos por Campos; Blundt (2000) comparados aos obtidos pelo SAD Arduino	117

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Relação Carbono/Nitrogênio de alguns materiais	47
TABELA 2: Condições ótimas de compostagem	47
TABELA 3: Principais características do uso de sistemas de aeração ativa	49
TABELA 4: Principais características do uso de sistemas de aeração passiva ...	51
TABELA 5: Resultado da decomposição de resíduos por tipo de bactérias	55
TABELA 6: Organização da Pesquisa	69
TABELA 7: Identificação das Variáveis Presentes nas equações 12, 13, 14	76
TABELA 8: Comparação entre as representatividades das espécies vegetais encontradas no RNCB e no RPA, por espécie vegetal, gerados pelo RU da UTFPR câmpus Curitiba, sede Ecoville	90
TABELA 9: Comparação entre o teor de umidade obtido em laboratório e o teor de umidade segundo a literatura, onde NA - não se aplica	93
TABELA 10: Peso específico aproximado e teor de umidade aproximado do RPA e do RCB gerados no RU da UTFPR, câmpus Curitiba, sede Ecoville	94
TABELA 11: Tabela com os dados de entrada da equação 12 para a composteira aeróbica	96
TABELA 12: Tabela com os dados de entrada da equação 12 para a composteira anaeróbica	97
TABELA 13: Coeficientes de Correlação para o Ajuste das Curvas do Campo de Temperaturas	103
TABELA 14: Valores da Primeira Inflexão das Polinomiais	105
TABELA 15: Coeficientes de Correlação para o Ajuste das Curvas do Campo de Umidades	113

LISTA DE SIGLAS E ABREVIAÇÕES

<i>ABNT</i>	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>ABRELPE</i>	– Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
<i>A/D</i>	– Analógico/Digital
<i>ADC</i>	– Conversor Analógico para Digital
<i>B-Spline</i>	– Curva polinomial Spline de Beziér
<i>CEMPRE</i>	– Compromisso Empresarial pela Reciclagem
<i>CONAMA</i>	– Conselho Nacional de Meio Ambiente
<i>EEPROM</i>	– Memória de Leitura Programável Temporária
<i>E/S</i>	– Entrada/Saída
<i>GEE</i>	– Gases de Efeito Estufa
<i>GPIO</i>	– Portas Programáveis de Entrada e Saída
<i>IDE</i>	– Ambiente de Desenvolvimento Integrado
<i>IBGE</i>	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<i>IES</i>	– Instituições de Ensino Superior
<i>IP</i>	– Protocolo de Internet
<i>IPT</i>	– Instituto de Pesquisas Tecnológicas
<i>MMQ</i>	– Método dos Mínimos Quadrados
<i>NBR</i>	– Norma Brasileira
<i>OECD</i>	– Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
<i>OIUDSMA</i>	– Organização Internacional pelo Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente
<i>PGRS</i>	– Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
<i>PGIRS</i>	– Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos
<i>RU</i>	– Restaurante Universitário
<i>RSU</i>	– Resíduos Sólidos Urbanos
<i>RPA</i>	– Resíduos do Preparo do Alimento

<i>RCB</i>	– Resíduos Cozidos do <i>Buffet</i>
<i>RNCB</i>	– Resíduos Não-cozidos do <i>Buffet</i>
<i>SAD</i>	– Sistema de Aquisição de Dados
<i>SPI</i>	– Interface Serial Periférica
<i>SRAM</i>	– Memória Estática de Acesso Aleatório
<i>TACO</i>	– Tabela Brasileira de Composição de Alimentos
<i>TCP</i>	– Protocolo de Controle de Transmissão
<i>UART</i>	– Transmissão e Recepção Assíncrona Universal
<i>UE</i>	– União Européia
<i>USB</i>	– Porta Universal
<i>UTFPR</i>	– Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

C	–	Carbono
CH_4	–	Metano
C_M	–	Curva Média
C/N	–	Relação Carbono Nitrogênio
CO_2	–	Dióxido de Carbono
Kb	–	Kilobite
LS_h	–	Leitura do sensor por hora
Mb	–	Megabite
M_d	–	Média de leitura diária dos sensores
M_h	–	Média de leitura por hora dos sensores
N	–	Nitrogênio
O_2	–	Oxigênio
p	–	Grau Polinomial
r	–	Coeficiente de Correlação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVO GERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	19
2.1.1 Definição e Classificação	19
2.1.2 Composição dos Resíduos	21
2.1.3 Gestão de Resíduos	23
2.1.4 Geração de Resíduos	26
2.2 RESÍDUOS NAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR (IES)	32
2.2.1 Tipos de Resíduos nas IES	32
2.2.2 Gestão de Resíduos nas IES	35
3 COMPOSTAGEM	38
3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	41
3.1.0.1 Oxigênio	43
3.1.0.2 Umidade	44
3.1.0.3 Temperatura	45
3.1.0.4 Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)	46
3.1.1 Métodos de compostagem	48
3.1.1.1 Compostagem Aeróbia	52
3.1.1.2 Compostagem Anaeróbia	53
4 INSTRUMENTAÇÃO	57
4.1 Sistema de Aquisição de Dados (SAD)	58
4.1.1 Arduíno	60
4.1.2 Sensores	62

4.1.3 Python	64
5 TRATAMENTO DE DADOS	66
5.1 Ajuste de Curvas à partir de Dados Discretos	66
6 METODOLOGIA	68
6.1 LOCAL E COLETA DO MATERIAL	68
6.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS	70
6.2.1 Qualificação dos Resíduos	70
6.2.2 Quantificação dos Resíduos	71
6.2.3 Trituração e Quarteamento	72
6.2.4 Teor de Umidade, Peso Específico e Densidade Aparente	73
6.2.5 Relação Carbono Nitrogênio	75
6.3 COMPOSTEIRAS	76
6.3.1 INSTRUMENTAÇÃO DAS COMPOSTEIRAS	79
6.4 PÓS-PROCESSAMENTO	84
6.4.1 Tratamento prévio dos dados	84
6.4.2 Elaboração das curvas e envoltórias	85
6.4.3 Algoritmo para a determinação das fases compostagem	86
7 RESULTADOS	87
7.1 QUALIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS	87
7.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS	93
7.2.1 Teor de Umidade e Peso Específico	93
7.3 RESULTADOS DA INSTRUMENTAÇÃO	94
7.3.1 Parâmetros de Temperatura	97
7.3.2 Parâmetros de Umidade	108
8 DISCUSSÃO	116
9 CONCLUSÃO	122
REFERÊNCIAS	126

1. INTRODUÇÃO

As cidades desenvolvem um importante papel na sociedade sendo os principais centros de educação, desenvolvimento e geração de novos empregos, ideias, cultura e oportunidades. Tal pluralidade também as tornam grandes consumidoras de recursos naturais como água, energia, alimentos e matérias-primas, gerando quantidades significativas de resíduos que precisam ser dispostos de maneira segura e sustentável.

A gestão dos resíduos está estreitamente ligada à dinâmica do crescimento e desenvolvimento urbano e, atualmente, o gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos engloba a reciclagem, compostagem, incineração e aterramento dos resíduos (REINHART et al., 2002), sendo este o mais comumente utilizado no Brasil e no mundo (USEPA, 2009).

A rápida ocupação do solo é um dos problemas cruciais para o modelo de depósito de resíduos convencional – os aterros sanitários – especialmente nas áreas densamente povoadas ou de rápido processo de urbanização (ZIYANG, 2015). A urbanização afeta tanto a demanda por solo para aterro, quanto o fornecimento de solo adequado para atender a população, sendo que, de modo geral, o aumento da população leva a um aumento na produção de resíduos (LEÃO et al., 2004; GBANIE et al., 2013).

Embora a destinação de resíduos sólidos urbanos aos aterros sanitários seja uma opção regulamentada para o descarte deste tipo de resíduo (BRASIL, 2010a), ainda não é a solução mais adequada, já que o descarte de materiais em aterros sanitários deve focar apenas nos rejeitos. Sendo assim, os aterros sanitários devem receber apenas os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento, não podem mais ser utilizados.

Os resíduos orgânicos não se enquadram na definição de rejeito e, ao seguirem para o aterro sanitário, deixam de serem reaproveitados. Há chances de transformação desses resíduos em produtos que agregam valor para outros

segmentos como, por exemplo, o fertilizante orgânico para a agricultura ou substrato para plantas, gerados a partir do processo de tratamento de compostagem. A compostagem é uma alternativa ambientalmente aceita, segura, atende à Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010a), além de contribuir diretamente para a redução dos passivos ambientais. Estima-se que 50% dos resíduos produzidos no Mundo são matéria orgânica, sendo que este percentual aumenta quando se trata de países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento.

Tauchen e Brandli (2006) e Lauder et al. (2015) afirmam que as Instituições de Ensino Superior – IES – podem ser comparadas com pequenos núcleos urbanos, não apenas pelas atividades de ensino, pesquisa e extensão exercidas, mas também por toda a infraestrutura de funcionamento, como redes de abastecimento de energia, água e esgoto, além de restaurantes e centros de convivência. Portanto, a geração de resíduos é inevitável e ocorre diariamente em diferentes quantidades e composições, variando com relação aos cursos ofertados por cada IES, com o nível de desenvolvimento econômico, com relação à população e aos diferentes estratos sociais presentes.

Visando uma maior abrangência do Decreto Presidencial nº 5.940 de 25 de outubro de 2006, que instituiu a separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal (BRASIL, 2006), este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica de um sistema de monitoramento dos parâmetros de umidade e temperatura em composteiras para o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos provenientes do Restaurante Universitário (RU), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Curitiba (PR), na sede Ecoville.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a utilização de um sistema de monitoramento de baixo custo para composteiras, bem como propor um modelo de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos provenientes do Restaurante Universitário (RU) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Curitiba (PR), na sede Ecoville.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os resíduos gerados no Restaurante Universitário;
- Elaborar um sistema de baixo custo para a leitura dos parâmetros de temperatura e umidade;
- Instrumentar os parâmetros de temperatura e umidade em composteiras experimentais utilizando sensores de baixo custo;
- Avaliar o comportamento dos sensores ao longo do tempo de compostagem;
- Comparar os métodos de compostagem;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo são apresentados os principais conceitos que norteiam este trabalho.

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

2.1.1 Definição e Classificação

De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas em parceria com o Compromisso Empresarial pela Reciclagem - IPT/CEMPRE (2000), resíduos “são os restos das atividades humanas, consideradas pelos geradores como inúteis, indesejáveis, ou descartáveis.” A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua Norma Técnica (NBR) número 10.004 de 2004 (ABNT, 2004), tem uma abrangência maior na definição, acrescentando que os resíduos podem estar em estado sólido, ou semissólido e que podem ser decorrentes de diversas atividades, tais como industrial, hospitalar, doméstica, agrícola, bem como serviços de varrição. A norma também acrescenta o lodo proveniente de estações de tratamento de efluentes e líquidos “(...) cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água” exigindo tratamentos e soluções técnicas específicas. Apenas quando o tratamento torna-se inviável, tecnicamente ou economicamente, é considerado resíduo e necessita uma deposição correta (ABNT, 2004). Contemporânea, a Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010a), que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, apresenta definição similar à NBR 10.004 (ABNT, 2004), porém acrescenta os gases contidos em recipientes, ou em líquidos, cujo tratamento seja inviável técnica ou economicamente.

Ainda, de acordo com Brasil (2010a), têm-se a definição de rejeito como:

“Os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades

de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.”

Portanto, pode-se concluir de maneira simples que os resíduos são resultado de toda e qualquer atividade humana, que estão condicionados a tratamento e disposição adequados e que, somente aquele resíduo o qual não há mais recurso disponível (tecnológico, financeiro) para o tratamento pode ser enquadrado como rejeito.

Um dos tratamentos possíveis e economicamente viáveis para os resíduos sólidos é a reciclagem, cujo conceito encontra-se na Lei 12.305 (BRASIL, 2010a) e versa sobre o “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos”, ou seja, o resultado é um novo produto, não um rejeito. É comum a confusão entre os conceitos de reciclagem e reutilização. Ainda, segundo a mesma Lei, reutilização é o “processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química”, desta forma, o processo de compostagem pode ser enquadrado como a reciclagem dos resíduos orgânicos já que, como resultado, gera-se um novo produto, o composto. Outrossim, um exemplo prático de reutilização poderia ser o uso de garrafas polietereftalato de etileno (PET) como um componente para tratamento acústico (FACCIN; GODOY; MARCUZ, 2003), ou o uso conjunto de PET com embalagens longa vida para o aquecimento de água a partir da energia solar (TOMAZ, 2014).

Os resíduos podem ser classificados de acordo com a sua periculosidade ou quanto a sua origem (ABNT, 2004; BRASIL, 2010a). Novamente a norma e a lei se complementam ao tratar da periculosidade. De acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004) os resíduos podem ser de “Classe I – Perigosos, apresentando riscos ao meio ambiente ou a saúde pública, corrosivos, inflamáveis, tóxicos, reativos ou patogênicos, podendo apresentar uma ou mais propriedades citadas.” A Política Nacional dos Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010a) acrescenta as propriedades carcinogênicas, teratogênicas e mutagênicas ao conceito de resíduos perigosos. Os resíduos de Classe II- Não perigosos, segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004) são

subdivididos em: “II-B Inertes, aqueles resíduos que em contato com água destilada não sejam solubilizados; e II-A, Não Inertes, os resíduos que não são enquadrados na Classe I ou na Classe II-B.” A PNRS (BRASIL, 2010a) é mais objetiva com relação à definição de resíduos não perigosos e considera que são os resíduos que não se enquadram no conceito de perigosos.

Quanto à origem dos resíduos, segundo a Lei 12.305 (BRASIL, 2010a), estes podem ser de origem domiciliar, de limpeza urbana, industriais, provenientes de serviços de saúde, de serviços de transporte, de atividades agrossilvopastoril, de mineração, construção civil, estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços ou ainda oriundos dos serviços públicos e/ou de saneamento básico.

Não obstante, o CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente em sua resolução 005 de 05 de agosto de 1993, com base na NBR 10.004 (ABNT, 2004), classifica os resíduos em grupos, onde os resíduos pertencentes ao grupo A são perigosos ao meio ambiente e a saúde humana por terem a presença de agentes biológicos, os resíduos oriundos da saúde podem ser citados como exemplo. No grupo B estão os resíduos tóxicos, inflamáveis, corrosivos ou reativos, fármacos, drogas e resíduos que apresentem risco ao meio ambiente ou a saúde humana por apresentarem características químicas. Os rejeitos radioativos, em especial, estão enquadrados no Grupo C e, por fim, no Grupo D são os resíduos comuns, que não se enquadram nos grupos anteriores.

2.1.2 Composição dos Resíduos

O aumento populacional, a industrialização, a expansão econômica, a rápida urbanização e o aumento do nível de vida da comunidade têm acelerado consideravelmente a taxa de geração de resíduos sólidos urbanos, não apenas em países em desenvolvimento, mas em todo o mundo (LIMA, 1991; GUERREIRO, 2013).

Setenta e cinco por cento da população mundial reside em áreas urbanas (BRASIL, 2001), sendo que o Brasil tem uma tendência à urbanização maior do que os outros países, contando com 78% da população residindo nessas áreas (BRASIL, 2010b). Ao

encontro do fenômeno da urbanização há o aumento do poder aquisitivo do cidadão, provocando uma mudança nos padrões de consumo que, além de necessitar de maiores quantidades de recursos naturais como matéria prima para novos produtos, ainda causa um aumento na quantidade de resíduos gerados (AMARAL, 2013). Dessa forma, é possível afirmar que a produção de resíduos é inesgotável (LIMA, 1991). A produção de resíduos está associada ao nível de desenvolvimento de uma nação: quanto mais um país se desenvolve, prospera economicamente, maior será a taxa de geração de resíduos (TROSCHINETZ; MIHELCIC, 2009).

Vários elementos afetam diretamente a quantidade de resíduos gerados no meio urbano. Condições climáticas, variações sazonais, hábitos e costumes da população, número de habitantes do local, nível educacional e poder aquisitivo (LIMA, 1991; TROSCHINETZ; MIHELCIC, 2009) são alguns fatores sociais de participação na heterogeneidade da composição dos resíduos gerados. Troschinetz e Mihelcic (2009) afirmaram que países em desenvolvimento geram uma maior quantidade de resíduos orgânicos durante o verão, por exemplo, principalmente pelo hábito de incluir mais frutas na alimentação durante esta estação. Já em países desenvolvidos, há uma geração superior de materiais recicláveis como papel e papelão, plástico e vidro, como pode ser observado na figura 1.

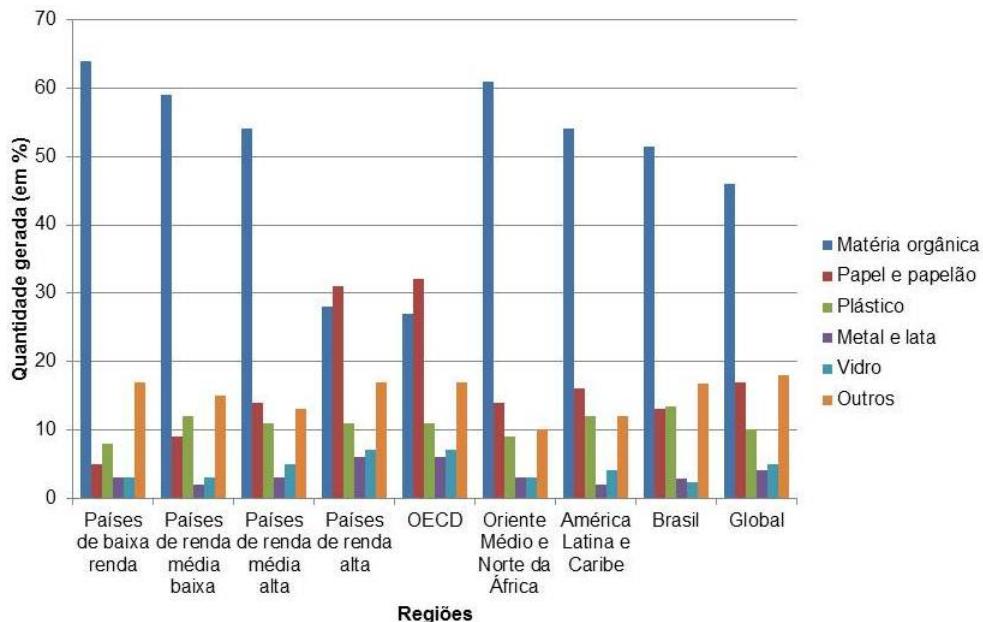


FIGURA 1: Composição dos resíduos sólidos urbanos (% peso) em países com diferentes rendas e em diferentes regiões do mundo

Fonte: Adaptado de LEÃO et al, 2004; WORLD, 2012.

2.1.3 Gestão de Resíduos

As barreiras encontradas para um manejo eficiente dos resíduos em países em desenvolvimento e em pequenos municípios são bastante similares e se baseiam principalmente em problemas de ordem técnica, financeira (MOGHADAM et al., 2009) ambiental, sociocultural, institucional e jurídico (IPT/CEMPRE, 2000; FEAM, 2006; MESQUITA JUNIOR, 2007; GUERREIRO et al., 2013). O planejamento de um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos envolve múltiplos critérios, os quais se podem citar a alocação dos resíduos sólidos, as rotas de transporte (do gerador ao local de tratamento), distância de áreas residenciais, distância das vias de acesso principais, custos, a disponibilidade de resíduos, a topografia do terreno e propriedades adequadas do solo (GUIQIN, 2009; EISELT; MARIANOV, 2014).

Nos municípios dos países em desenvolvimento, os sistemas de manejo de resíduos representam entre 3 a 15% do orçamento do município (UNOHABITAT, 2010), sendo fundamental que o próprio município seja capaz de gerir as operações e possa pagar pelos custos atribuídos (GUERREIRO et al., 2013; WILSON; VELIS;

RODIC, 2013). Uma grande quantidade de recursos é necessária para que o investimento na gestão de resíduos possa ser realizado, tendo a necessidade de aquisição de equipamentos, treinamento, capacitação, controle e custeio de todo o sistema de manejo desses resíduos (MESQUITA JUNIOR, 2007). O alto tempo de retorno do investimento e a descontinuidade político-administrativa tornam o problema longe de uma solução meramente técnica e envolvem um gerenciamento pensado a longo prazo, competindo em prioridade com problemas de soluções mais fáceis - ou possíveis de se resolverem de maneira mais imediata – de forma a satisfazer rapidamente a população sem ameaçar os já escassos recursos municipais (MOGHADAM et al., 2009; GUERREIRO et al., 2013). Neste sentido, é interessante que haja uma ampla participação dos setores (tanto do setor público quanto do privado) e também da sociedade para que seja possível conceber, implementar e administrar um sistema de manejo de resíduos sustentável.

A responsabilidade pela gestão dos resíduos sólidos no Brasil é dos próprios municípios os quais devem promover a coleta, tratamento e a destinação ambiental e sanitária correta e segura (IPT/CEMPRE, 2000; BRASIL, 2001; MESQUITA JÚNIOR, 2007; BRASIL, 2010a; BRASIL, 2010b; IBGE, 2014).

Os principais fatores que prejudicam a correta gestão dos resíduos ocorrem desde a deficiência de capacitação técnica e de um controle ambiental, até a descontinuidade político-administrativa. Porém, um dos fatores de maior impacto está relacionado às limitações de ordem financeira. São orçamentos inadequados, fluxos de caixa desequilibrados, tarifas desatualizadas e arrecadação insuficiente (IPT/CEMPRE, 2000). Ainda pode ser citada a fragilidade dos órgãos gestores, baixo grau de desenvolvimento institucional, ausência de uma política de investimentos e recuperação de custos, ausência de regulamentação e controle, e ausência de planejamento e monitoramento (BRASIL, 2010b).

Desta forma, com o propósito de sanar a falta de recursos, já que este é um dos entraves para a correta gestão dos resíduos, a partir da Lei 12.305 (BRASIL, 2010a) atrelou-se como condição necessária para que o Distrito Federal e os municípios

tivessem acesso aos recursos da União destinados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, a elaboração de um Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PGIRS).

O Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PGIRS) é um documento, cujo conteúdo mínimo encontra-se no art. 19 da Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010a), que define estratégias, ações e procedimentos referentes ao manejo dos resíduos, contemplando os aspectos referentes à geração, segregação, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final (IPT/CEMPRE, 2000; FEAM, 2006) devendo conter metas de curto, médio e longo prazos as quais devem levar em conta critérios não apenas ambientais, mas também de cunho econômico e financeiro, social, político regional, cultural, institucional, ético e legal (IPT/CEMPRE, 2000; FEAM, 2006; MESQUITA JÚNIOR, 2007).

Um consenso é que para alcançar soluções viáveis, sustentáveis e efetivas no âmbito da gestão de resíduos sólidos nos países em desenvolvimento é necessário que elas sejam projetadas para as circunstâncias e condições locais, ou seja, ressaltando os fatores socioculturais e político-econômicos de cada local (UNOHABITAT, 2010; WILSON; VELIS; RODIC, 2013; MACRAE; RODIC, 2015). Tecnologias desenvolvidas para resíduos relativamente mais secos, com alto poder calorífico podem não funcionar quando confrontadas com resíduos úmidos, com baixo valor calórico de países tropicais ou subtropicais (UNOHABITAT, 2010).

Uma adequada gestão dos resíduos sólidos exige uma boa compreensão da composição e dos processos que determinam a geração de resíduos (ACURIO et al., 1997). Especial atenção deve ser dada as fontes de geração de resíduos, já que as características e composição dos resíduos diferem de acordo com sua origem (TCHOBANOGLOUS et al., 1996; CANADÁ, 2013). Visto que o Brasil possui uma vasta extensão territorial, onde cada região possui características biológicas, culturais e sociais diferentes umas das outras, os projetos a serem desenvolvidos no âmbito da gestão de resíduos sólidos, deve ser pensada localmente, próxima às fontes geradoras

(ELIAS, 2014). Segundo Vega et al (2008) programas de gestão de resíduos baseados na caracterização dos resíduos gerados tem mais chances de ter sucesso do que aqueles que não levam em consideração tais fatores.

Através da investigação e documentação da caracterização dos resíduos, os dados obtidos podem ser utilizados para propor melhores alternativas com relação ao método de tratamento, ao sistema de gestão de resíduos sólidos (VEGA et al., 2008), servir de apoio para medidas no campo da prevenção da geração de resíduos – principalmente os resíduos orgânicos – trazendo melhorias na eficiência econômica e na sustentabilidade ambiental (FUSIONS, 2016).

2.1.4 Geração de Resíduos

Nos últimos dez anos, houve um aumento de 21,3% na produção de resíduos pelos brasileiros, passando de 168.653 ton RSU/dia em 2007 para 214.405 ton RSU/dia em 2016. Entre os anos 2013 e 2015, a produção de resíduos por dia de 209.280 toneladas em 2013 para 218.874 ton RSU/dia no ano de 2015, um aumento de 4,3% (ABRELPE, 2016). Em 2016 houve uma redução na produção de resíduos por dia no Brasil, representando uma queda de 2%, quando comparado ao ano de 2015 (ABRELPE, 2017).

A produção de resíduos por habitante/dia no ano de 2016 foi de 1,040 kg/hab/dia, valor abaixo do encontrado no ano de 2013, 1,041 kg/hab/dia e 3,1% inferior quando comparado a 2015 (1,071 kg/hab/dia) (ABRELPE, 2017).

A Figura 2 apresenta a diferença entre a quantidade de resíduos gerados e coletados no Brasil entre os anos 2005 a 2016.

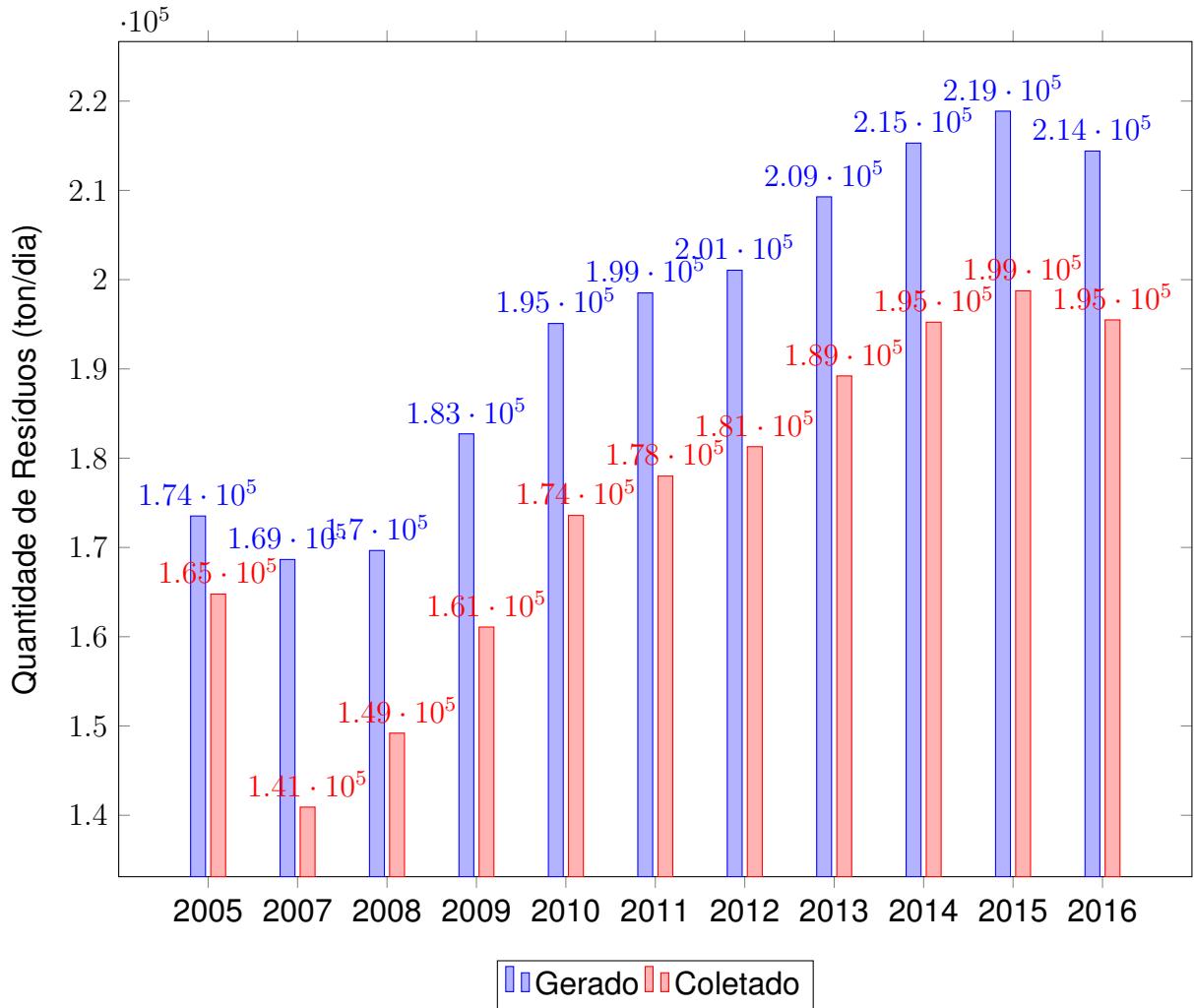


FIGURA 2: Diferença em quantidade de resíduos gerados e coletados anualmente no Brasil (ton/dia)

Fonte: Adaptado de Abrelpe (2006 - 2017)

O maior produtor de resíduos no país é a região sudeste (Figura 3)(ABRELPE, 2017).

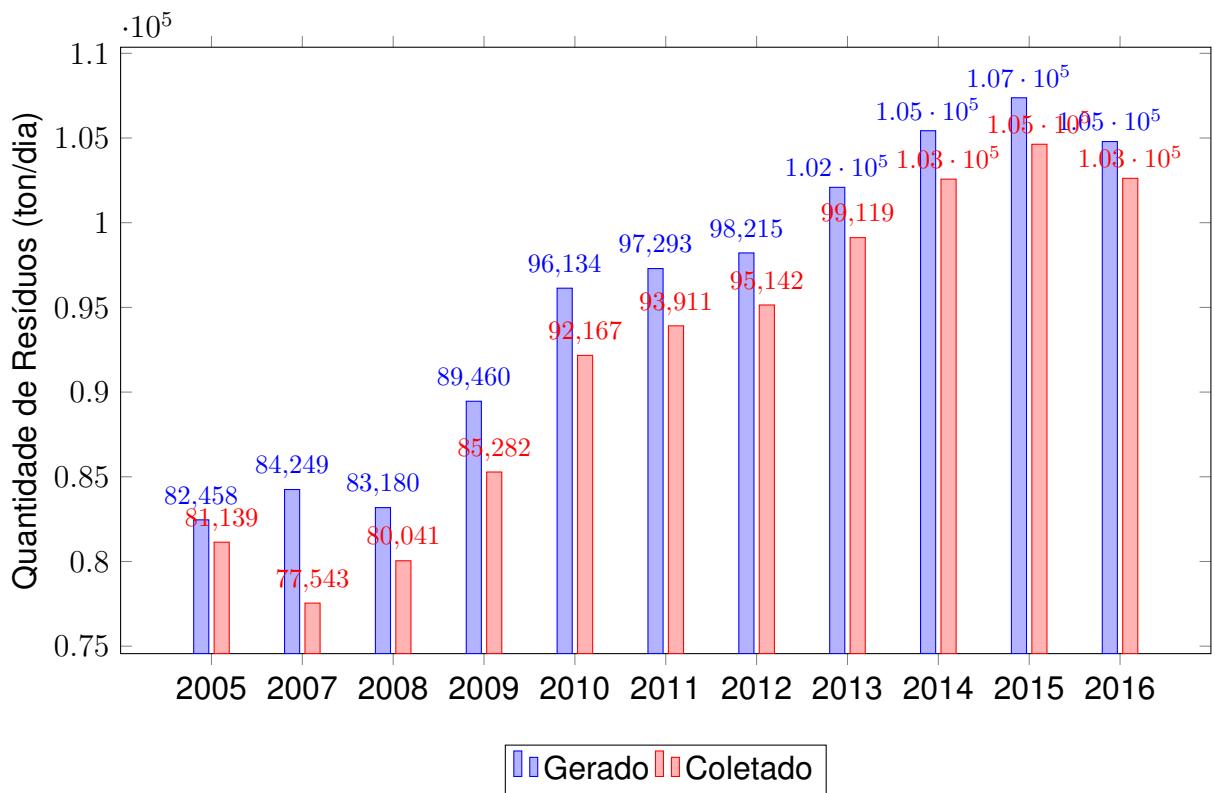


FIGURA 3: Quantidade de resíduos gerados e coletados na região Sudeste (ton/dia)

Fonte: Adaptado de Abrelpe (2006 - 2017)

O nordeste apresenta a maior diferença entre os resíduos gerados e coletados. No ano de 2016 foram 11.701 ton/dia de resíduos que não tiveram uma destinação correta (Figura 4) (ABRELPE, 2016).

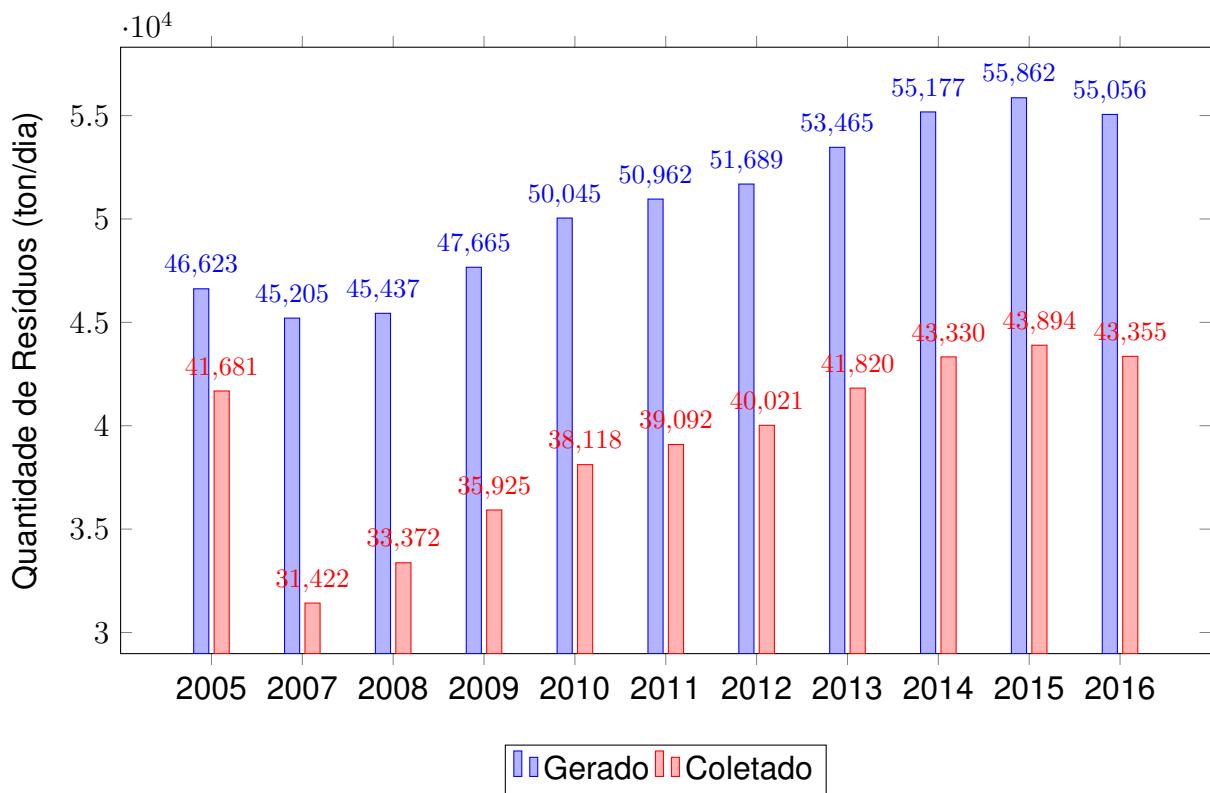


FIGURA 4: Quantidade de resíduos gerados e coletados na região Nordeste (ton/dia)

Fonte: Adaptado de Abrelpe (2006 - 2017)

O centro oeste do país é a região com a menor diferença entre a geração e a coleta dos resíduos, 771 ton/dia (Figura 5) (ABRELPE, 2017). A menor geração de resíduos no país é na região norte, 15444 ton/dia em 2016, entretanto 19% desses resíduos não são coletados (Figura 6) (ABRELPE, 2017).

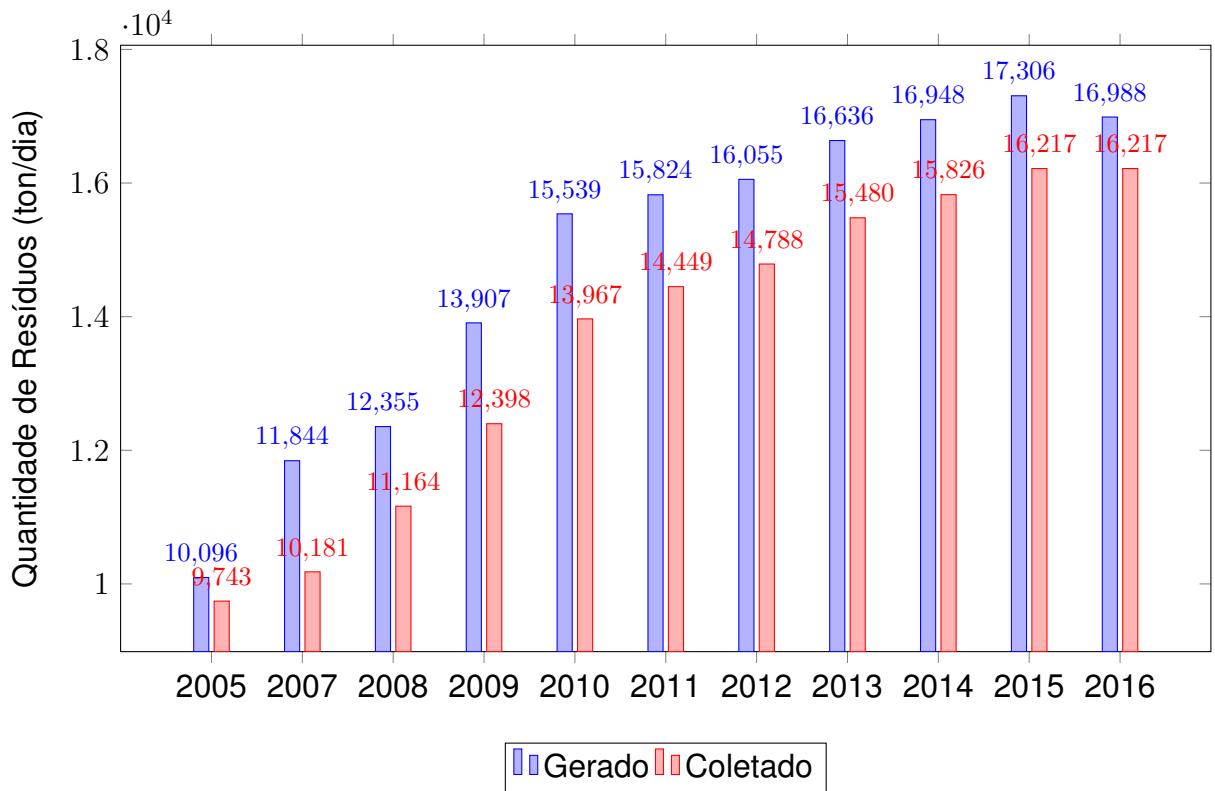


FIGURA 5: Quantidade de resíduos gerados e coletados na região Centro Oeste (ton/dia)

Fonte: Adaptado de Abrelpe (2006 - 2017)

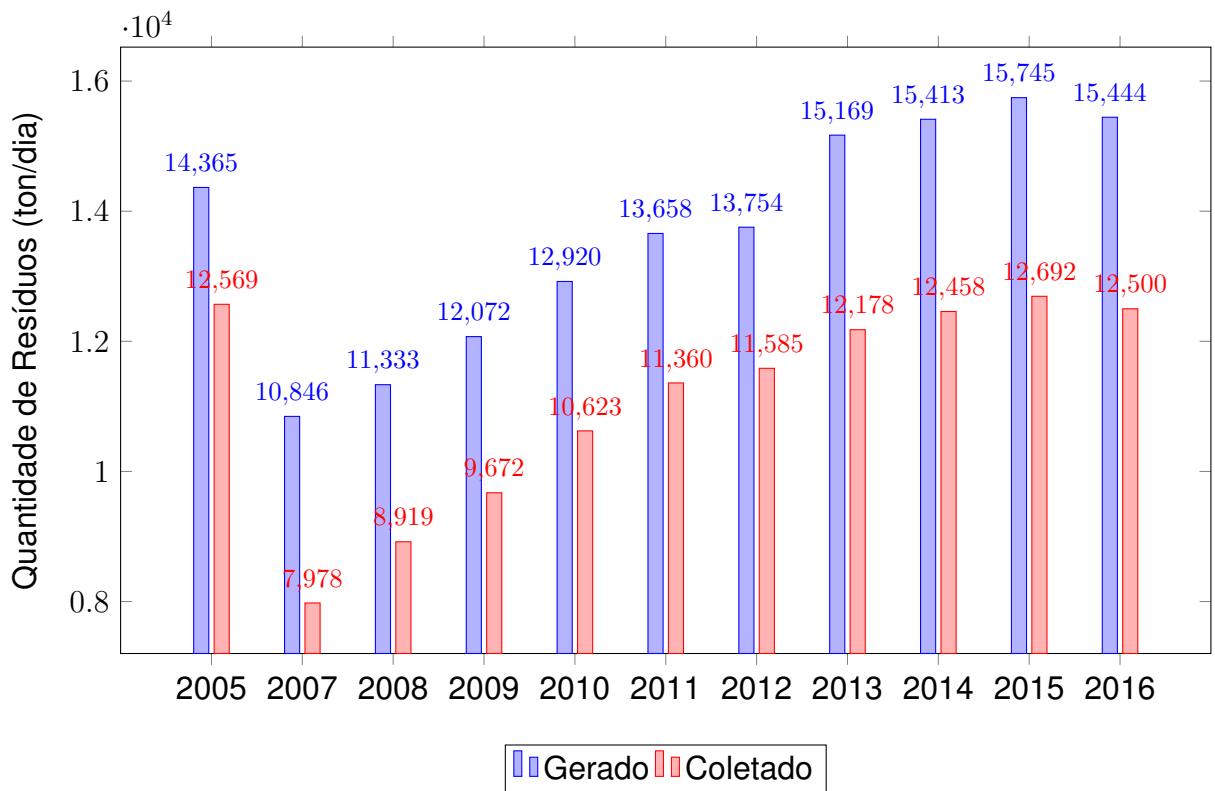


FIGURA 6: Quantidade de resíduos gerados e coletados na região Norte (ton/dia)

Fonte: Adaptado de Abrelpe (2006 - 2017)

Apesar da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal 12.305 (BRASIL, 2010a), que entre suas principais atribuições estipulava o prazo de agosto de 2014 para que os resíduos sólidos tivessem destinação ambiental correta no Brasil, é possível observar que o aumento na geração de resíduos não está sendo acompanhado de uma coleta e destino final adequados.

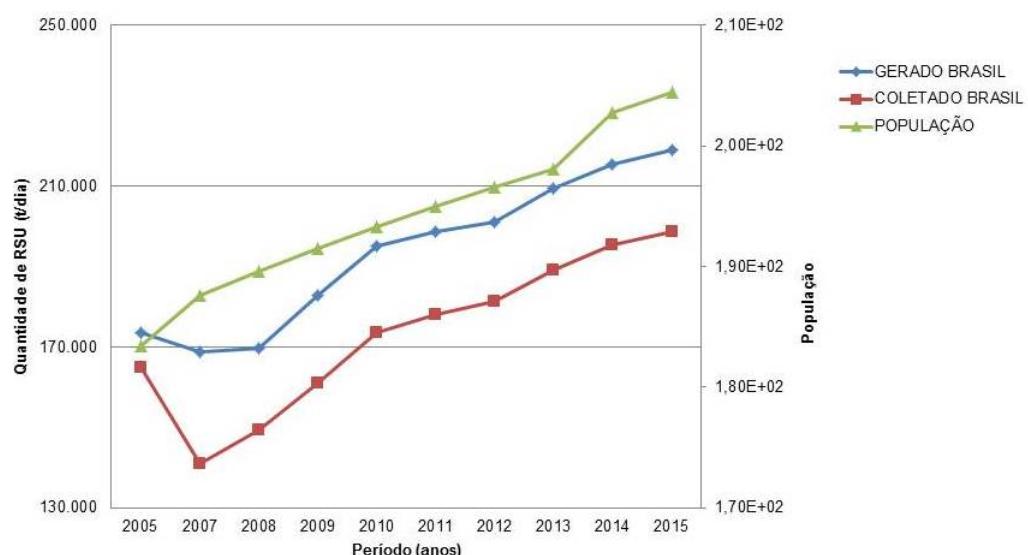


FIGURA 7: Relação entre a geração de resíduos, a coleta de resíduos e o crescimento populacional no Brasil no período entre 2005 e 2015

Fonte: Adaptado de Abrelpe (2006 - 2016); IBGE (2013)

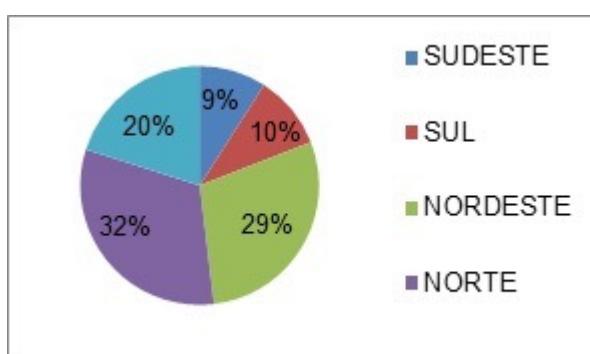


FIGURA 8: Parcela de resíduos, por região do Brasil, cujo destino final são os lixões

Fonte: Adaptado de Abrelpe, 2016.

A região sul (Figura 9) gerou 22.127 ton/dia de resíduos em 2016, 0,752 kg/hab/dia, com 95% dos resíduos coletados e 1.140 ton/dia de resíduos sem destinação correta (ABRELPE, 2017). Entre os três estados que compõe a região sul, o estado do Paraná é o que mais gera resíduos, com 8.858 ton/dia de resíduos, destes, 94,2%

são coletados e 9,8% ainda são enviados a lixões (ABRELPE, 2016). Na cidade de Curitiba, capital do estado, são gerados, em média, entre 3 a 3,5 toneladas de resíduos por dia, totalizando uma média de 74 mil toneladas de resíduos por mês e estes são encaminhados para destinação final adequada, o aterro sanitário (ESTRE AMBIENTAL, 2015).

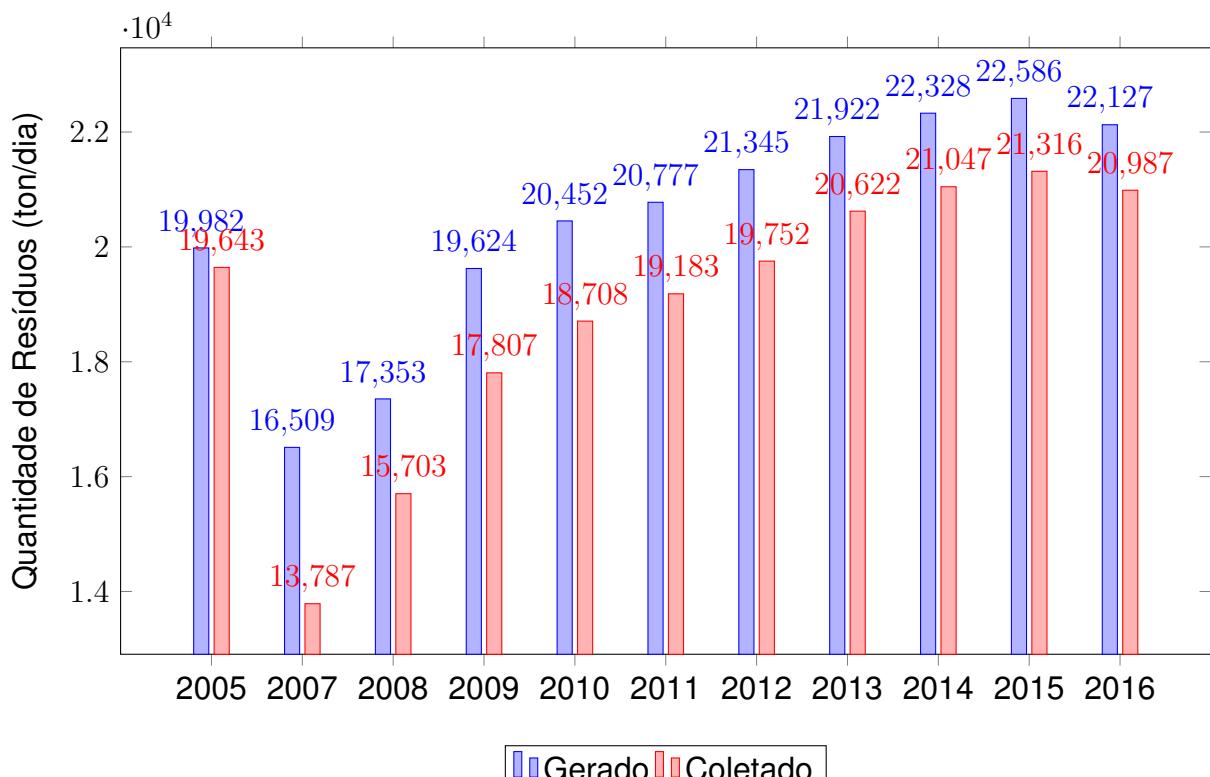


FIGURA 9: Quantidade de resíduos gerados e coletados na região Sul (ton/dia)

Fonte: Adaptado de Abrelpe (2006 - 2017)

2.2 RESÍDUOS NAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR (IES)

2.2.1 Tipos de Resíduos nas IES

Os resíduos gerados nas Instituições de Ensino Superior (IES) podem ser classificados segundo a Resolução Conama 005 de 1993 (CONAMA, 1993) como resíduos de Grupo A, B e D – resíduos que apresentam potencial risco à saúde pública e ao meio ambiente por conterem agentes patogênicos, resíduos químicos

e resíduos comuns, respectivamente; seguindo as normas estabelecidas pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) estes resíduos seriam enquadrados na Classe I – perigosos, considerando os produtos químicos usados nas dependências dos laboratórios e/ou hospitais, ambulatórios; e na Classe II – não perigosos e não inertes, ao considerar a parcela advinda das outras atividades do câmpus, com ênfase para os resíduos do restaurante ou restos de alimentos, previstos no Anexo H da mesma norma. Ou ainda, podem ser classificados quanto à origem segundo a Lei 12.305 (Brasil, 2010a) como resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, resíduos de serviços de saúde, resíduos da construção civil e resíduos industriais.

Souza (2005) descreveu os resíduos gerados nas universidades como resíduos de gráficas e copiadoras, compostos basicamente de papel, tintas; resíduos eletrônicos (impressoras, computadores); resíduos de restaurantes e lanchonetes compostos, em maioria, por restos de alimentos, papéis e plásticos de embalagens; resíduos dos setores administrativos e acadêmicos, que são aqueles gerados nas salas de aula, secretarias e gabinetes, bibliotecas e são compostos por papeis, plásticos e materiais de escritório; resíduos semelhantes aos resíduos domésticos provenientes das lixeiras espalhadas pelo câmpus; resíduos de construção civil; resíduos de limpeza do câmpus e poda de árvores e, resíduos dos laboratórios.

Para Silva (2014) a classificação dos resíduos gerados nas universidades também pode ser feita considerando suas características físicas e químicas:

- Seco: papéis, plásticos, metais, vidros, tecidos, madeiras, parafina, cerâmica, cortiças, porcelana, espuma, guardanapos de papel, pontas de cigarro, isopor, lâmpadas e toalhas de papel;
- Molhados: restos de comida, cascas, bagaços de frutas e verduras, cascas de ovos, legumes e alimentos estragados;
- Orgânicos: restos de comida, cascas, bagaços de frutas e verduras, cascas de ovos, legumes e alimentos estragados, ossos, pó de café e chá, cabelos, aparas e podas de jardim;

- Inorgânicos: produtos manufaturados como plásticos, vidros, borrachas, tecidos, metais, isopor, velas, parafinas, cerâmica, espumas, cortiças, lâmpadas;

Gonçalves et al (2010) em estudo realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus de Francisco Beltrão – PR, caracterizaram os resíduos gerados no câmpus como pertencentes às classes I, II-A e II-B, segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004) e os descreveram como pertencentes ao administrativo, biblioteca, salas de aula, restaurante, laboratórios e áreas comuns (halls, corredores, mini auditório). Ainda, foi descrito que a maioria dos resíduos gerados são provenientes do restaurante – resíduos orgânicos (184 kg/mês), seguidos por rejeitos – incluído os resíduos dos sanitários (128 kg/mês) e papel e papelão (116 kg/mês). Dentre os resíduos de classe I (perigosos) estão, principalmente, os resíduos provenientes dos laboratórios (109 kg/semestre) e lâmpadas, pilhas e baterias.

Há na figura 10 um fluxograma com uma breve classificação por origem e por periculosidade, seguindo as normas estabelecidas na Lei 12.305 (Brasil, 2010a) dos tipos de resíduos mais comuns gerados nas IES. Esse fluxograma pode ser associado aos resíduos gerados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Curitiba, sede Ecoville.

Segundo o Plano de Gestão de Resíduos Sólidos (PGRS) desta sede, dentre os resíduos perigosos são listados químicos vencidos e sólidos contaminados provenientes dos laboratórios; resíduos de manutenção predial (lâmpadas fluorescentes e caliça); resíduos eletrônicos (computadores e acessórios cujos componentes internos podem comprometer a saúde humana e do meio ambiente) e, os resíduos hospitalares ou de saúde, oriundos do ambulatório. Entre os não perigosos, estão os resíduos administrativos, de sala de aula e laboratórios que são, em maioria, de materiais recicláveis como o papel, papelão, metais (latas de alumínio, ferro e tampas) e plástico; os resíduos de jardinagem das áreas externas - que incluem varrições e podas; resíduos dos banheiros (rejeitos); e, resíduos dos restaurantes, cantinas e/ou lanchonetes, compostos em maioria por matéria orgânica. Todos esses resíduos são devidamente separados, acondicionados e transportados para terem o

tratamento correto.

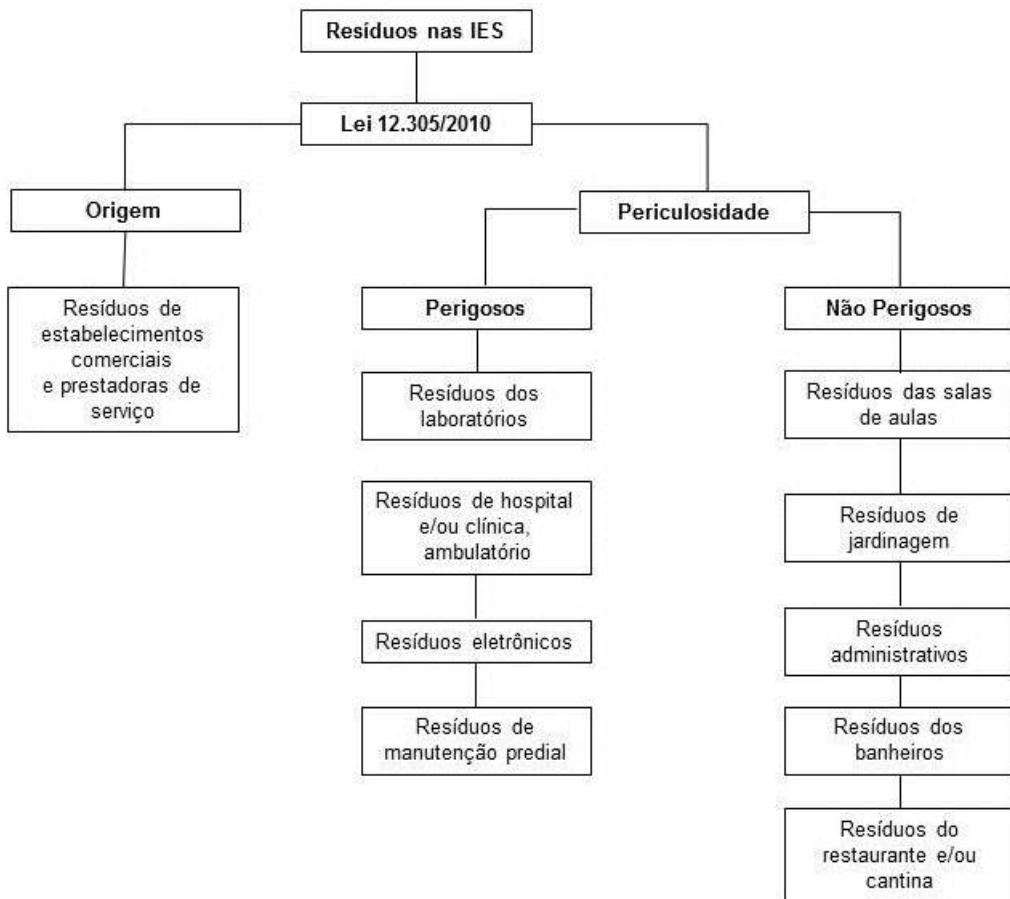


FIGURA 10: Fluxograma com a classificação dos resíduos nas IES, baseado na Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010 (Brasil, 2010a), quanto à origem e periculosidade dos resíduos

Fonte: Autoria Própria

2.2.2 Gestão de Resíduos nas IES

Em algumas Instituições de Ensino Superior (IES) são desenvolvidas diversas atividades de ensino, pesquisa e extensão além das atividades operacionais como os restaurantes, cantinas, centros de convivência, alojamentos e serviços em geral. Além dessa estrutura, há na infraestrutura básica do câmpus, redes de abastecimento de água e energia, redes de saneamento e vias de acesso. Dessa forma, pode-se comparar as IES com pequenos núcleos urbanos (TAUCHEN; BRANDLI, 2006; ALSHUWAIKHAT, 2007). Souza (2005) e Monteiro (2015) fazem uma analogia entre os laboratórios experimentais presentes nas universidades com as indústrias dos centros urbanos. Gonçalves et al. (2010) salientam que as atividades desenvolvidas

no câmpus geram resíduos, tanto sólidos quanto efluentes líquidos. Ainda, segundo Koester et al. (2006), “(...) a entidade de uma universidade ou outra instituição de ensino superior é composta de componentes interdependentes que podem imitar um ecossistema complexo”. Todas as atividades que envolvem o funcionamento e manutenção das instituições causam algum impacto, diretos ou indiretos ao meio ambiente, e a geração de resíduos pode estar contribuindo para esse impacto.

A temática ambiental foi realmente introduzida na gestão das IES na década de sessenta, nos Estados Unidos. Essas experiências conjuntas com profissionais da área de ciências ambientais se desenrolaram ao longo dos anos setenta, mas os primeiros passos mais sérios na área se desenvolveram durante os anos oitenta, com políticas mais específicas voltadas à eficiência energética. Na década de noventa houve a globalização da discussão com a criação da Organização Internacional de Universidades pelo Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (OIUDSMA) fundada em 1995 na Costa Rica (TAUCHEN; BRANDLI, 2006; VAZ et al., 2010). Mason et al. (2003) citam que a importância das universidades na promoção do desenvolvimento sustentável foi destacada em uma série de declarações como a Declaração de Talloires (1990), a Declaração de Halifax (1991), a Declaração de Swansea (1993), Declaração de Kyoto (1993), a Carta Copernicus (1993) e, Os alunos para um futuro sustentável (1995).

Na década de oitenta, aproximadamente 50 instituições de ensino americanas desenvolviam programas de reciclagem, dez anos mais tarde – já na década de noventa – 78% das instituições de ensino superior nos Estados Unidos estavam envolvidas com os programas de reciclagem no câmpus (MASON et al, 2003). As razões, segundo Mason (2003), para programas tão duradouros e bem sucedidos envolveram desde uma política ambiental escrita com o apoio executivo; a criação de um quadro estrutural para o planejamento; provisão de recursos e incentivos; incorporação dos temas de responsabilidade ambiental no currículo; presença de atividades de pesquisa ambientais; boas relações públicas; responsabilização financeira; redução mensurável de custos e desperdícios e desenvolvimento e

formação de lideranças.

Muito se discute o papel da gestão ambiental nos ambientes acadêmicos, porém, Vaz et al. (2010) ressaltam que as IES são muito restritas e pouco exploram o gerenciamento ambiental, corroborando com Tauchen e Brandli (2006) que afirmaram que são poucas as práticas vistas nessa área nas instituições de ensino brasileiras. Com relação à geração de resíduos, o assunto ainda é menos discutido e trabalhado (SOUZA, 2005). Nas universidades cujo papel social ultrapassa o fornecimento de conhecimento e informação e a formação profissional, faz com que sejam indispensáveis a incorporação dos princípios e práticas de gestão ambiental e sustentabilidade em seus campi. Sendo fundamental, como ferramenta educacional, explorar o gerenciamento ambiental e de resíduos para a formação do cidadão, independente do tipo de resíduo a ser descartado e de seu grau de toxidez (LAUDEANO et al., 2011).

Ainda, para agir em conformidade com o Decreto Presidencial nº 5.240 de 25 de outubro de 2006 (BRASIL, 2006) o qual institui “a separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal direta e indireta, na fonte geradora” as universidades federais brasileiras tem a necessidade de fazer o gerenciamento adequado dos resíduos gerados.

3. COMPOSTAGEM

Nos últimos anos há uma atenção crescente no que tange a fração orgânica dos resíduos sólidos municipais. Materiais biodegradáveis, como restos de comida, constituem uma fração significativa entre os resíduos municipais totais gerados em diversos países (CANADÁ, 2013). Em média, 51% dos resíduos sólidos urbanos no Brasil são de matéria orgânica (NADALETI et al., 2015); na França a porcentagem de orgânicos é de 39,6% (BEYLOT; VILLENEUVE, 2013); no Paquistão é de 67% (ZUBERI; ALI, 2015); em Taiwan é de 31% (TSAL, 2007); em Tijuana – México é de 76,75% (AGUILAR-VIRGEN, 2014); Oceania e Austrália em torno de 63% (PHAM, et al., 2015), e a média global é de 53% (ZUBERI; ALI, 2015). A matéria orgânica é todo produto proveniente de corpos organizados contendo basicamente carbono, hidrogênio e oxigênio; é todo composto de carbono suscetível a degradação (LIMA, 1991).

O retorno da matéria orgânica ao solo é uma parte do ciclo de carbono, sendo um componente essencial na conservação dos solos, na produção agrícola e na manutenção de sua fertilidade (CANADÁ, 2013). Ao evitar que essa parcela de resíduos sejam destinados aos aterros sanitários, há uma redução na emissão do gás metano e na produção de lixiviado; a vida útil do aterro sanitário é prolongada; oferece novas oportunidades de empregos diretos e indiretos; há um menor custo na gestão do lixiviado (CANADÁ, 2013), minimiza os riscos para a saúde pública, mantém o ecossistema equilibrado (PHAM et al., 2015), promove um maior rendimento das culturas agrícolas; facilita o reflorestamento e restauração de zonas degradadas, contaminadas e a recuperação de solos marginais e compactados; reduz a massa total de resíduos orgânicos através da remoção de água e sólidos voláteis em até 50% (TCHOBANOGLOUS; KREITH, 2002); fornece economia em torno de 50% em relação a outras tecnologias de remediação, referente à poluição do solo, ar e água e, reduz a necessidade de irrigação, fertilizantes e pesticidas (EPA, 2014). Em

termos de energia, os resíduos orgânicos possuem um grande potencial de geração, dependendo do método selecionado, sendo uma potencial receita a ser explorada (CANADÁ, 2013).

A compostagem é sugerida como o método mais relevante em relação ao tratamento dos resíduos sólidos orgânicos, e mais específico ao tratamento dos restos de alimentos (AGAPIOU et al., 2016). De acordo com a legislação europeia, a compostagem está definida para tratamento de resíduos biodegradáveis de jardins e parques, resíduos domésticos e resíduos de alimentos provenientes tanto dos estabelecimentos comerciais, como restaurantes e bares, bem como de toda a rede de transformação do alimento (UE, 2008). Ainda, a União Européia classifica o tratamento biológico dos resíduos sólidos orgânicos como reciclagem quando o composto é utilizado para a produção de meios de cultura ou aplicado diretamente no solo (UE, 2011; EEA, 2013).

A compostagem foi desenvolvida com a finalidade de se obter mais rapidamente e em melhores condições a estabilização da matéria orgânica (KIEHL, 1998). Pode ser definida como um processo controlado de decomposição microbiana (KIEHL, 1998; CANADÁ, 2013; ORTHODOXOUS et al., 2015; AGAPIOU, 2016; FUSIONS, 2016.), que difere significativamente do processo de decomposição que ocorre na natureza, pois é um processo controlado e monitorado para que condições ideais sejam mantidas (CANADÁ, 2013). Na compostagem a matéria orgânica é transformada, através de processos físicos, químicos e biológicos, em uma matéria mais estável (LIMA, 1991; ORTHODOXOUS et al., 2015;): o composto orgânico, o produto final da compostagem (NETO, 2011).

Através da atividade microbiana presente na massa heterogênea de resíduos, a temperatura atinge estágios termofílicos (temperatura entre 45 a 65°C) (AGAPIOU et al., 2016) favorecendo a estabilização e a desinfecção do material (ORTHODOXOUS et al., 2015; CANADÁ, 2013). Em todo o processo há produção de calor e, desprendimento de gás carbônico e vapor d'água (KIEHL, 1998) e o tempo de degradação pode variar em razão das características dos resíduos utilizados (NETO,

2011) e do processo escolhido (CAMPOS; BLUNDI, 1996), podendo ser melhor analisado na figura 11.

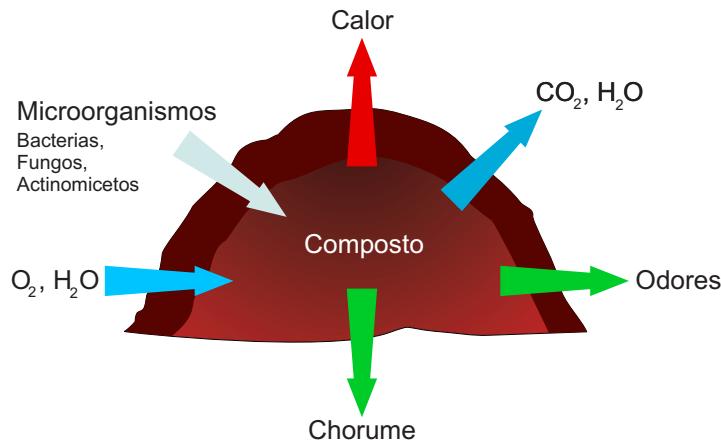


FIGURA 11: Modelo esquemático dos fluxos de calor e gases no interior da leira de compostagem

Fonte: Adaptado de CANADÁ, 2013.

A compostagem é um problema de ecologia complexo, pois envolve uma sucessão de diferentes microorganismos, os quais modificam o meio, e também é afetada pelos fatores químicos e bioquímicos envolvidos no processo. Portanto, o ambiente microbiano não é afetado somente heterogeneidade da população, mas também pela interação entre os microrganismos, os produtos metabólicos microbianos e a liberação enzimática durante o processo conforme os aspectos químicos da matéria orgânica, temperatura, aeração e umidade disponíveis (ELIAS, 2014).

Essas dinâmicas microbianas são afetadas, principalmente, pelo conteúdo de oxigênio disponível; umidade; relação C/N (carbono/nitrogênio) do substrato; densidade aparente; tamanho das partículas do substrato, ou granulometria; e, temperatura (CANADÁ, 2013; GARIBALDI, 2011; ELIAS, 2014; AGAPIOU, 2016). A parte operacional, a montagem da leira, o grau de mistura, aeração e a posição das camadas também podem afetar a dinâmica microbiana (Figura 12).

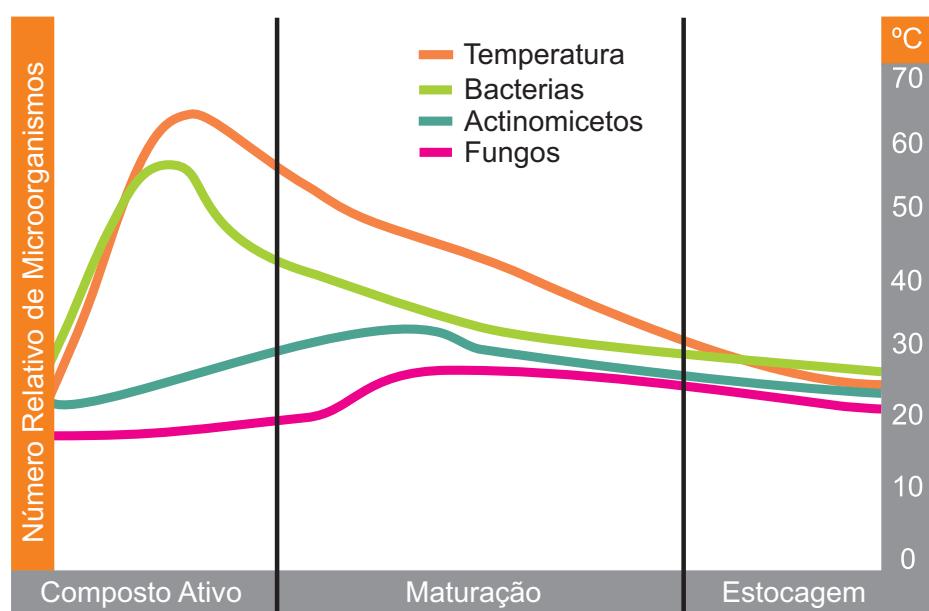


FIGURA 12: Variação na composição da vida microbiana ao longo das diferentes fases de compostagem e também relacionado à temperatura

Fonte: Adaptado de CANADÁ, 2013.

Praticamente todos os resíduos de alimentos podem ser usados na compostagem: cascas e restos de legumes, frutas e vegetais; filtros de café, cascas de ovos e saquinhos de chá; guardanapos usados, papel, papelão; galhos, folhas secas, podas de árvores, palha seca e grama (FEAM, 2006). Os resíduos que não devem ser compostados são aqueles que podem apresentar algum risco à saúde como, materiais cortantes, vidros, metais, tintas, vernizes, filtro de cigarro, papel higiênico; ou aqueles materiais de difícil decomposição, como carnes, peixes, laticínios ou gordura. Também é recomendado evitar alimentos cozidos, cítricos e cebola.

3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

As características físicas se referem aos tipos de materiais presentes nos resíduos a serem tratados (plástico, papelão, folhas, vidros, restos de comida, madeira, tecidos, etc) e estão intimamente relacionadas tanto ao tempo de decomposição, bem como à produção de metano, sendo os resíduos com maior conteúdo de matéria orgânica

aqueles cujo tempo de decomposição é menor (TARAZONA, 2010). A caracterização física dos resíduos a serem tratados constitui um primeiro passo na escolha do tratamento a ser utilizado. Quando quantificados em termos de peso, pode constituir um primeiro passo para avaliar melhor o seu correspondente valor econômico e impacto ambiental, em termos de emissões de gases de efeito estufa gerados, e utilização de terras para a construção de aterros sanitários (FUSIONS, 2016).

Nesse sentido, a determinação do peso específico é de suma importância ao dimensionar um sistema de tratamento de resíduos, visto que vai determinar a capacidade volumétrica do meio de disposição final dos resíduos (LIMA, 1991; IPT/CEMPRE, 2000). As mudanças de hábitos e costumes da sociedade vem modificando gradualmente o peso específico dos resíduos, sendo que a média nos países industrializados fica entre 150 a 300 kgf/m³; no Brasil a média é de 192 kgf/m³ (LIMA, 1991).

Outra característica física a ser considerada é a granulometria. O tamanho das partículas aumenta a porosidade, aumenta a capacidade de aeração e melhora a homogeneização da massa de resíduos. Quanto menor for o tamanho das partículas na mistura dos resíduos, maior será a superfície de exposição aos microorganismos, acelerando o processo de compostagem. Há também um maior consumo de oxigênio, estando associado a uma maior ou menor presença de espaços livres de ar entre as partículas (TCHOBANOGLOUS; KREITH, 2002; CANADÁ, 2013; FEAM, 2006). Segundo Elias (2014), a Trituração de resíduos é recomendada para materiais fibrosos, não sendo recomendada para resíduos orgânicos com baixa relação C/N e elevada quantidade de água, devido ao adensamento da massa de resíduos, que reduz a porosidade, o que pode acarretar em deficiência de oxigênio.

As principais características químicas: oxigênio, umidade, temperatura, relação Carbono/Nitrogênio, são tratadas nos tópicos que seguem.

3.1.1 Oxigênio

A compostagem pode acontecer sem a presença de oxigênio (compostagem anaeróbia) ou com a presença desse gás (compostagem aeróbia). A presença do oxigênio é importante para a manutenção da vida microbiana. Quando há pouco oxigênio disponível, a compostagem se torna mais lenta e pode ocorrer mau cheiro (TCHOBANOGLOUS; KREITH, 2002). O oxigênio também é importante para a oxidação de outras substâncias presentes na mistura de resíduos. É importante que os poros entre as partículas estejam preenchidos com ar, sendo fundamental nas fases termofílica e de humificação, além de evitar maus odores (CANADÁ, 2013).

O oxigênio é fornecido para a composteira através da aeração, que pode ser mecânica, passiva ou forçada. Na mecânica há o uso de materiais para ajudar na aeração; a passiva é feita pela convecção do ar no interior da composteira, e a forçada é quando o ar é forçado a entrar na composteira através de bombas (CANADÁ, 2013; FEAM, 2006). Ao analisar a figura 13, há uma maior demanda por oxigênio na fase de decomposição ativa (fase termofílica), quando ocorre uma elevada taxa metabólica entre os microrganismos presentes. Essa demanda por oxigênio vai diminuindo gradativamente conforme o processo de compostagem avança.

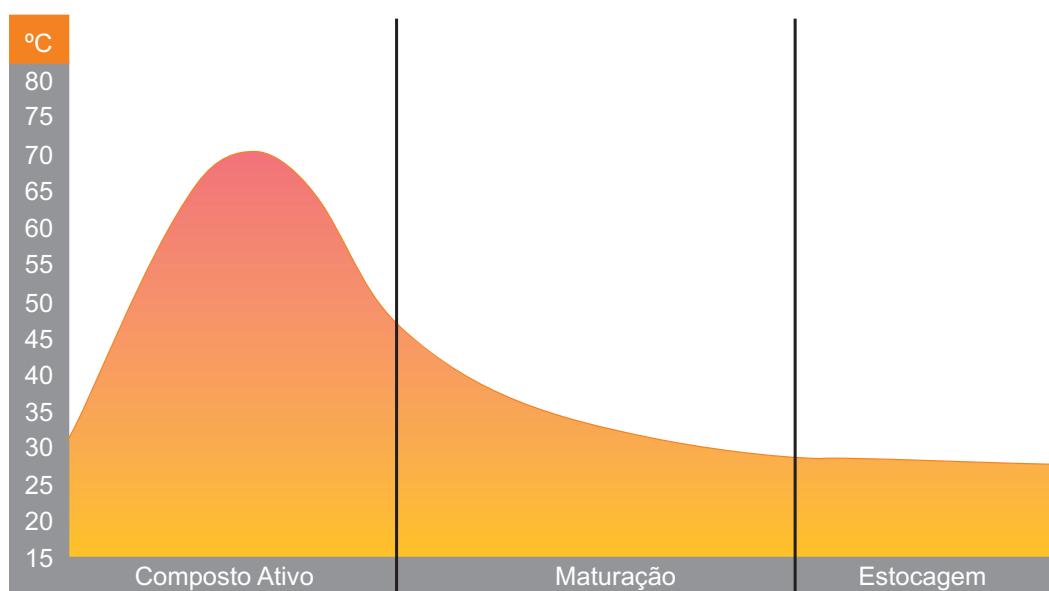


FIGURA 13: Gráfico com a demanda por oxigênio durante as fases da compostagem aeróbia
Fonte: Adaptado de CANADÁ, 2013.

3.1.2 Umidade

A umidade em 60% é importante para um bom funcionamento da composteira, manutenção das atividades biológicas microbianas e varia de acordo com os tipos de materiais presentes na composteira. Umidade em excesso pode causar adensamento e zonas de anaerobiose durante o processo (figura 14), já que os poros da mistura de resíduos acabam ocupados por água. Quanto maior o volume do poro ocupado por água, menor será a quantidade de oxigênio disponível, esse volume intersticial – ou porosidade – pode ser previsto analisando fatores como a granulometria, a configuração das partículas formadas e o tempo de decomposição de cada material (TCHOBANOGLOUS; KREITH, 2002). Entretanto, quando a umidade está inferior a 40% a taxa de estabilização é diminuída (FEAM, 2006; ELIAS, 2014).

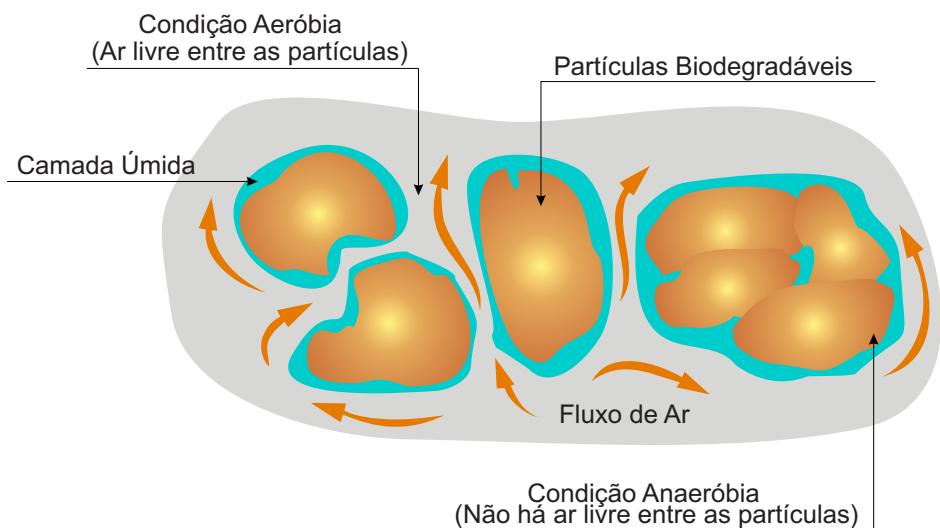


FIGURA 14: Esquemático do adensamento e zonas de anaerobiose no interior da composteira
Fonte: Adaptado de CANADÁ, 2013.

O teor de umidade representa a quantidade de água contida na massa de resíduos e é de grande relevância na escolha do sistema de tratamento de resíduos a ser implantado, pois influencia significativamente no poder calorífico dos resíduos, sendo um fator importante a ser analisado quando os sistemas visam recuperar ou gerar energia. As condições climáticas afetam diretamente no teor de umidade, apesar de ser variável de um lugar para outro, no Brasil o valor médio do teor de umidade

dos resíduos domiciliares fica na ordem de 60% (LIMA, 1991). Na fase termofílica do processo de compostagem, o teor de umidade varia entre 55% a 65% e há um decaimento nesse teor conforme o processo adentra nas fases de maturação e final (Figura 15).

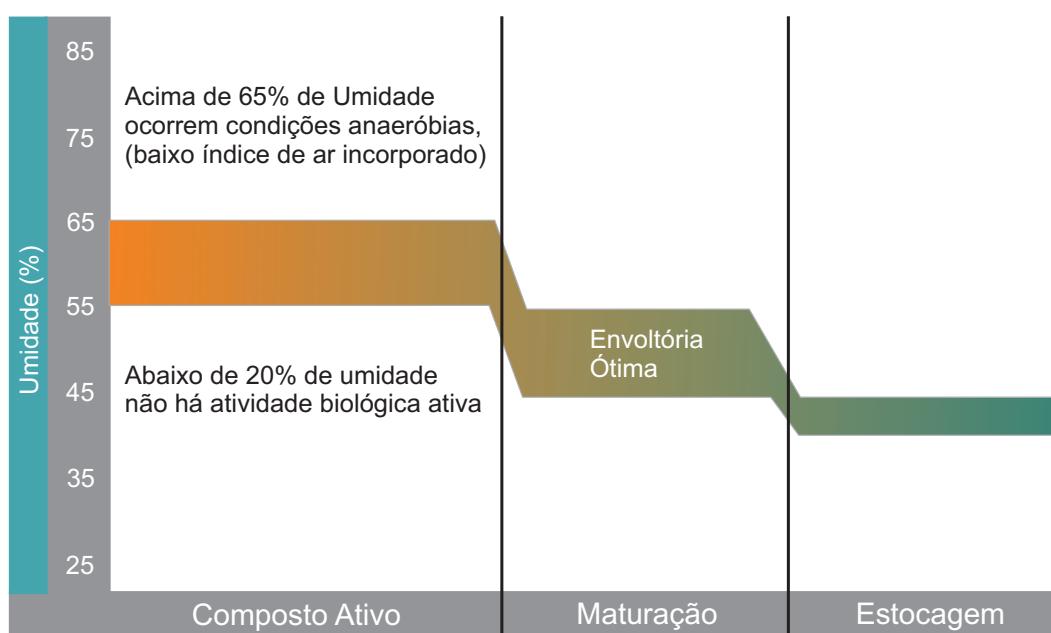


FIGURA 15: Gráfico da perda de umidade durante as fases da compostagem
Fonte: Adaptado de CANADÁ, 2013.

3.1.3 Temperatura

A temperatura é fundamental para o acompanhamento das fases de compostagem e para a desinfecção dos agentes patógenos que podem estar presentes (TCHOBANOGLOUS; KREITH, 2002).

O campo de temperaturas no processo de compostagem está diretamente ligado com os agentes microbiológicos presentes na decomposição dos resíduos. Desta forma, é possível delimitar o início da compostagem (fase termofílica, ou de degradação ativa), bem como as demais fases decorrentes. A figura 16 representa um campo de temperaturas ao longo do tempo de compostagem, delimitando suas principais fases pelas inflexões da curva de temperatura. É possível observar uma região de pico de temperatura na fase termofílica, um decréscimo na fase de maturação e uma estabilização na fase final.

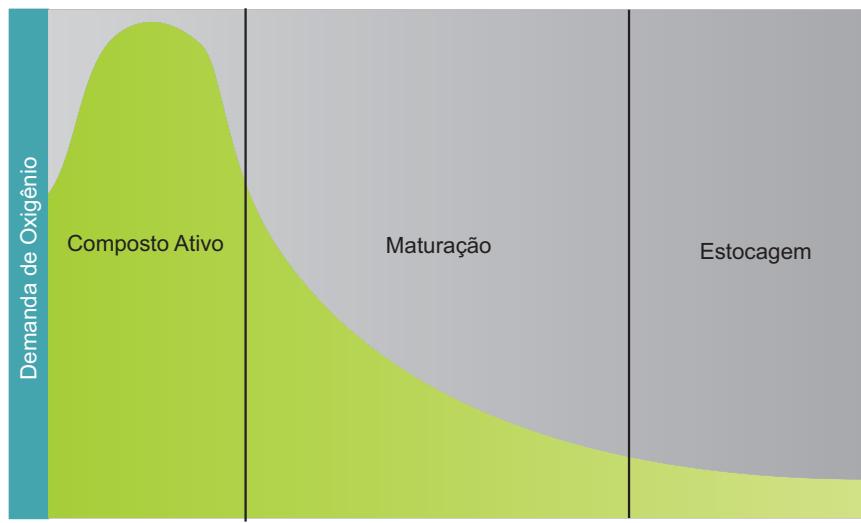


FIGURA 16: Gráfico da perda de umidade durante as fases da compostagem
Fonte: Adaptado de CANADÁ, 2013.

O gradiente de temperatura aponta, a partir dos contornos para o centro da composteira, ou seja, a região central do interior da leira é a região onde ocorrem as maiores temperaturas (figura 17)

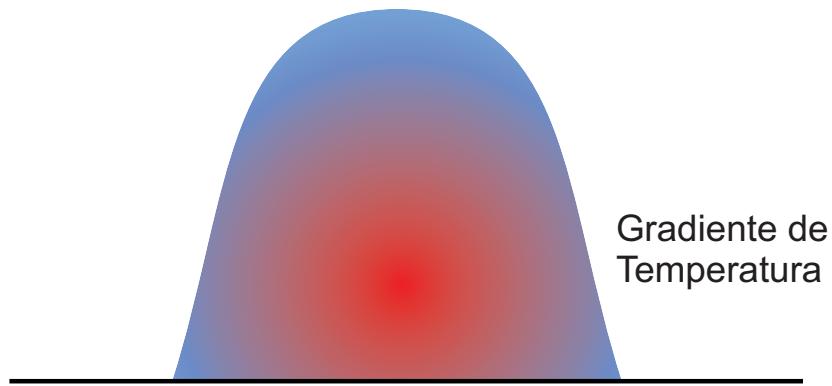


FIGURA 17: Gradiente de temperatura no interior da leira de compostagem
Fonte: Adaptado de CANADÁ, 2013.

3.1.4 Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)

A relação entre carbono e nitrogênio é um dos fatores mais importantes para a compostagem. A velocidade do processo de compostagem varia com relação ao carbono e nitrogênio disponíveis. As relações C/N elevadas podem retardar o processo de decomposição; em relações C/N inferiores a 15/1 pode ocorrer perda de nitrogênio em forma de amônia (TCHOBANOGLOUS; KREITH, 2002).

Os resíduos orgânicos frescos são ricos em nitrogênio, e os restos de grama, palha, poda de árvores, folhas secas correspondem a parcela de carbono. A partir da mistura desses resíduos tem-se a relação C/N da mistura. O valor ideal para que a compostagem ocorra adequadamente é entre 25/1 a 35/1, ou seja, 25 partes de carbono para 1 parte de nitrogênio. Algumas relações entre C/N podem ser visualizadas na tabela 1. Como pode ser observado, os resíduos hortícolas diversos, segundo Lourenço (2004), é de 19/1; e, a relação C/N de folhas secas diversas é de 60:1 (LOURENÇO, 2004).

TABELA 1: Relação Carbono/Nitrogênio de alguns materiais

Material	Relação C:N
Espiga de milho	53 – 123:1
Restos de frutas	20 – 49:1
Restos de vegetais	11 – 13:1
Restos de comida	14 – 16:1
Grama cortada	9 – 25:1
Folhas	40 – 80:1
Apara de árvores	16
Lascas de madeira	200:1
Resíduos de hortícolas geral	19:1

Fonte: Adaptado de Tchobanoglous; Kreith (2002); Canadá (2013); Lourenço (2014).

Na tabela 2 observam-se os parâmetros de monitoramento do processo de compostagem e os valores ótimos para cada parâmetro.

TABELA 2: Condições ótimas de compostagem

Parâmetro	Compostagem ativa	Maturação	Estocagem do composto
Concentração de oxigênio	13 a 18%		
pH	6,5 a 8		
Granulometria	Partículas entre 3 a 50mm		
Temperatura	55°C a 65°C	Inferior a 50°C	Ambiente
Umidade	55% a 60%	45% a 55%	40% a 45%
C:N	25 : 1 a 35 : 1	18 : 1 a 23 : 1	15 : 1 a 20 : 1

Fonte: Adaptado de CANADÁ, 2013.

3.1.5 Métodos de compostagem

Os métodos de compostagem podem se diferenciar com relação ao porte, a tecnologia empregada, custos, mão de obra, aeração, área ou se é realizado em pilhas, leiras ou reatores. Os autores Tchobanoglous e Kreith (2002) classificaram os métodos de compostagem com relação a presença, ou não, de oxigênio e em sistema de leiras ou sistemas fechados.

Os sistemas utilizando leiras se diferenciam entre si com relação ao tipo de aeração utilizado: agitação; aeração forçada, ou revolvimento (TCHOBANOGLOUS; KREITH, 2002; CANADÁ, 2013). Os tipos de leiras podem ser: leiras revolvidas, leiras estáticas aeradas, ou uma combinação entre esses métodos. Na aeração forçada, a leira é construída sob uma superfície a qual o ar é injetado, através de uma bomba, para dentro da leira. Nas leiras revolvidas o processo de revolvimento, mistura e aeração são feitos utilizando pás, tratores, hélices, dependendo da área utilizada e da tecnologia empregada (TCHOBANOGLOUS; KREITH, 2002).

Na tabela 3 são descritas as principais características dos sistemas de aeração ativa, como o tempo médio da fase termofílica, a capacidade mínima de resíduos a serem utilizados e alguns custos médios envolvidos.

TABELA 3: Principais características do uso de sistemas de aeração ativa

Características	Pilha estática aerada	Pilhas estática aerada coberta	Túneis estáticos aerados	Container estático	Container agitado	Cama agitada	Tambor rotacionado
Local	<i>outdoor/ indoor</i>	<i>outdoor/ indoor</i>	<i>indoor</i>	<i>outdoor</i>	<i>outdoor/ indoor</i>	<i>indoor</i>	<i>outdoor/ indoor</i>
Capacidade média (kg)	1000 a 10000	1000 a 100000	10000 a 100000	300 a 30000	100 a 15000	15000 a 100000	100 a 100000
Folhas e resíduos de jardinagem	bem aceito	bem aceito	bem aceito	bem aceito	bem aceito	bem aceito	bem aceito
Resíduos de alimento	bem aceito	bem aceito	bem aceito	bem aceito	bem aceito	bem aceito	bem aceito
Tempo da fase termofílica (média)	2 a 6 semanas	3 a 8 semanas	2 a 4 semanas	2 a 4 semanas	2 a 4 semanas	3 a 4 semanas	1 a 7 dias
Método de aeração	aeração forçada	aeração forçada	aeração forçada	aeração forçada	aeração forçada com aeração mecânica	agitação mecânica	aeração forçada com aeração mecânica
Área médio requerido	Baixo/médio	Baixo/médio	Baixo	Baixo/médio	Baixo/médio	Baixo	Médio/grande
Controle de odor	Médio	Médio/alto	Alto	Baixo/médio	Baixo/médio	Baixo	Médio/alto
Pós processamento	Maturação	Maturação	Maturação	Maturação	Maturação	Maturação	Maturação
Consumo de energia	Médio	Baixo/médio	Médio	Médio	Médio/alto	Médio/alto	Alto
Custo manutenção	Baixo/médio	Médio	Médio/alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Custo de construção	Médio	Médio	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto

Fonte: Adaptado de CANADÁ, 2013.

Analisando o método do tambor rotacionado, observa-se que o método é bem aceito para o tratamento de resíduos de origem orgânica (como resíduos de alimentos e resíduos de jardinagem), opera tanto com quantidades pequenas de resíduos (100 kg até 100 toneladas) e o tempo médio da fase termofílica é o menor entre os métodos expostos pela tabela 3, entre 1 a 7 dias.

As leiras estáticas com aeração natural (tabela 4) consistem em amontoar o material a ser compostado em filas de estrutura piramidal com base retangular perpendicular ao solo, alternando camadas de resíduos com galhos, folhas secas, palhas, etc. Faz-se necessário um cuidado com a impermeabilização do solo, visto que pode ocorrer lixiviado. As características principais desse tipo de leira são: formato retangular e perpendicular ao solo (ELIAS, 2014); a aeração é feita de maneira natural, por convecção de ar; o processo de decomposição é mais lento; é mais recomendado para áreas abertas (TCHOBANOGLOUS; KREITH, 2002), e distante de zonas urbanas, pois podem produzir odor e atrair vetores. O tamanho e forma das pilhas é importante para um bom funcionamento do processo de compostagem. Recomenda-se que essas pilhas tenham, no mínimo, 2 metros de base por 1 metro de altura, porém elas podem chegar até no máximo a 5 metros de altura, pois quanto maior o tamanho da pilha, maior a chance de zonas de anaerobiose (CANADÁ, 2013).

As leiras revolvidas são o tipo mais comum de compostagem. O sistema de funcionamento é semelhante ao das leiras estáticas de aeração natural, porém nesse método é utilizado o revolvimento, mistura do material da leira, promovendo uma melhor aeração e uma redução no tempo total do processo de compostagem (TCHOBANOGLOUS; KREITH, 2002; CANADÁ, 2013).

A tabela 4 apresenta as principais características dos sistemas de aeração passiva.

TABELA 4: Principais características do uso de sistemas de aeração passiva

Características	Pilhas estáticas	Bunkers	Leiras	Leiras aeradas passivas
Local	<i>outdoor</i>	<i>outdoor</i>	<i>outdoor</i>	<i>outdoor</i>
Capacidade média (inferior a)	10000 kg	500 kg	50000 kg	15000 a 50000 kg
Folhas e resíduos de jardinagem	bem aceito	bem aceito	bem aceito	bem aceito
Resíduos de alimento	não	não	bem aceito	não
Tempo da fase termofílica (média)	2 a 3 anos	2 a 6 semanas	3 a 12 meses	1 a 2 anos
Método de aeração	passiva	passiva	passiva com aeração mecânica	passiva
Área médio requerido	Grande	Médio/grande	Médio/grande	Grande
Controle de odor	Baixo	Baixo	Médio/baixo	Baixo
Pós processamento	Maturação	Maturação	Maturação	Maturação
Consumo de energia	Não se faz necessário	Não se faz necessário	Não se faz necessário	Não se faz necessário
Custo com manutenção	Baixo	Baixo	Médio/Baixo	Baixo
Custo de construção	Baixo	Baixo	Médio/Baixo	Baixo

Fonte: Adaptado de CANADÁ, 2013.

Embora os custos com construção, manutenção e energia sejam baixos nos sistemas de aeração passivos, é possível observar que o tempo médio da fase termofílica é de 1 ano, tempo muito maior do que o encontrado no método de aeração ativo. Os resíduos de alimento não são bem aceitos em praticamente todos os métodos, excetuando as leiras tradicionais.

Baseado nos métodos de compostagem estudados, na quantidade e tipo de resíduo a ser tratado, tempo e espaço disponíveis, os métodos desenvolvidos no presente trabalho podem ser definidos como:

- Com presença de oxigênio em sistema fechado em tambor rotacionado com aeração manual;
- Sem presença de oxigênio em sistema fechado baseado em reator;

3.1.5.1 Compostagem Aeróbia

De uma maneira geral, a compostagem aeróbia, ou seja, com a presença de oxigênio, pode ser dividida em 3 fases. Segundo Kiehl (1998): fitotoxicidade ou, composto imaturo; bioestabilização ou, semicura; maturação ou humificação. O processo é desenvolvido por uma população diversificada de microorganismos que, na fase de bioestabilização, apresentam degradação ativa (necessariamente termofílica, na faixa de 45°C a 65°C) e, posteriormente, maturação ou cura. Na maturação, quando ocorre a humificação da matéria orgânica, a temperatura do processo deve permanecer na faixa mesofílica, ou seja, menor que 45°C (NETO, 2011).

As substâncias mais suscetíveis à biodegradação – aminoácidos, proteína e carboidratos - proporcionam uma fonte primária de energia e carbono para os microrganismos na primeira fase da compostagem, principalmente para as bactérias (CANADÁ, 2013; ELIAS, 2014). Há uma expansão das colônias de microorganismos mesófilos, por isso também há um aumento na demanda por oxigênio (TCHOBANOGLOUS; KREITH, 2002; ELIAS, 2014). Conforme o processo de decomposição vai se intensificando, a temperatura do meio tende a subir. Esse processo pode durar entre 15 horas ou até 3 dias, dependendo do material a ser

compostado, das condições de manejo e de fatores externos, como estação do ano, chuvas ou vento (CAMPOS; BLUNDI, 1998; FEAM, 2006) .

Quando a temperatura atinge em torno de 45°C a segunda fase do processo, a fase de bioestabilização ou termofílica, tem início. Nessa fase as temperaturas podem variar entre 45°C a 65°C, há intensa degradação microbiana, principalmente da celulose, hemicelulose, lipase, protease, fosfatase e arisulfatase (KIEHL, 1998; CARLESSO, et al. 2011; ELIAS, 2014) sendo a fase a qual necessita de um monitoramento mais intenso, pois pode ocorrer mal cheiro, lixiviado ou atrair insetos e animais (CANADÁ, 2013).

A última fase, de maturação, é representada pela queda nas atividades biológicas, é mais lenta, há uma maior colonização do substrato por fungos e bactérias mesófilos (FEAM, 2006; CARLESSO et al., 2011; ELIAS, 2014). A presença de actinomicetos prevalece nessa fase e são importantes para a conversão do nitrogênio em formas mais assimiláveis pelas plantas (CANADÁ, 2013). Ainda, as substâncias orgânicas são mineralizadas disponibilizando nutrientes (KIEHL, 1998; ELIAS, 2014).

3.1.5.2 Compostagem Anaeróbia

A compostagem anaeróbia é o processo de decomposição dos resíduos sem a presença ativa do oxigênio. Nesse tipo de compostagem produz-se o gás metano (CH_4) um dos gases que tem influência negativa no efeito estufa, porém, quando capturado, é um combustível e fonte de energia limpa: o biogás (THEMELIS; ULLOA, 2005; MAMBELI BARROS, 2014; ZUBERI; ALI, 2015).

O biogás produzido no processo de decomposição anaeróbia é o resultado de processos físicos, químicos e microbianos que ocorrem nos resíduos (LOMBARDI et al, 2006; AGUIAR-VIRGEN et al, 2014). Devido à natureza orgânica da maior parte dos resíduos, os processos microbianos são os mais importantes para a geração de biogás (AGUIAR-VIRGEN et al., 2014), o qual é produzido sob condições anaeróbias pela biodegradação dos resíduos, e sua composição geralmente varia entre 40-45 vol% de dióxido de carbono (CO_2), e entre 55-60 vol% de metano (CH_4) (KAPDI

et al., 2005; THEMELIS; ULLOA, 2005; BEYLOT et al., 2013; XYDIS et al., 2013; CAROLINO; FERREIRA, 2014; LAKHOUIT et al., 2014; MAMBELI BARROS et al., 2014).

O uso de energias renováveis, como o biogás, se torna uma estratégia econômica-ambiental, visto que o biogás tem a capacidade de utilizar uma ampla variedade de matérias primas biodegradáveis como resíduos comerciais, industriais e municipais (PATTERSON, 2011), além de ser bastante atrativo devido ao seu menor custo de produção e aos baixos impactos ambientais quando comparado aos outros biocombustíveis (DIVYA et al., 2015). O biogás tem sido avaliado como uma das tecnologias energéticas mais eficiente, e ambientalmente benéfica, para a produção de bioenergia (WEILAND, 2010; ZUBERI; ALI, 2015). O poder calorífico é suficientemente alto para permitir a sua utilização como combustível em processos de combustão, tais como aqueles em motores de combustão interna, em turbinas e microturbinas, aquecedores e fornos, além disso, pode ser aproveitado para a geração de energia elétrica (BOVE; LUGHINI, 2006; WEILAND, 2010; AGUIAR-VIRGEN et al., 2014; MAMBELI BARROS, 2014).

Os micro-organismos metanogênicos auxiliam na decomposição dos resíduos orgânicos e produzem o gás metano (CH_4). São três as principais bactérias que participam desse processo: bactérias fermentativas acidogênicas, bactérias acetogênicas e as bactérias metanogênicas acetoclásticas e hidrogenotróficas (MORITA; SASAKI, 2012). As bactérias fermentativas acidogênicas são as primeiras a atuarem na decomposição, portanto, participam da primeira fase de reação chamada acidogênicas. Essas bactérias fazem a fermentação dos carboidratos, proteínas e lipídios e os transformam em cetonas (acetona), ácidos graxos voláteis (ácidos acético, propiônico e butírico), hidrogênio (H), dióxido de carbono (CO_2) e álcool (etanol) (AQUINO, 2005). Na segunda fase, os micro-organismos sintróficos acetogênicos convertem os ácidos graxos voláteis – principalmente propionato e butinato - em acetato, H e CO_2 . Essas bactérias são chamadas sintróficas, pois elas dependem diretamente de bactérias consumidoras de hidrogênio, como as

metanogênicas hidrogenotróficas (AQUINO, 2005). Neste consórcio microbiano, as bactérias metanogênicas acetoclásticas são as mais importantes, visto que 70% da produção de metano nos reatores são gerados nesta fase. O metano também é produzido pela “respiração anaeróbia”, que nada mais é do que a redução do dióxido de carbono e do propionato pelas bactérias metanogênicas hidrogenotróficas, essa reação contribui com os 30% restantes da produção de metano nos reatores (AQUINO, 2005).

Na tabela 5 tem-se os principais tipos de bactérias presentes nas quatro fases do processo de compostagem anaeróbia, o que é consumido pelas bactérias e o produto gerado por elas em cada fase.

TABELA 5: Resultado da decomposição de resíduos por tipo de bactérias

Tipo de Bactéria	Consumo	Produto
Fermentativas acidogênicas	Proteínas, Lipídios e Carboidratos	Ácidos graxos voláteis, H , CO_2 e álcool
Acetogênicas	Ácidos graxos e álcool	Acetatos, H e CO_2
Metanogênicas acetoclásticas	Acetato	CH_4
Metanogênicas hidrogenotróficas	H e CO_2	CH_4

Fonte: Adaptado de AQUINO et al., 2005.

É sabido que o processo químico que ocorre no processo de compostagem anaeróbio é influenciado por diversos fatores (temperatura, umidade, granulometria, pH). Por exemplo, resíduos de alimentos, que são altamente degradáveis, tendem a produzir biogás mais rápido, porém por um curto período de tempo (ZUBERI; ALI, 2015).

Assim como no processo de compostagem aeróbio são necessários cuidados com alguns parâmetros físico-químicos, na compostagem anaeróbia alguns fatores devem ser controlados de modo a aumentar a atividade microbiana e, assim, melhorar a eficiência do processo (MONNET, 2003). Parâmetros como temperatura, teor de umidade, a composição dos resíduos descartados e a diversidade de substratos (MANNA et al., 1999; BOVE;LUGHINI, 2006; NADALETI et al., 2015) são exemplos desses fatores:

- Temperatura: A digestão anaeróbia pode acontecer entre duas condições de temperatura: mesofílica entre 20 a 45°C, geralmente 35°; ou termofílicas, entre 50 a 65°C, geralmente 55°C (MONNET, 2003; MUZENDA, 2014).
- Tempo de retenção: O tempo de retenção é o tempo necessário para alcançar uma completa degradação da matéria orgânica (MONNET, 2003). Esse tempo pode variar de acordo com a composição do substrato, temperatura e o tipo de digestor utilizado. Em climas amenos o tempo de retenção pode variar entre 30 a 50 dias; em climas frios pode ser mais do que 100 dias. Na Alemanha o tempo de retenção pode variar entre 50 a 100 dias, por exemplo, (MUZENDA, 2014). Para um tempo de retenção é muito longo, digestores maiores se fazem necessários.
- pH : As bactérias metanogênicas têm seu desenvolvimento ótimo em valores de pH mais próximos ao neutro. Porém, deve-se lembrar de que durante a fase acidogênica o pH cai, tornando o sistema mais ácido. Um pH menor que 6,0 e maior que 8,0 pode ser tóxico para as bactérias metanogênicas (TARAZONA, 2010). Sendo assim, o pH ideal é próximo ao neutro (entre 6,4 e 7,6) (MORITA; SASAKI, 2012).
- Relação C/N: Os resíduos sólidos urbanos, quando no aterro sanitário, costumam ter uma relação de Carbono e Nitrogênio (C/N) de 50/1 (TARAZONA, 2010). Essa relação alta entre Carbono e Nitrogênio pode resultar em uma baixa produção de metano, já que há um rápido consumo do nitrogênio pelas bactérias metanogênicas. Já uma baixa relação entre C/N pode causar acúmulo de amônia, tornando o pH tóxico para as bactérias metanogênicas (MUZENDA, 2014). Portanto, a relação ótima entre C/N é de 30/1, pois dessa maneira há uma estabilização anaeróbia (TARAZONA, 2010).

4. INSTRUMENTAÇÃO

O surgimento das tecnologias de prototipagem rápida, como impressoras 3D, infraestrutura de microcontrolador de código aberto e, eletrônicos de baixo custo, tem levado pessoas em todo o mundo a se interessarem pelo desenvolvimento de produtos eletrônicos em casa. O crescimento desse tipo de tecnologia “homemade” é devido, principalmente, ao baixo custo; a facilidade de uso; a possibilidade de customização e; ser acessível num âmbito de desenvolvimento de pesquisa, com uma extensa gama de aplicações em laboratórios de pesquisa e instituições educacionais (WALZIK et al, 2015).

No âmbito da pesquisa científica, muitos laboratórios ao redor do mundo enfrentam a necessidade de construir seus próprios sistemas. De fato, esta é uma característica inerente à pesquisa, onde novos fenômenos a serem investigados exigem ferramentais específicos para a sua investigação. Enquanto alguns instrumentos são muito complicados de serem desenvolvidos internamente e requerem assistência profissional e ferramentas prontas da indústria, muitos são simples o suficiente para serem desenvolvidos dentro do próprio ambiente de pesquisa contando com o auxílio dos grupos de pesquisa da universidade. Nos últimos anos, a comunidade científica descobriu que a eletrônica de código aberto para monitoramento e controle de *hardware* pode ser uma boa saída para a problemática apresentada (KOENKA et al., 2014).

Atualmente, dados os avanços na tecnologia da informação e ao aumento da conectividade entre os dispositivos, as interfaces digitais emergiram como a melhor maneira de manipular sensores e processar os dados adquiridos (DELGADO-CASTRO; ROJAS-BOLAÑOS, 2015). Entre as inúmeras plataformas baseadas em microcontroladores que estão disponíveis, pode-se citar o kit de microcontroladores *MSP430*; *STM8L Discovery* para o desenvolvimento de sistemas embarcados; *Waspmove* da *Liberium* que serve como controle para diversos sensores de automação

residencial e, o mais popular, *Arduino* (FUENTES et al., 2014).

A placa mais utilizada é a *Arduíno UNO*, que utiliza um chip de 28 pinos ligado a um circuito integrado. Isto permite que a criação do código usado fique guardada no chip, que pode ser colocado em outra placa de circuito (personalizada), evitando que o produto final encareça, já que a placa Arduíno original pode ser relativamente cara no Brasil. Para programar essa placa, usa-se o ambiente de desenvolvimento integrado (*IDE*) do Arduíno, onde a linguagem de programação é baseada em *C++*, permitindo que as instruções sejam escritas e que posteriormente seja feito o *upload* das informações diretamente à placa, dessa forma ela é capaz de executar essas informações e interagir com o que estiver conectado à mesma (MCROBERTS, 2011).

4.1 Sistema de Aquisição de Dados (SAD)

Um sistema de aquisição de dados trabalha através de um processo que faz a captura dos dados físicos de medição e depois converte os resultados em um formato digital que é manipulado por um programa de computador (KOS et al., 2012; SUNPHAO et al., 2012).

Ainda de acordo com Kos et al. (2012), existem três tipos básicos de sistemas de aquisição de dados: sistemas de aquisição modular, sistemas baseados em instrumentos autônomos e sistemas baseados em computador.

Sistemas de aquisição modulares são geralmente conectados a um barramento local específico (de *Ethernet* como VXI ou PXI). Esses barramentos permitem uma configuração mais poderosa de aquisição de dados e podem ser utilizados em aplicações para controle de instrumentos, e tem algumas vantagens como: o controle remoto dos instrumentos, compartilhamento entre diferentes usuários em diferentes localidades, uma integração mais fácil e a publicação de resultados. Embora *Ethernet* seja recente para aplicações que envolvam controle de instrumentos, esta é uma tecnologia madura que é amplamente difundida em sistemas de medição. Com

mais de 100 milhões de computadores utilizando o protocolo TCP/IP no mundo todo, as possibilidades para utilização desse barramento para o controle de instrumentos está aumentando. Ao utilizar os barramentos de *Ethernet* para o controle de instrumentos, é necessário um maior cuidado com as taxas de transferência (para esses barramentos as taxas de transferência são entre 10 Mb/s a 100 Mb/s), já que essas taxas de transferência não implicam que as transferências da aplicação atinjam esse desempenho. A própria natureza da rede não pode ser determinística em assegurar a taxa de transferência de dados, principalmente quando há o uso compartilhado do barramento por múltiplos dispositivos. Os sistemas de aquisição modulares são usados, principalmente, para sistemas com uma necessidade de crescimento futuro.

Os sistemas baseados em instrumentos autônomos são independentes do barramento do computador, mas têm a capacidade de se conectar a ele via comunicação serial ou paralela. Eles são usados principalmente em aplicativos que exigem a captura de um grande número de variáveis (KOS et al., 2012).

Sistemas baseados em computador são responsáveis por realizar a conversão de sinal analógico para digital e, em seguida, o computador executa o processamento, armazenamento e visualização. Pode ser conectado ao computador via barramento, ou sem fio, dependendo da aplicação (KOS et al., 2012).

Existem muitas aplicações para o uso de SAD, não apenas na área da indústria, mas também na pesquisa, como pode ser citado: o uso de SAD's de baixo custo em astronomia (KUNWAR et al., 2015); para o monitoramento fotovoltaico (FUENTES et al., 2014); para medições precisas (FERRERO-MARTÍN et al., 2014; WAGNER et al., 2015); sistemas de energias renováveis (KALAITZAKIS, 2003; GAD; GAD, 2015).

Uma aplicação do Arduino operando como sistema de aquisição de dados foi desenvolvida por Wagner et al. (2015) que testaram a eficiência deste sistema com sensores de aceleração de baixo custo, comuns em telefones celulares e *strain gages*, com aplicação em análise dinâmica de estruturas civis. O SAD em Arduino foi comparado com um SAD profissional e apresentou erros menores do que 5%.

Sunphao et al. (2012) citaram o avanço da tecnologia em circuitos eletrônicos integrados, criando uma nova plataforma no sistema de aquisição de dados, os SAD baseados em microcontroladores, cuja popularidade está associada com baixo custo quando comparado ao SAD convencional.

Os SAD baseados em microcontroladores podem funcionar de maneira híbrida entre o SAD baseado em computador e o SAD baseado em instrumentos autônomos, já que utilizam o barramento da *Ethernet*. Os sensores (instrumentos autônomos) são conectados ao microcontrolador (que faz a comunicação com os sensores através da programação contida na própria memória). O microcontrolador se comunica com o computador (via cabo USB)¹. O computador executa o processamento, armazenamento e visualização dos dados. Portanto, o microcontrolador aquire os dados (em bites) referentes aos sensores e transmite esses dados para o computador (figura 18).

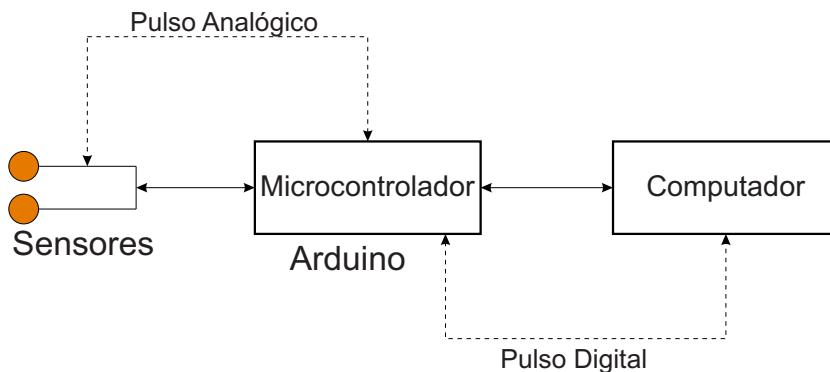


FIGURA 18: Modelo esquemático da instrumentação

Fonte: Autoria própria.

4.1.2 Arduíno

A principal característica do Arduíno é que ele foi projetado de uma maneira simples. Ele foi criado, em 2005, no “*Interaction Design Institute Ivrea*”, na Itália,

¹O USB foi projetado inicialmente para conectar dispositivos periféricos como teclado e mouse em computadores pessoais. O uso dos barramentos USB podem não ser tão convenientes, quando comparado com outros barramentos, já que os cabos USB não apresentam a robustez necessária em um ambiente industrial, implicando na degradação dos dados em ambientes com alto índice de interferência, bem como a falta de um mecanismo que previna a desconexão acidental dos cabos. Ainda, a topologia do sistema USB permite uma distância máxima de 30 m entre o controlador USB e o dispositivo, mesmo após o uso de repetidores (National Instruments).

como um sistema que permitiu aos alunos desenvolver projetos interativos (MESAS-CARRASCOSA et al., 2015). Tanto seu *hardware* quanto o seu *software* são de fonte aberta, ou seja, não há *royalties* nem a necessidade de pagar pelo uso do equipamento, ou do programa, tornando mais fácil o desenvolvimento de sistemas usando a eletrônica de microcontroladores, além de reduzir os custos envolvidos e ainda colaborar com o compartilhamento de projetos e programas pela internet. Essa placa torna possível a conexão com placas de LED, botões, motores, sensores ou qualquer outro dispositivo que possa enviar dados e ser controlado. Portanto, de acordo com MCRoberts (2011), um Arduíno é, “(...) um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele.”

Logo após a sua criação, o Arduino começou a ser usado em projetos de *hobby*, como drones e robôs (MESAS-CARRASCOSA et al., 2015), devido a sua simplicidade, para o controle de *hardware*, tornou-se uma plataforma conveniente para o rápido desenvolvimento de dispositivos eletrônicos (AL-KADI et al., 2013; AKHMETOV; AITIMOV, 2015). Uma das principais razões para as placas Arduino surgirem rapidamente como uma opção atraente para a gestão de sensores, e também como um importante recurso para a aquisição de dados, se dá em parte porque não envolve um investimento monetário significativo para o utilizador (DELGADO-CASTRO; ROJAS- BOLAÑOS, 2015). Ferdoush e Li (2014) citam a falta de confiabilidade, flexibilidade, escalabilidade, interoperabilidade e a dificuldade de operabilidade e manutenção de implantações de longo prazo como os principais obstáculos para a tecnologia de sensores se tornarem uma transformação no campo da ciência e engenharia.

Os componentes básicos de um Arduíno são: um microcontrolador (Atmel AVR); um oscilador, que funciona como um relógio para que a placa opere na velocidade correta, e; um regulador linear de 5 volts. Possui os pinos de entrada e saída expostos para facilitar a conexão com outros circuitos e sensores e, pode vir com uma saída USB para que possa ser conectado a um computador. O microcontrolador tem uma

velocidade de *clock* de 16 MHz. Suas características incluem memória *flash* de 32 KB com recursos de leitura e gravação; EEPROM de 1 KB; SRAM de 2 KB; 23 linhas de E/S de uso geral (GPIO); 32 registradores de trabalho de uso geral; três contadores flexíveis com modos de comparação e interrupções externas; UART serial programável; uma interface serial de 2 fios orientada por *bytes*; porta serial SPI; conversor A/D de 6 canais e 10 bits; temporizador de *watchdog* programável com oscilador interno; conexão USB e cinco modos de economia de energia selecionáveis pelo *software* (ABRAHAM; LI, 2014).

A arquitetura do Arduino UNO é baseada no microcontrolador (ATMega328P), contendo uma porta ADC (*Analog to Digital Converter*) que é internamente multiplexada em 8 portas. Este multiplexador chaveia as entradas e envia o sinal da porta selecionada, em dado instante, a partir de uma requisição programada no *firmware* (memória interna) do Arduino, que então recebe o dado sinal, em suas portas ADC nativas. A multiplexação de portas se faz fundamental ao se trabalhar com um número maior do que 9 entradas/saídas analógicas. Um Arduino pode ser conectado a uma placa de circuito integrada separada equipada com circuitos de interface para adaptar os sinais de diferentes componentes de um sistema experimental e, dessa forma, controlar e monitorar de maneira autônoma (KOENKA et al., 2014).

4.1.3 Sensores

Segundo o fabricante, os sensores de temperatura DS18B20 (figura 19) podem funcionar entre 9 a 12 bits, requerem apenas uma porta para a comunicação com o microcontrolador, e não necessitam de fonte de alimentação externa. Pode operar em uma faixa de temperatura entre – 55°C a 125°C, tendo uma precisão de +- 0,5°C na faixa entre -10°C a 85°C (MAXIM INTEGRATED, 2015). A característica mais importante desses sensores é que cada um deles possui um código serial de 64 bits único, o que permite emitir pulsos de temperatura e identificação, sendo possível um fácil endereçamento (MAXIM INTEGRATED, 2015). Essa facilidade torna a programação mais limpa e o tratamento de dados mais eficiente.



FIGURA 19: Sensor de temperatura DS18B20

Fonte: Maxim Integrated (2015)

Como o sensor DS18B20 possui um circuito integrado que envia o pulso calibrado de temperatura para o Arduino. Contudo, o sensor requer uma biblioteca específica para leitura destes dados no microcontrolador Arduíno.

O sensor de umidade de solo LM 293 (figura 20) detecta a variação da umidade do solo e pode operar em uma faixa de temperatura entre -25°C a 85°C (FAIRCHILD, 2015).

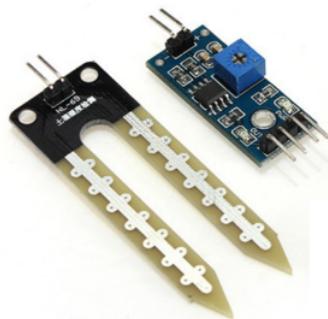


FIGURA 20: Sensor de umidade

Fonte: Fairchild (2015)

A calibração do sensor de umidade é feita de maneira linear, sendo que 100% corresponde a 1023 bites (valor máximo) e zero corresponde a 0% de umidade. Logo, a conversão de bits para umidade (em %) é dada pela equação 1:

$$U(\%) = \frac{P_d}{1023} \cdot 100, \quad (1)$$

onde P_d é a intensidade do pulso, em bits.

4.1.4 Python

O microcontrolador presente na placa Arduino possui uma capacidade de armazenamento limitada a 32 Kb, e a linguagem de programação criada para o desenvolvimento dos *sketches* do Arduino objetiva apenas o alcance de recursos operacionais simples, como o controle de entrada e saída de sinal. Quando o problema se torna complexo, há a necessidade de utilizar uma linguagem de programação que possa se comunicar com a placa de modo a aquirir, armazenar e tratar os dados. Neste sentido, uma das linguagens que pode ser utilizada nessa conexão é a linguagem Python.

Python é uma linguagem de programação que foi criada no início dos anos 90 (VAN ROSSUM, 2009) e ganhou uma grande comunidade de usuários devido, principalmente, à facilidade e flexibilidade com relação a escrita do código (VENNERS, 2003). Atualmente, a linguagem Python é uma das mais utilizadas em todo o mundo, possuindo muitas comunidades de *softwares* livres. No âmbito das engenharias, a linguagem Python oferece ferramentas gratuitas como o NumPy (pacote de *arrays*), o SciPy (pacote de rotinas científicas) e o MatPlotLib (pacote de visualização gráfica) (VAN DER WALT et al., 2001).

Sendo o Python uma linguagem desenvolvida para propósitos diversos, muitos pacotes, rotinas e sub-rotinas estão disponíveis em comunidades abertas na internet que realizam diversas soluções. Pacotes para leitura de sinais de microcontroladores já foram desenvolvidos, os principais a serem citados são o PySerial e o PyDuino.

PySerial e Pyduino são bibliotecas *wrapper* que fazem a comunicação entre o Arduino e o Python, via linha de código presente no *sketch* armazenado na placa, e o computador. Ou seja, o programa Python operando no computador envia alguns caracteres para a placa Arduino, através do *sketc* pré carregado na placa associado à

biblioteca (Pyduino ou Pyserial), que vai interpretar a mensagem e executar a tarefa. Dessa maneira, as bibliotecas implementam uma comunicação bidirecional sobre a conexão serial com o Arduino, enviando textos que codificam as operações a serem executadas na placa e analisando as mensagens retornadas. O Arduino somente faz a comunicação de dados em bites, portanto, faz-se necessário a conversão de unidades ao fazer a comunicação entre o Python e o Arduino.

A interface é compatível com todas as plataformas e sistemas operacionais, o acesso às configurações das portas de entrada e saída se dão através do Python, pode operar com ou sem tempo limite de recebimento, possui suporte para diferentes tamanhos de bytes são algumas vantagens da utilização das bibliotecas.

5. TRATAMENTO DE DADOS

5.1 Ajuste de Curvas à partir de Dados Discretos

A principal ideia de um ajuste de curvas é transformar um intervalo discreto de dados, (x_i, y_i) , em um intervalo contínuo de dados $y(x)$; onde $y(x)$ é uma função que passa o mais próximo possível por todos os pontos do intervalo. Esta técnica requer um processo de minimização, ou seja, encontrar uma medida mínima para a interpolação da função $y(x)$ (CUNHA, 2013; TYRTYSHNIKOV, 2012).

As interpolações para a função $y(x)$ podem ser feitas de maneira não linear, por exemplo, através de funções potência, exponenciais e logarítmicas; e, de maneira linear através de equações polinomiais. Em um modelo de regressão linear pode-se escrever uma função $y(x)$ através de um conjunto de polinômios ϕ na forma (CUNHA, 2013):

$$y(x) = \alpha_1\phi_1 + \alpha_2\phi_2 + \dots + \alpha_n\phi_n, \quad (2)$$

onde o conjunto α_n são as incógnitas a serem encontradas pelo processo de minimização.

Os diversos processos de minimização ditam qual a relação entre os parâmetros α e os pontos da curva de maneira a minimizar uma dada medida. Destacam-se os principais métodos de minimização: o método dos resíduos ponderados; o método de Galerkin, e o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) (LIU; GU, 2005).

O MMQ utilizado na metodologia deste trabalho, consiste em encontrar uma solução α de forma que a soma, (tratada na matemática como funcional) dada pela equação 3:

$$S = \sum_{i=1}^n r_i^2, \quad (3)$$

seja mínima.

Onde

$$r_i = y_i - f(x_i, \alpha) \quad (4)$$

é o erro quadrático em cada ponto discreto (x_i, y_i) (LIU; GU, 2005).

A partir destas duas técnicas, obtem-se uma curva que melhor se ajusta à todos os pontos de forma a minimizar os erros quadráticos. Quando encontrada a solução para a interpolação α .

Pode-se recorrer à equação 3 para obter-se o coeficiente de correlação da curva, medida largamente utilizada para o erro dos ajustes de curvas (CUNHA, 2013; LIU; GU, 2005). O coeficiente de correlação r^2 pode ser calculado pela expressão:

$$r^2 = 1 - \frac{\sum(f_i - y_i)^2}{\sum(f_i - \bar{y})^2}, \quad (5)$$

onde f_i são os pontos da curva ajustada; y_i os pontos de leitura de dados e \bar{y} a média das leituras. De modo geral pode-se afirmar que uma curva possui melhor ajuste quanto mais próximo o coeficiente r^2 estiver da unidade.

Salienta-se que as diferentes bases polinomiais e as diferentes técnicas de minimização geram resultados e comportamentos diferentes. Diversas bases polinomiais podem se ajustar muito bem para problemas que envolvem curvas de elevada variação, contudo, recomenda-se cuidado no uso de polinômios de alta ordem devido à atuação do fenômeno de Runge (RUNGE, 1901; EPERSON, 1987), onde alguns pontos da curva passam a apresentar elevados erros.

6. METODOLOGIA

6.1 LOCAL E COLETA DO MATERIAL

A pesquisa foi realizada utilizando os resíduos orgânicos gerados pelo Restaurante Universitário (RU) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, sede Ecoville, no câmpus da cidade de Curitiba – PR.

O RU da sede Ecoville possui serviço de lanchonete e restaurante com funcionamento de segunda a sábado. O restaurante serve, de segunda a sexta feira almoço entre 11 h e 14 h 30 min, e jantar entre 17 h e 20 h 30 min. No sábado é servido apenas almoço, em horário reduzido, entre 11 h e 13 h 30 min e no domingo é fechado. São servidas, em média, 560 refeições diárias divididas entre almoço e jantar, sendo o número de almoços servidos o mais expressivo. O maior público do restaurante são os alunos dos cursos de bacharelado em Engenharia Civil, Arquitetura, Química e Engenharia Mecânica; de Tecnologia em Processos Ambientais e Tecnologia Mecatrônica, Licenciatura em Química e técnico em mecânica. Além dos alunos dos cursos de pós-graduação, mestrado, doutorado e servidores da instituição, totalizando 2.628 alunos, 220 servidores e 200 pessoas referentes à população flutuante (alunos da sede centro que fazem algumas disciplinas na sede Ecoville, por exemplo) (PGRS, 2015).

São vinte funcionários que exercem as atividades do restaurante, tais como o atendimento do caixa, da lanchonete e do *buffet*, além das atividades de limpeza do salão, utensílios externos (pratos, talheres, bandejas, *buffet*) e internos (panelas e demais objetos) e preparo dos alimentos. Uma funcionária é responsável exclusivamente pela higienização, corte e preparo da salada. O profissional responsável pela elaboração do cardápio semanal do restaurante, bem como do planejamento e compras dos insumos a serem utilizados, é um nutricionista, servidor da empresa terceirizada que gere o restaurante.

A coleta de dados para a pesquisa foi realizada durante o período de seis dias úteis seguidos de funcionamento do restaurante durante o mês de novembro de 2015, totalizando 1 semana de funcionamento do RU. Com a chegada do curso de engenharia mecânica na sede Ecoville, fez-se necessário coletar novamente os dados para a pesquisa, visto que o número de alunos aumentou, aumentando também o número de refeições servidas. Portanto, essa nova coleta de dados foi feita por seis dias consecutivos do mês de maio de 2016. Mais duas coletas foram feitas em novembro de 2016, por 6 dias consecutivos, com a finalidade de caracterizar os resíduos tratados nas composteiras.

Para uma melhor apresentação dos dados obtidos, os períodos que ocorreram as coletas de dados foram organizados em semanas (tabela 6) e cada período associado ao processo envolvido. Por exemplo, na semana 1 e na semana 2 os resíduos foram coletados, passaram por um processo de triagem e foram qualificados e quantificados. Na semana 3, além desses processos citados, a caracterização desses resíduos com relação ao teor de umidade e peso específico foram realizados. Na semana 4, o processo foi semelhante aos da semana 1 e semana 2, porém o objetivo foi a montagem da composteira aeróbia. Na semana 5, o objetivo foi a construção da composteira anaeróbia.

TABELA 6: Organização da Pesquisa

Semana	Período	Processo
Semana 1	09/11/2015 a 14/11/2015	Quantificação e qualificação dos resíduos
Semana 2	16/11/2015 a 21/11/2015	Quantificação e qualificação dos resíduos
Semana 3	02/05/2016 a 07/05/2016	Quantificação, qualificação e caracterização dos resíduos
Semana 4	07/11/2016 a 12/11/2016	Montagem da composteira aeróbia
Semana 5	21/11/2016 a 26/11/2016	Montagem da composteira anaeróbia

Fonte: Autoria própria

O fluxograma (Figura 21) indica os processos de desenvolvimento do trabalho.

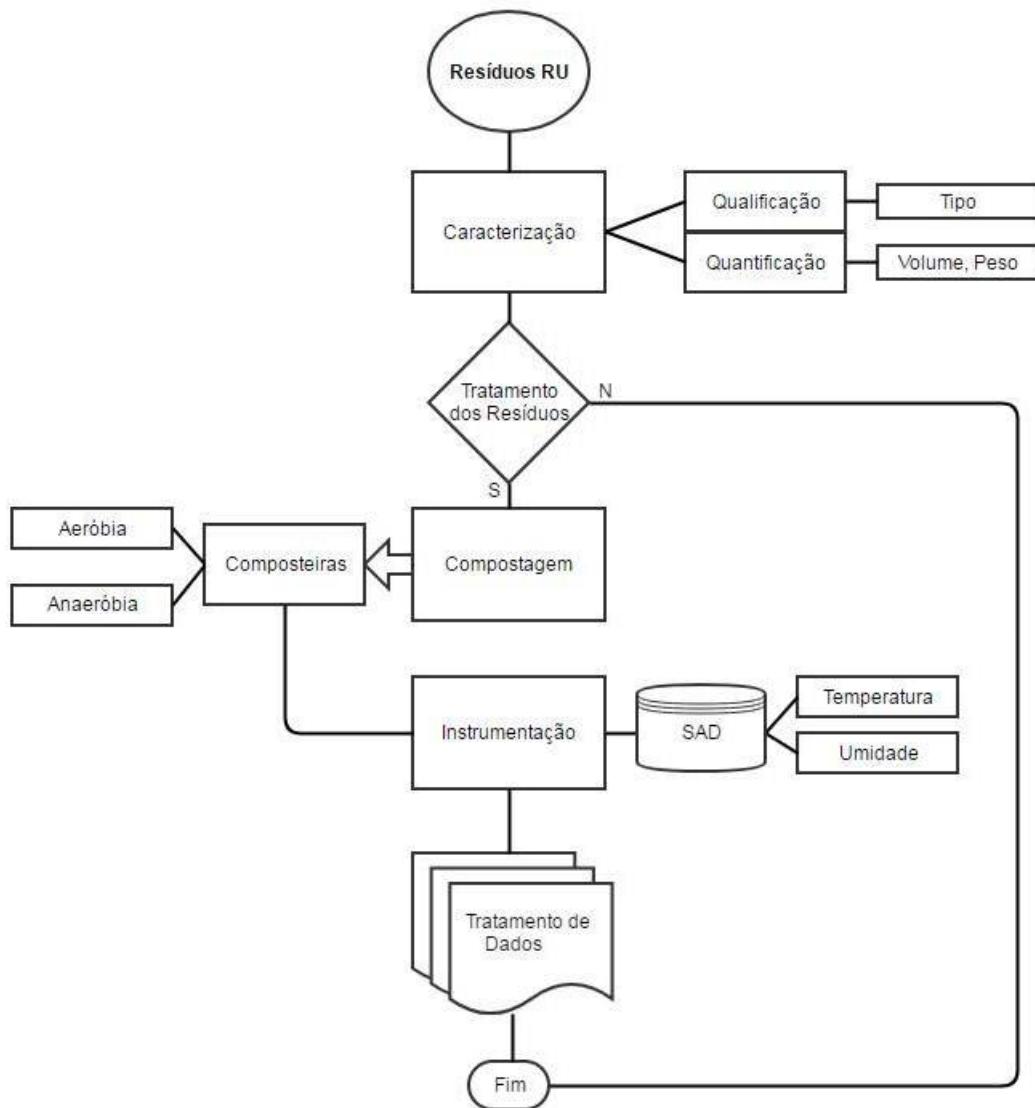


FIGURA 21: Fluxograma de desenvolvimento

Fonte: Autoria própria.

6.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

6.2.1 Qualificação dos Resíduos

O cardápio básico é constituído de 3 tipos de salada; 2 tipos de leguminosas (feijão e lentilha); 2 tipos de cereais (arroz integral e arroz branco); 2 tipos de proteína (animal e soja); 1 guarnição (polenta, macarrão, legumes cozidos, por exemplo), e 1 sobremesa doce ou fruta.

O foco da pesquisa foi no Resíduo do Preparo do Alimento (RPA) proveniente do preparo da salada, ou seja, talos, cascas de vegetais, folhas impróprias para o consumo humano e demais partes que não possam fazer parte da composição final do alimento a ser disponibilizado aos clientes no *buffet*. Também foram analisados os Resíduos Não Cozidos do *Buffet* (RNCB), ou seja, a salada (crua e sem tempero) que sobrou no *buffet* depois do término do período no qual o almoço ou jantar foi servido. Embora esse resíduo ainda esteja em condições de consumo, de acordo com as legislações sanitárias, ele não pode ser reaproveitado para a próxima refeição.

Os resíduos do preparo do alimento foram coletados diariamente às 11 h, referente ao preparo do almoço e, às 16 h referente ao preparo do jantar. Já os Resíduos Cozidos do *Buffet* (RCB) foram coletados diariamente às 16 h e às 21 h, caracterizando os resíduos finais do almoço e do jantar. No sábado a coleta do RPA foi feita às 11h, e às 14h foram coletadas os RCB e RNCB.

6.2.2 Quantificação dos Resíduos

Os resíduos coletados foram levados ao Laboratório de Análise de Solosa sede Ecoville onde foram submetidos a uma triagem e separação manual por tipo de material. O material já separado foi pesado numa balança (marca Micheletti) com peso mínimo de 2kg e máximo de 150kg (Figura 22), e uma balança de cozinha digital com precisão mínima de 1g e máxima de 10 kg.



FIGURA 22: Dados técnicos da balança utilizada; à direita imagem da balança

Fonte: Autoria própria.

Foram usados baldes volumétricos alimentícios para a medição do volume de cada resíduo, como pode ser observado na Figura 23.



FIGURA 23: Baldes volumétricos com diversos tipos de resíduos do preparo do alimento

Fonte: Autoria própria.

6.2.3 Trituração e Quarteamento

Com a finalidade de obter uma melhor granulometria dos resíduos orgânicos a serem compostados, os mesmos foram submetidos a uma trituração.

Os resíduos foram triturados separadamente com o uso de um triturador de resíduos orgânicos (marca Trapp TR 200). O material triturado passou por um processo de quarteamento, com auxílio de um quarteador, a fim de obter-se uma amostra representativa de cada material para posteriores análises de teor de umidade, peso específico e densidade específica para cada tipo de material (Figura 24). A amostra da massa homogênea, ou seja, a amostra “real” - que é a mistura de todos os materiais orgânicos gerados no dia a qual será tratada na compostagem – foi obtida pelo cálculo da proporção de cada resíduo pelo valor total de resíduo gerado.



FIGURA 24: Triturador, amostras e quarteador

Fonte: Autoria própria.

6.2.4 Teor de Umidade, Peso Específico e Densidade Aparente

O teor de umidade, segundo recomendação do IPT/CEMPRE (2000), é obtido após a pesagem e secagem da amostra em uma estufa – entre 100°C e 103°C – até que o peso constante seja determinado. Como o material pesquisado é orgânico, ao ser submetido a tais temperaturas, esse material pode ser queimado, portanto o valor da temperatura utilizado variou entre 50°C e 65°C (SOARES, 2011). O tempo até que o peso ficasse constante variou, de material para material, entre 48h e 72h. Ainda, segundo Soares (2011), ao estudar a mecânica dos resíduos há a necessidade de calcular a umidade sob a base úmida, diferentemente do cálculo de umidade feito tradicionalmente nos ensaios de mecânica dos solos onde se faz a relação entre o peso da água e o peso do sólido. Portanto, a umidade em base úmida pode ser determinada segundo a equação (6) e a umidade na base seca na equação 7.

$$\text{Base úmida}(\%) = \frac{\text{peso úmido} - \text{peso seco}}{\text{peso úmido}} \cdot 100 \quad (6)$$

$$\text{Umidade base seca}(\%) = \frac{\text{peso seco}}{\text{peso úmido}} \cdot 100 \quad (7)$$

Foram escolhidas oito espécies vegetais, baseado na frequência com que eles são disponibilizados no restaurante ao longo do ano, para a determinação do teor de umidade e peso específico (equação 8): acelga, alface, almeirão, chicória, couve

e repolho, abobrinha, beterraba, cenoura, chuchu, pepino e tomate. Foram feitas amostras de 100g de cada espécie, em triplicata, e, posteriormente, foram submetidos ao procedimento descrito.

$$\text{Peso específico}(\text{kg/m}^3) = \frac{\text{peso amostra}}{\text{volume}} \quad (8)$$

Como a composição da massa de resíduos não se faz constante, visto que as quantidades e tipos de espécies vegetais presentes se alteram ao longo da semana, para o cálculo do teor de umidade e peso específico da amostra homogênea foram feitas amostras de 300g em 3 dias diferentes. Para tanto, foi calculada a representatividade de cada espécie vegetal com relação ao peso total dos resíduos coletados naquele dia (equação 9).

$$\text{Representatividade do alimento}(\%) = \frac{\text{peso do alimento (kg)}}{\text{peso total do resíduo (kg)}} \cdot 100 \quad (9)$$

Por último, utilizando o valor obtido pela equação 9 de cada espécie vegetal, chega-se ao valor proporcional de cada espécie vegetal para o valor total da amostra utilizada (300 g), descrito na equação 10. Dessa forma pretende-se manter, numa escala reduzida, as mesmas quantidades de espécies vegetais presentes no resíduo coletado, uma vez que o tratamento posterior do resíduo se dará sob a massa homogênea e não sob cada espécie vegetal em particular.

$$\text{Alimento para a amostra (kg)} = \frac{\text{representatividade do alimento}(\%).0,3}{100} \quad (10)$$

Os valores obtidos após o término do procedimento foram então submetidos a uma média simples (equação 11).

$$\text{Média das amostras} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3} \quad (11)$$

6.2.5 Relação Carbono Nitrogênio

O cálculo da relação carbono/nitrogênio utilizado no presente trabalho foi sugerido por Lourenço (2014) e é apresentado nas equações 12, 13, 14.

A equação 12 correlaciona os parâmetros de umidade, carbono e nitrogênio do resíduo a ser tratado com esses mesmos parâmetros das folhas secas (parcela de carbono).

$$Qf = Qr.Nr \cdot \frac{(Cn - (\frac{Cr}{Nr})).(100 - Hm)}{((Nf \cdot (\frac{Cf}{Nf}) - Cn).(100 - Hf))} \quad (12)$$

A equação 13 relaciona a quantidade de folhas secas (parcela de carbono) aos parâmetros de umidade dos resíduos a serem tratados e ao teor de umidade ideal a ser mantido durante o processo de compostagem.

$$Qf = \frac{((Qr.Hi) - (Qr.Hr))}{(Hr - Hi)} \quad (13)$$

A quantidade total de resíduos a serem tratados, portanto, é a soma entre a quantidade total de RPA e a quantidade total de folhas secas (equação 14).

$$Qt = (Qr + Qf) \quad (14)$$

Onde as variáveis são descritas na tabela 7.

TABELA 7: Identificação das Variáveis Presentes nas equações 12, 13, 14

Variável	Descrição
Hr	Umidade dos resíduos
Hf	Umidade das folhas secas
Hi	Umidade ideal para compostagem
Nr	Nitrogênio aproximado dos resíduos
Nf	Nitrogênio aproximado das folhas
CR	Carbono aproximado dos resíduos
Cf	Carbono aproximado das folhas
Cn	Relação C:N para compostagem
Qr	Massa de resíduos
Qf	Massa de folhas
Qt	Massa total da mistura

Fonte: Autoria Própria.

6.3 COMPOSTEIRAS

A composteira aeróbica considerada neste experimento possui eixo horizontal, passando pelo plano do tampo (figura 25). Esta alternativa foi escolhida devido ao fato da aeração ser manual, portanto este eixo facilita o manejo por possuir menor momento de inercia do que o tambor na vertical, ou seja, menor dificuldade de rotacionar. Embora utilizar o tambor na horizontal ocupe uma maior área, o tambor vertical e com rotação manual dificulta o manejo por ter uma variação maior de altura na hora de girar.

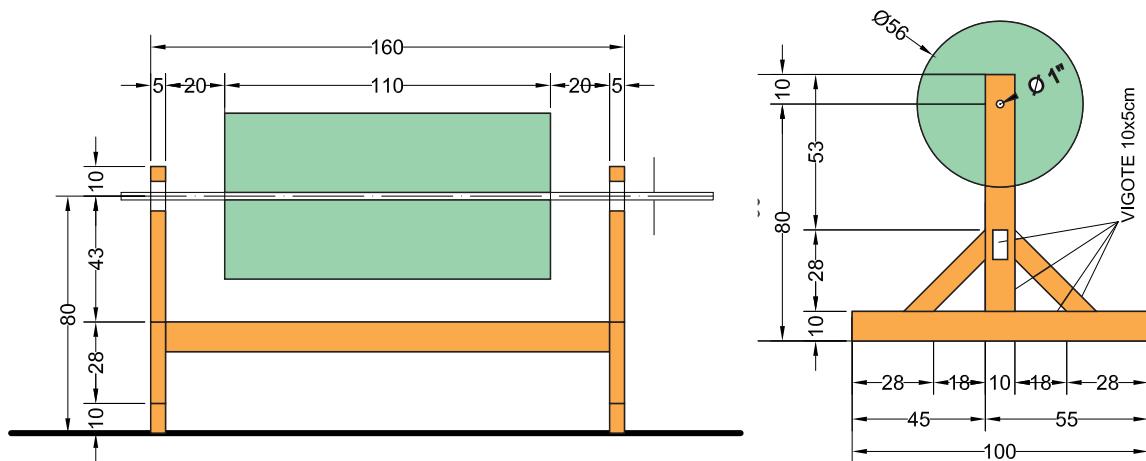


FIGURA 25: Detalhes de medidas da composteira Aeróbia

Fonte: Autoria própria.

Para a construção da composteira aeróbia foram utilizados os seguintes materiais: 1 tambor de alimento, em plástico, com capacidade de 200 litros, com tampa vedada rosqueável, 1,10 m de altura e 56 cm de diâmetro (figura 26); 2 vigotes de madeira com 3 m de comprimento e de seção 10 cm x 20 cm e 1 barra de aço MR250 de 1 polegada de diâmetro e 1,5 m de comprimento.



FIGURA 26: Tambor alimentício utilizado como composteira

Fonte: Autoria própria.

A estrutura de sustentação da composteira consiste em um cavalete de madeira, com vigotes de 10 cm x 20 cm. Uma altura total de 90 cm foi prevista para facilitar

o manejo de forma ergonômica (o projeto está descrito no apêndice 1). A figura 27 demonstra a altura de preenchimento com o material na composteira aeróbia.

Composteira Aeróbia

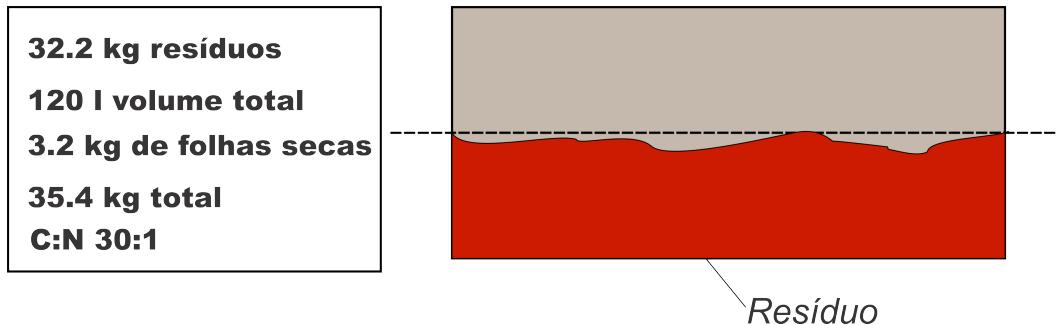


FIGURA 27: Composteira aeróbia

Fonte: Autoria própria.

A composteira anaeróbia não necessitou de uma estrutura de sustenção por ser estática, ou seja, não haver a necessidade de aeração. Foi utilizado um tambor alimentício semelhante ao apresentado na figura 26 do presente trabalho. Para evitar que o chorume entrasse em contato com o material em processo de compostagem, foi utilizado 10 kg de cascalho, 10 kg de brita e 10 kg de areia, que foram adicionados ao tambor alimentício antes da introdução do material orgânico (Figura 28).

Composteira Anaeróbia

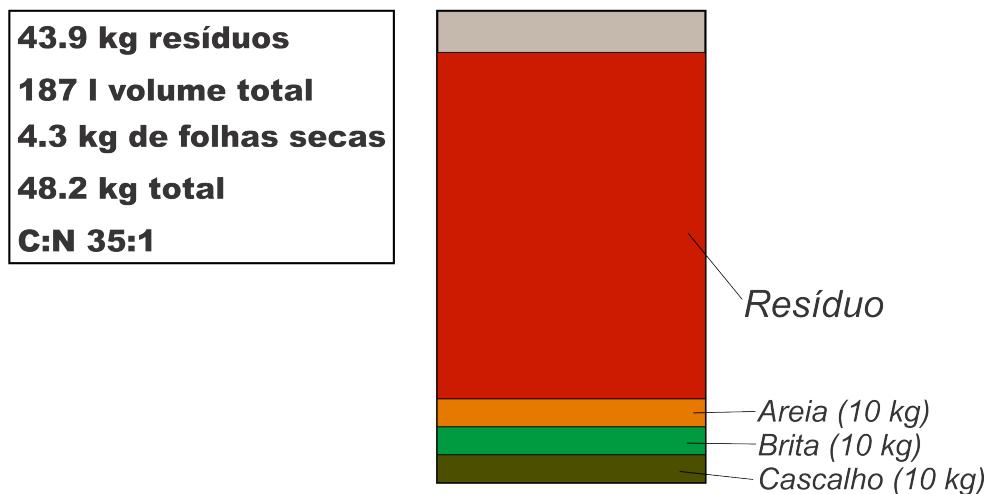


FIGURA 28: Composteira anaeróbia

Fonte: Autoria própria.

6.3.1 Instrumentação das Composteiras

A instrumentação dos parâmetros de temperatura e umidade foi desenvolvida utilizando sensores de baixo custo ligados à plataforma de prototipagem eletrônica Arduíno.

Cada composteira foi instrumentada com 3 sensores de temperatura (modelo DS18B20), com ponteira de aço inoxidável e resistente a água, e 3 sensores de umidade de solo, com chip comparador (modelo LM393) (figura 29).



FIGURA 29: Sensor de temperatura DS18B20 (A); sensor de umidade LM393 (B)

Fonte: Autoria própria.

Os sensores foram fixados em uma haste de madeira em 3 alturas, espaçados entre si em 40 cm (figura 30).

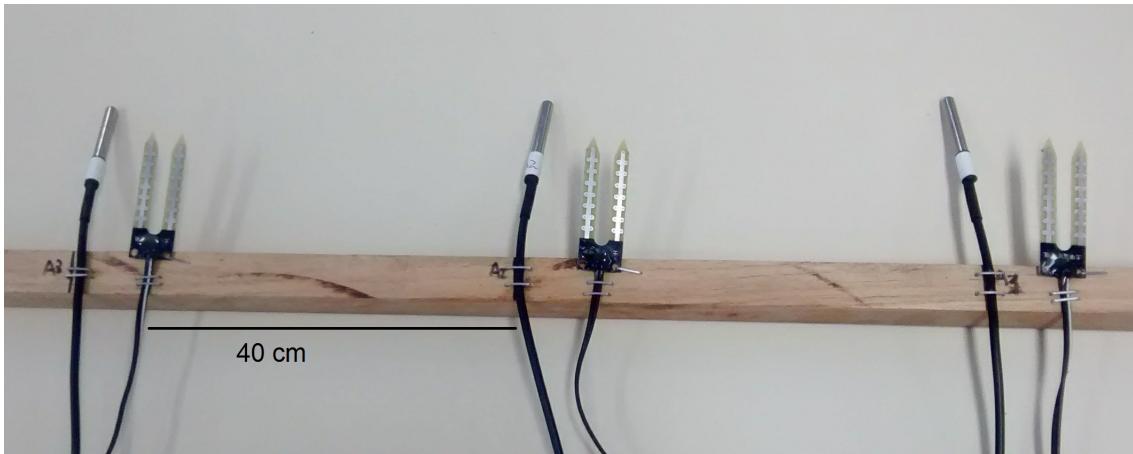


FIGURA 30: Distância entre os sensores de temperatura e umidade para a instrumentação da composteira

Fonte: Autoria própria.

O sistema foi projetado para que as leituras de dados (tanto para os sensores de temperatura, quanto para os de umidade) em ambas as composteiras ocorressem simultaneamente, em intervalos de 1 hora. Apesar do Arduino possuir um *clock* interno, ele não fornece uma precisão desejável quando ligado por um longo período. Dessa maneira, como o sistema foi projetado para ficar ligado continuamente e por um longo período, optou-se pelo uso de um *clock* externo (modelo DS3231) para temporizar as leituras dos sensores e evitar sobrecarga de dados no servidor. Na figura 31 há um esquemático das ligações entre o *clock* e o Arduino UNO.

CLOCK DS3231

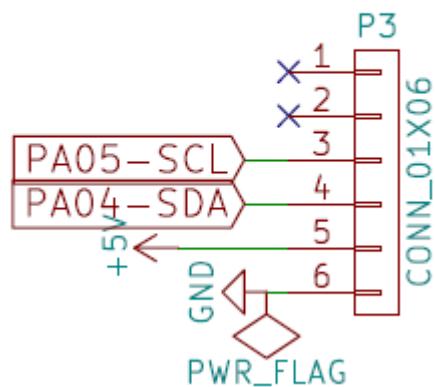


FIGURA 31: Modelo esquemático da ligação do *clock* externo (modelo DS3231) no Arduíno UNO

Fonte: Autoria própria.

Os 6 sensores de temperatura trabalham com sinais analógicos e como o sistema tem a necessidade de estar conectado as composteiras, e elas estavam sujeitas a chuva, sol, vento, pois estavam em local sem cobertura, optou-se por multiplexar externamente as portas analógicas do Arduino UNO para que o equipamento lógico (SAD) não estivesse sujeito às intempéries. Desta maneira as 9 portas necessárias foram reduzidas a 3 portas, devido à arquitetura do multiplexador de baixo custo (modelo 74HC4051) (Figura 32).

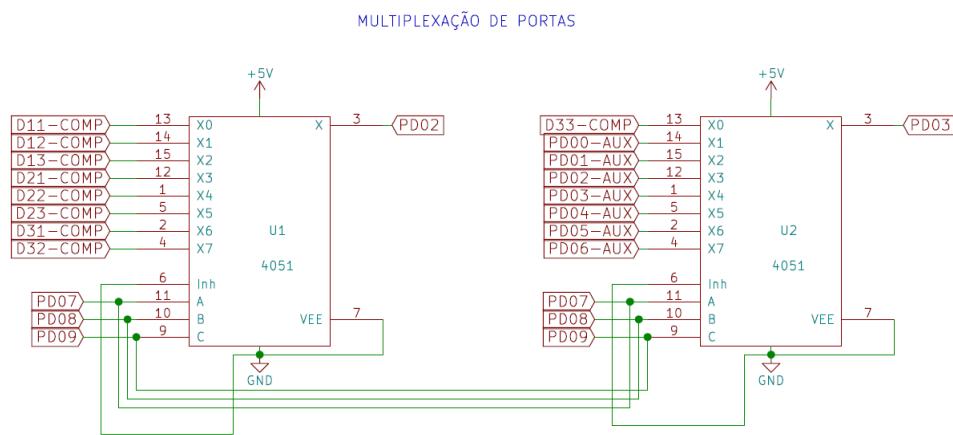


FIGURA 32: Modelo esquemático para a multiplexação das portas

Fonte: Autoria própria.

A transferência de dados entre as portas multiplexadas e o Sistema Aquisitor de Dados - SAD (Arduino) foi feita por cabos de rede (padrão 568A) e conectores RJ45 (Figura 33).

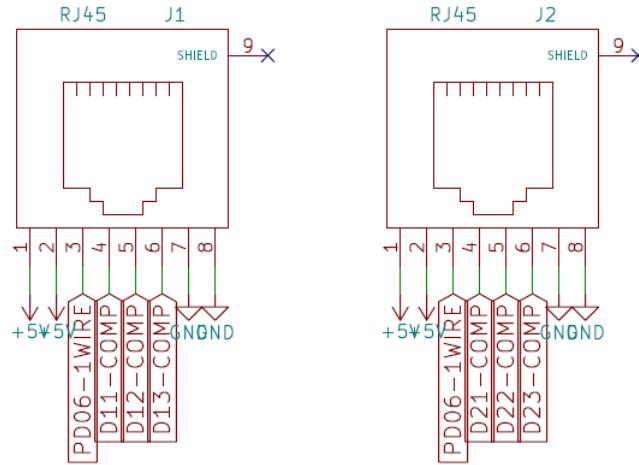


FIGURA 33: Modelo esquemático da ligação dos conectores RJ45 nas placas multiplexadas

Fonte: Autoria própria.

A comunicação entre o SAD e o computador foi feita tanto com cabo de rede (com as mesmas especificações) como também utilizando a rede *Wi-Fi* da universidade. Para isso, a *shield* de rede utilizada foi a *Ethernet Shield W5100* (Figura 34). Para a segurança dos dados foi utilizado um sistema paralelo de gravação em um cartão SD.

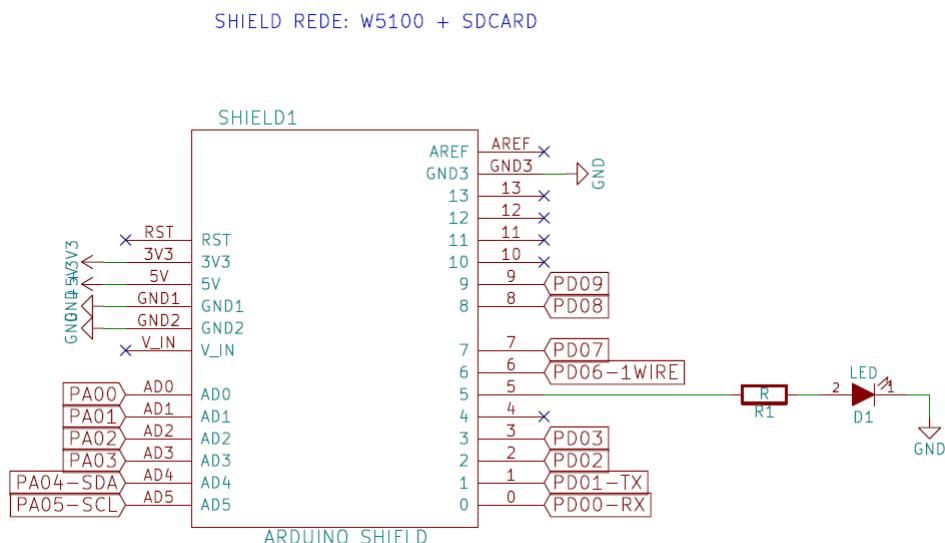


FIGURA 34: Modelo esquemático das ligações entre a *shield* de Rede (modelo W5100) e o Arduino UNO

Fonte: Autoria própria.

O SAD, portanto, foi composto pela placa Arduino UNO, com *shield* para transmissão *Wi-Fi* dos dados, um *clock* externo, memória SD, conectores de cabo de rede para os multiplexadores de sinal e também para a transmissão de dados ao

computador e um regulador de tensão. Na figura 35 observa-se um detalhamento das portas extras utilizadas no sistema.

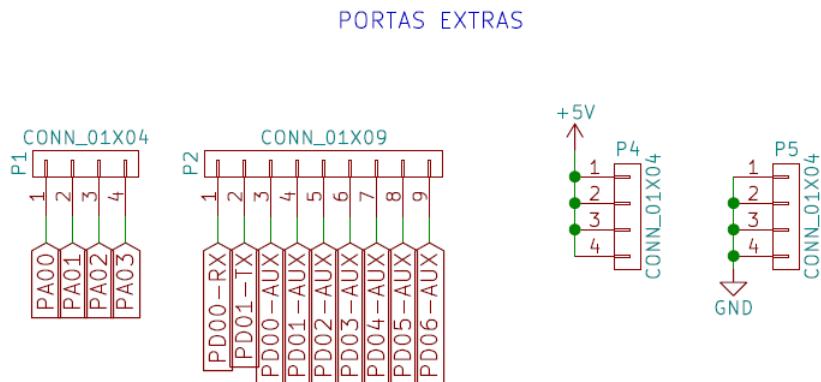


FIGURA 35: Modelo esquemático das portas extras

Fonte: Autoria própria.

Foi projetado uma fonte de alimentação externa, usando um regulador de tensão, para alimentar os sensores. O regulador de tensão do Arduino não suporta a potência elétrica dissipada pelo uso simultâneo de todos os 12 sensores. Foi previsto em projeto um dissipador de calor devido à possibilidade de sobreaquecimento neste tipo de conexão.

Detalha-se de maneira esquemática o resultado final da instrumentação na figura 36. Cada composteira possui um multiplexador de sinal que faz a transmissão de sinal entre o SAD e os sensores. Os dados dos sensores (em bites) de cada composteira são enviados em pulsos analógicos (via cabo de rede) ao SAD (microcontrolador Arduino) e reenviados ao computador em pulsos digitais (via cabo de rede). Os dados recebidos pelo computador através do interpretador criado utilizando a linguagem de programação *Python* são salvos automaticamente no *Dropbox* para pós-processamento e armazenamento. Foi também possível o monitoramento em tempo real.

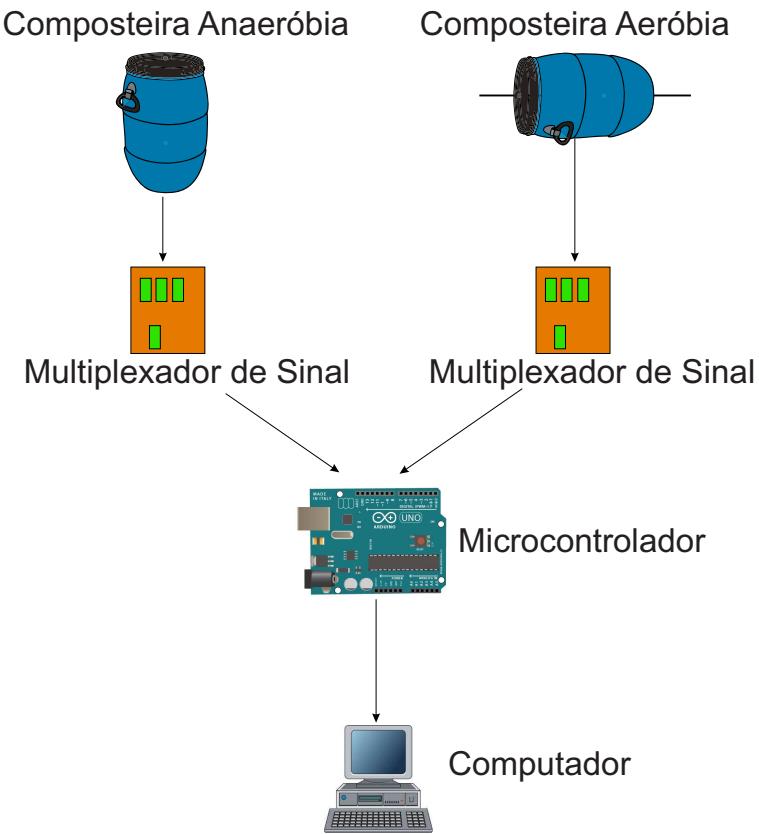


FIGURA 36: Modelo esquemático da instrumentação

Fonte: Autoria própria.

6.4 PÓS-PROCESSAMENTO

6.4.1 Tratamento prévio dos dados

Os dados de temperatura e umidade coletados através do SAD Arduino foram processados utilizando linguagem *Python*. A taxa de aquisição de dados do sistema foi 1 leitura/hora/sensor, totalizando 144 leituras/dia/composteira (figura).

Para a determinação das curvas de temperatura e umidade, considerou-se primeiramente o valor médio entre as três leituras a cada hora (15).

$$M_h = \frac{\sum LS_h}{3} \quad (15)$$

Onde, M_h representa o valor médio por hora; LS_h é o valor medido pelo sensor por

hora. Estes valores foram processados e obteve-se uma média diária de temperaturas e umidades em cada composteira (equação 16).

$$M_d = \frac{\sum M_h}{24} \quad (16)$$

Onde, M_d é a média diária de leitura.

6.4.2 Elaboração das curvas e envoltórias

Devido à característica polinomial das curvas de temperatura e umidade descritas pela literatura para a compostagem, os dados obtidos através da instrumentação foram tratados utilizando base polinomial Lagrangeana e passaram por ajustes através de *B-Splines*. O método de minimização utilizado foi o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).

O ajuste através de *B-Splines* considerou os valores médios diários (M_d) dos sensores de umidade e de temperatura. Para as curvas médias, foi feito um somatório das médias diárias de leitura (M_d) dividido pelo tempo do experimento (90 dias) (Equação 17).

$$C_M = \frac{\sum M_d}{90} \quad (17)$$

A partir dos valores mínimos e máximos encontrados pelas leituras, foram traçadas as envoltórias máxima e mínima.

Tais interpolações foram importantes para determinar com precisão as características do processo de compostagem, tais como: máxima temperatura; envoltória de temperaturas; envoltória de umidades, e os pontos de inflexão das curvas, que podem delimitar as fases da compostagem. A utilização de equações polinomiais para descrever fenômenos de distribuição de temperatura e umidade em processos de compostagem e outros bio-processos similares foram utilizados por diversos autores (MASON, 2006; Van LIER et al., 1994; MOHEE et al., 1998).

6.4.3 Algoritmo para a determinação das fases compostagem

Devido à diminuição metabólica microbiana no final da fase termofílica, ocorre uma mudança na concavidade da curva de temperatura. Essa mudança na concavidade é chamada de ponto de inflexão e pode ser o delimitador entre a fase termofílica e a fase de maturação. Para a localização deste ponto, aplicou-se o algoritmo de *Newton-Raphson*, cujo objetivo é determinar a raíz da derivada segunda da curva de temperatura. Este algoritmo é de simples aplicação e converge mais rapidamente para a solução, quando comparado com algoritmos baseados em média. Este procedimento consiste em encontrar x^{k+1} tal que (CUNHA, 2013):

$$x^{k+1} = 1 - \frac{\frac{d^2}{d(x^k)^2}}{\frac{d^3}{d(x^k)^3}}. \quad (18)$$

7. RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados os resultados obtidos durante o desenvolvimento do presente estudo.

7.1 QUALIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

Os resíduos orgânicos gerados no Restaurante Universitário (RU), da sede Ecoville, no câmpus Curitiba da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) podem ser qualificados em 4 tipos: Resíduos do Preparo do Alimento (RPA); Resíduos Não-cozidos do Buffet (RNCB); Resíduos Cozidos do Buffet (RCB), e; Rejeitos, como pode ser observado na Figura 37.



FIGURA 37: Descrição dos grupos de resíduos orgânicos gerados pelo Restaurante Universitário (RU) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Curitiba, sede Ecoville

Fonte: Autoria própria.

Nos cardápios semanais disponibilizados aos usuários do restaurante, tanto *online* quanto fixados no caixa do RU, durante os períodos analisados, apareceram os seguintes vegetais folhosos: acelga, alface, almeirão, chicória, couve e repolho, dentre os quais a alface entra como a base para a salada, sendo oferecido diariamente. Entre os vegetais não folhosos, abobrinha, beterraba, cenoura, chuchu, pepino e tomate, sendo o último também usado diariamente misturado à alface, porém em menores quantidades. A cebola é usada como tempero para a carne suína oferecida uma vez por semana, ou seja, sua frequência é baixa, mas a quantidade é elevada, tendo uma representatividade de 8% sob o total gerado.

Com relação às frutas - banana, laranja e melancia, essas tiveram uma frequência pontual durante os períodos de pesquisa e sua representatividade com relação ao total de resíduos gerados foi de 5%. Apesar do suco de laranja estar disponível na lanchonete do restaurante diariamente, a quantidade de cascas de laranja geradas

durante as semanas de caracterização foram de 1,3 kg, representando apenas 2,5% do valor de massa total de resíduos. Nos resíduos do preparo do alimento, apenas as coroas dos cachos de banana e pontuais bananas inadequadas ao consumo humano foram descartadas. Essa representatividade é inferior a das laranjas, sendo 0,5% do valor de massa total dos resíduos. A melancia, servida como sobremesa em um dos dias da pesquisa, teve um peso mais expressivo com relação às laranjas, 1,9%. A representatividade de todos os resíduos orgânicos coletados no período de 02 a 05/05/2016, durante a semana 3 de caracterização, encontra-se descrita na figura 38.

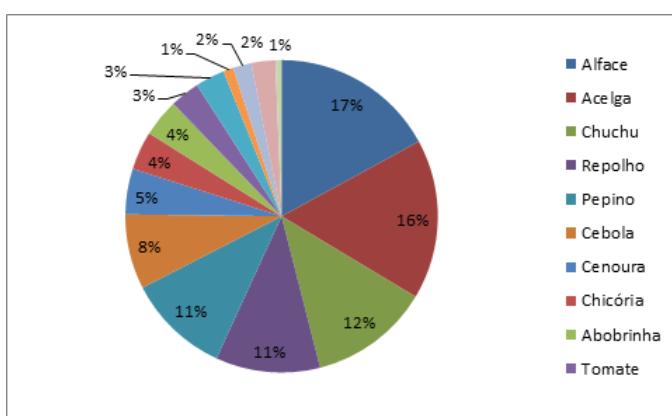


FIGURA 38: Representatividade dos resíduos, por espécie vegetal, gerados pelo RU da UTFPR câmpus Curitiba, sede Ecoville, durante a semana 3 de caracterização

Fonte: Autoria própria.

Há na tabela 8 uma comparação entre as representatividades dos Resíduos do Preparo do Alimento (RPA) e os Resíduos Não-Cozidos do *Buffet* (RNCB), para espécies vegetais iguais e no mesmo período. É possível observar que o RPA tem uma maior representatividade, sob o valor total de resíduos gerados durante a semana, em todas as espécies vegetais analisadas com valores acima de 75%, dessa forma fez-se clara a escolha do RPA para o tratamento em compostagem.

TABELA 8: Comparação entre as representatividades das espécies vegetais encontradas no RNCB e no RPA, por espécie vegetal, gerados pelo RU da UTFPR câmpus Curitiba, sede Ecoville

RNCB		RPA		
Resíduo	Peso (kg)	Representatividade (%)	Peso (kg)	Representatividade (%)
Alface	7,29	20,84	27,69	79,16
Acelga	5,24	15,37	28,82	84,63
Chicória	1,75	21,33	6,44	78,67
Pepino	1,43	8,06	16,27	91,94
Repolho	1,33	5,98	20,87	94,02

Fonte: Autoria própria.

Durante a triagem e separação do material foi possível observar que as maiores perdas no RPA são dos vegetais folhosos, principalmente da alface, pois além dos talos, muitas folhas são jogadas fora por apresentarem algumas partes danificadas ou contendo algumas manchas. Na Figura 39 observa-se uma comparação entre a quantidade de vegetais folhosos e não-folhosos presentes no RPA durante as 5 semanas de caracterização.

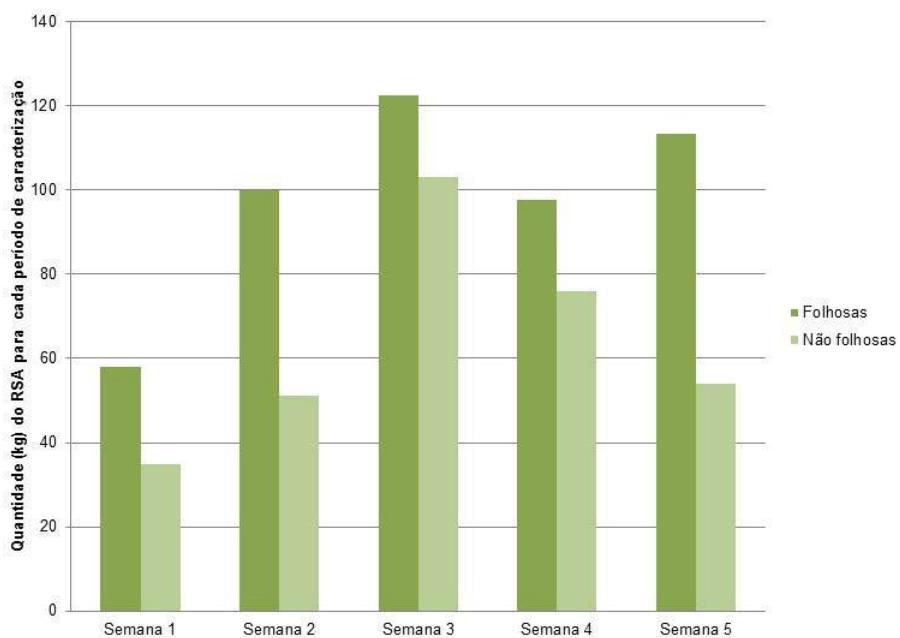


FIGURA 39: Quantidade (kg) de RPA gerados pelo Restaurante Universitário (RU) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, câmpus Curitiba, sede Ecoville, para cada período de caracterização

Fonte: Autoria própria.

O volume das folhosas é expressivo, porém após passarem pelo triturador reduz-se

em torno de 70% do volume. Na Figura 40 há uma comparação entre os volumes das espécies vegetais mais frequentes do RU e o volume das mesmas após o processo de Trituração. Os valores apresentados acima das barras equivalem à média de redução de volume em (%).

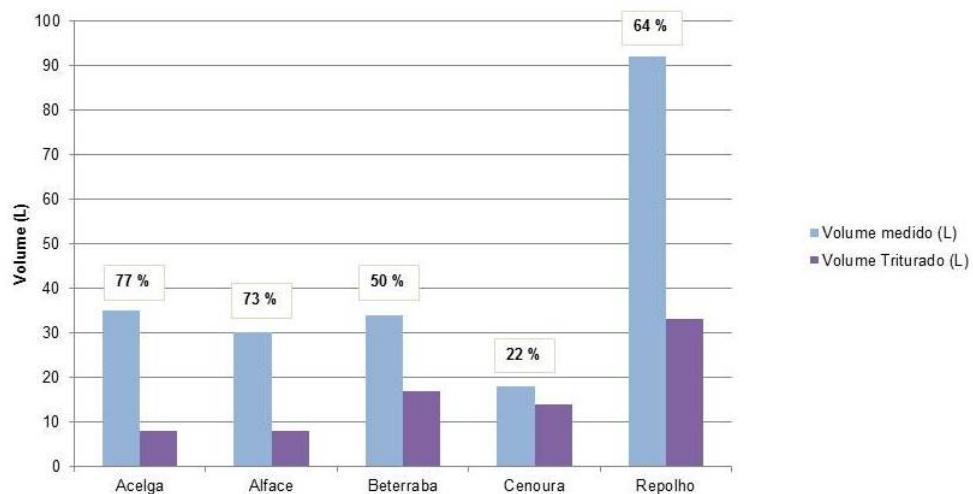


FIGURA 40: Diferença entre o volume medido (L), o volume após trituração (L) e o valor (em %) da redução do volume ao passar pela trituração

Fonte: Autoria própria.

Ao fazer o somatório da semana é possível observar a diferença entre o volume total dos resíduos do preparo do alimento e dos resíduos cozidos do *buffet*, comparados aos resíduos não cozidos do *buffet* (Figura 41).

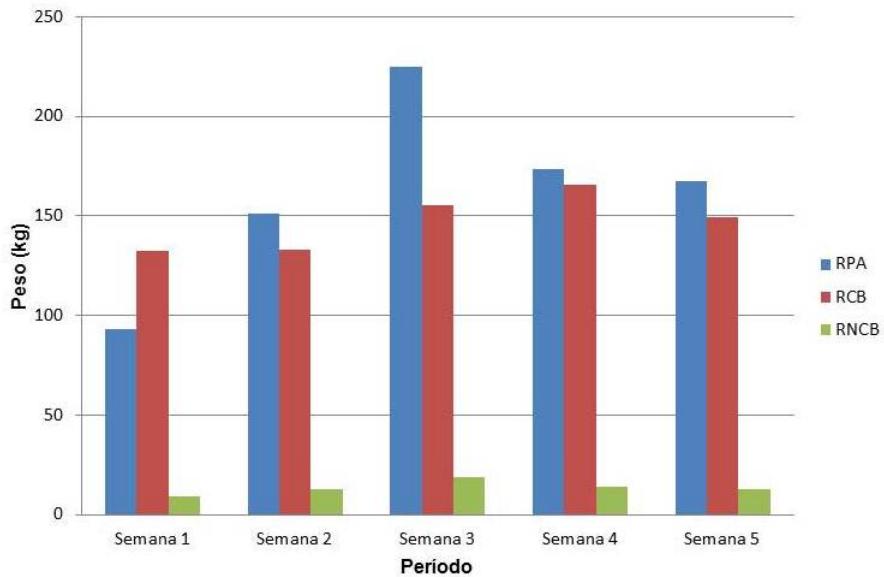


FIGURA 41: Comparação entre o peso total semanal de cada tipo de resíduo gerado no RU da UTFPR, câmpus Curitiba, sede Ecoville

Fonte: Autoria própria.

Faz-se na figura 42 uma comparação entre as quantidades totais de RNCB e de RCB gerados durante as semanas de caracterização.

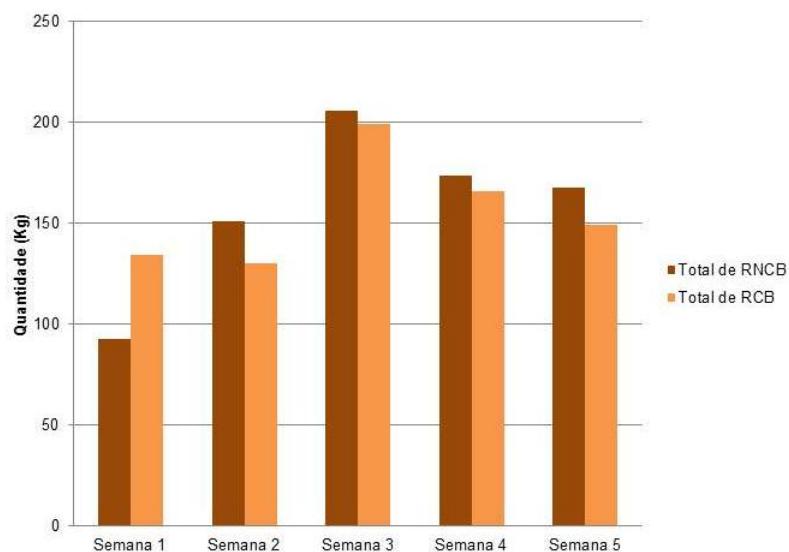


FIGURA 42: Comparação entre a quantidade de RCB e RNCB gerados pelo RU da UTFPR, câmpus Curitiba, sede Ecoville, durante os períodos de caracterização

Fonte: Autoria própria.

As quantidades de resíduos gerados variaram muito, tanto ao longo da semana quanto entre os períodos do mês. Nas quintas feiras a quantidade de resíduos tende a ser a mais expressiva da semana, já no sábado a quantidade de resíduos é menor,

pois a quantidade de refeições servidas não chega a 100.

7.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

7.2.1 Teor de Umidade e Peso Específico

A alface, acelga, almeirão, beterraba, cenoura, chuchu, pepino e tomate foram escolhidos para o ensaio de teor de umidade pela frequência em que eles são usados no preparo das refeições do restaurante universitário ao longo do ano. Ainda, foi ensaiado a massa homogênea obtida da mistura proporcional de todos os resíduos orgânicos não cozidos gerados em cada dia, simulando a mistura real que sofrerá o processo de compostagem, descrito no item 3.1.4. A tabela 8 discrimina os valores encontrados no ensaio realizado em laboratório com os resíduos do preparo do alimento (RPA) comparados aos valores encontrados em literatura. O peso específico aproximado pode ser observado na Tabela 9.

TABELA 9: Comparação entre o teor de umidade obtido em laboratório e o teor de umidade segundo a literatura, onde NA - não se aplica

Resíduo	Teor de umidade (%)	Teor de umidade (%), segundo NEPA (2011)
Alface	96,0	96,1
Acelga	96,0	93,2
Almeirão	94,6	93,7
Beterraba	92,9	86,0
Cenoura	92,0	90,1
Chuchu	92,2	N.A
Pepino	95,3	96,8
Tomate	94,0	95,1
Massa homogênea	93,8	N.A

Fonte: Autoria Própria.

O teor de umidade elevado no interior da composteira vai em concordância aos autores (UNOHABITAT, 2010) que afirmaram que tecnologias desenvolvidas para resíduos relativamente mais secos, com alto poder calorífico podem não funcionar quando confrontadas com resíduos úmidos, com baixo valor calórico, de países

tropicais ou subtropicais. Não obstante, ao comparar os valores obtidos em análise laboratorial *in loco*, aos valores encontrados na literatura - realizados em Campinas (SP) - não há uma diferença significativa entre eles. Nesse sentido, é de suma importância a análise do teor de umidade dos resíduos, seja por análise laboratorial ou seguindo a literatura, para a escolha de um método de tratamento que tenha coerência tanto com o resíduo a ser tratado quanto com o objetivo final do tratamento de resíduos, principalmente quando objetiva-se a geração de energia.

TABELA 10: Peso específico aproximado e teor de umidade aproximado do RPA e do RCB gerados no RU da UTFPR, câmpus Curitiba, sede Ecoville

RCA	Peso (kg)	Volume (L)	Peso específico aproximado (kg/m ³)	Teor de umidade aproximado (%)
Folhosas	101,6	456	222,7	95,5
Não folhosas	103,8	172	603,3	93,3
RCB	199,2	187	1065,3	N.A

Fonte: Autoria Própria.

7.3 RESULTADOS DA INSTRUMENTAÇÃO

As composteiras operaram por 90 dias. A composteira aeróbica manteve-se em atividade entre os dias 09/11/2016 a 09/02/2017; a composteira anaeróbica teve sua atividade entre os dias 21/11/2016 a 20/02/2017.

Os resíduos do preparo do alimento que compuseram a massa homogênea de resíduos da composteira aeróbica, foram primeiramente coletados no dia 07/11/2016, terça feira, porém a quantidade gerada naquele dia (19,4 kg) não alcançou a média de geração de resíduos esperado. Portanto, fez-se necessária uma nova coleta no dia 09/11/2016, quinta feira dia de mais movimento no restaurante, portanto um dos dias com maior produção de resíduos. Entre os resíduos orgânicos, foram retirados 7,1 kg de cebola, pois a acidez da mesma pode atrapalhar o processo de compostagem. Portanto, a composteira aeróbica recebeu 32,2 kg e volume de 110 l de resíduos no total, alcançando a média diária gerada pelo Restaurante.

Para a composteira anaeróbia apenas uma coleta de resíduos foi necessária, pois no dia da coleta (dia 21/11/2016, segunda-feira) foram gerados 43,9 kg de RPA totalizando um volume de 192 l.

A figura 43 apresenta os valores de peso (kg) e de volume (l) dos Resíduos do Preparo do Alimento (RPA), divididos entre folhosos e não folhosos, presentes na massa homogênea de resíduos que foram tratados em composteira aeróbia e anaeróbia.

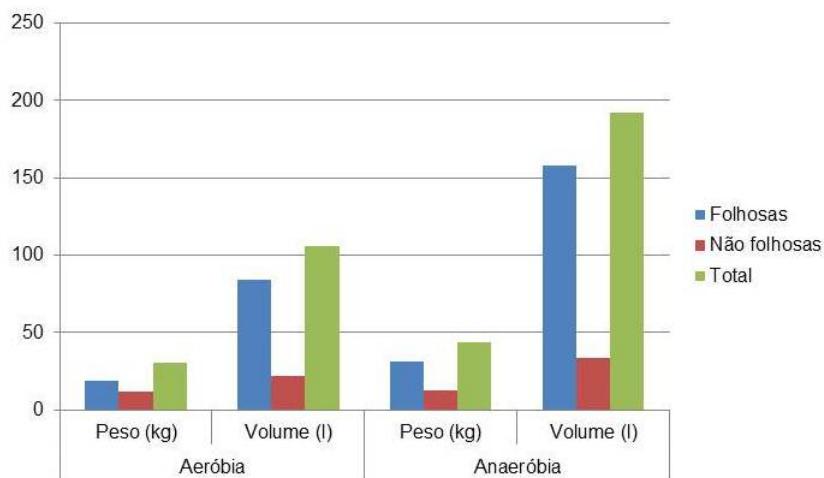


FIGURA 43: Valores de peso (kg) e volume (l) do RPA utilizado no método de compostagem aeróbio e no método anaeróbio para tratamento dos resíduos gerados pelo RU da UTFPR, câmpus Curitiba, sede Ecoville

Fonte: Autoria própria.

Ao analisar a equação 13, foi verificado que para alcançar o teor de umidade ideal de 60% nas composteiras, seria necessário uma quantidade de folhas secas (ou seja, Carbono) de 27,2 kg, que representa 84% do valor total dos resíduos. Isso se deve, principalmente, pelo alto teor de umidade dos resíduos a serem tratados, já que a equação se baseia apenas no teor de umidade ideal a ser mantido. Como houve essa discrepância entre os resultados, aplicou-se apenas a equação 12.

A umidade dos resíduos encontrada em laboratório *in loco* foi de 93,8%; a umidade das folhas secas é de aproximadamente 20%; a umidade ideal para a compostagem é de 60%, segundo a literatura; o nitrogênio aproximado dos resíduos orgânicos é de 95%; o nitrogênio aproximado das folhas é de 2%; o carbono aproximado dos resíduos é de 5%; o carbono aproximado das folhas secas é de 98%; e, a relação C/N ideal

para a compostagem aeróbia é de 30/1, segundo a literatura (tabela 11).

TABELA 11: Tabela com os dados de entrada da equação 12 para a composteira aeróbia

Variável	Descrição	Atribuição	Unidade
Hr	Umidade dos resíduos	93,8	%
Hf	Umidade das folhas secas	20	%
Hi	Umidade ideal para compostagem	60	%
Nr	Nitrogênio aproximado dos resíduos	95	%
Nf	Nitrogênio aproximado das folhas	2	%
Cr	Carbono aproximado dos resíduos	5	%
Cf	Carbono aproximado das folhas	98	%
Cn	Relação C:N para compostagem	30:1	C:N
Qr	Massa de resíduos	32,2	Kg
Qf	Massa de folhas	3,2	Kg
Qt	Massa total da mistura	35,4	Kg

Fonte: Autoria Própria.

Dessa forma, aplicando a equação 12 obteve-se o valor de 3,2 kg de folhas secas (parcela de carbono) a serem adicionados aos 32,5 kg de material orgânico (parcela de nitrogênio), totalizando 35,4 kg de resíduos a serem compostados.

Para a composteira anaeróbia, o mesmo procedimento foi utilizado, com uma relação Carbono/Nitrogênio de 35:1, necessitando de 4,3 kg de folhas secas para atingir a relação carbono/nitrogênio proposta (tabela 12).

TABELA 12: Tabela com os dados de entrada da equação 12 para a composteira anaeróbia

Variável	Descrição	Atribuição	Unidade
Hr	Umidade dos resíduos	93,8	%
Hf	Umidade das folhas secas	20	%
Hi	Umidade ideal para compostagem	60	%
Nr	Nitrogênio aproximado dos resíduos	95	%
Nf	Nitrogênio aproximado das folhas	2	%
Cr	Carbono aproximado dos resíduos	5	%
Cf	Carbono aproximado das folhas	98	%
Cn	Relação C:N para compostagem	35:1	C:N
Qr	Massa de resíduos	43,9	Kg
Qf	Massa de folhas	4,3	Kg
Qt	Massa total da mistura	48,2	Kg

Fonte: Autoria Própria.

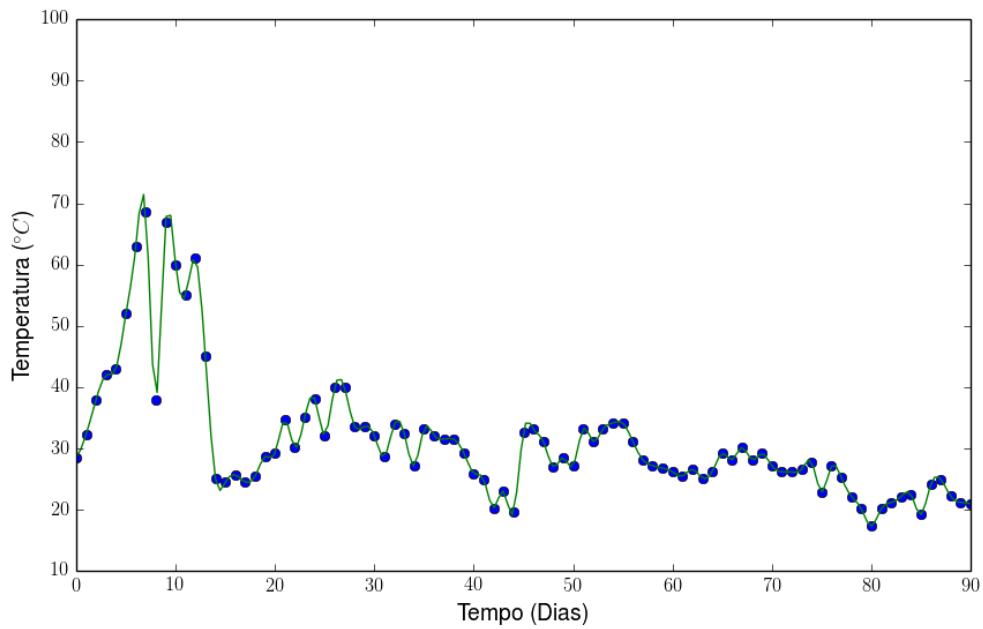
Portanto, a composteira anaeróbia recebeu um total de 48,2 kg de resíduos.

7.3.1 Parâmetros de Temperatura

Tradicionalmente, o acompanhamento da temperatura no processo de compostagem é feito diariamente, utilizando um termômetro manual, e realizado 1 ou 2 vezes ao longo do dia. Ter a possibilidade de monitorar a temperatura a cada hora, sem a necessidade de um funcionário para realizar tal tarefa, indubitavelmente promove um controle e um manejo melhores, quando comparado ao método manual.

As médias diárias de temperatura das composteiras, em formato de dispersão, e em *B-Splines* cúbicas, em função do tempo (em dias) é apresentada na figura 44.

Aeróbia



Anaeróbia

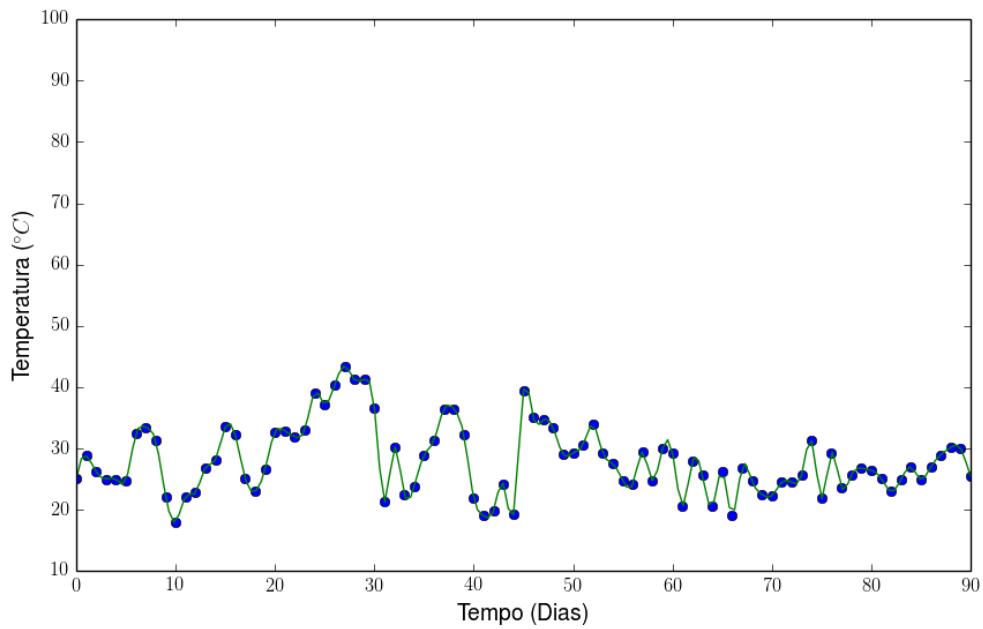


FIGURA 44: Relação entre a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e o tempo (em dias) das composteiras

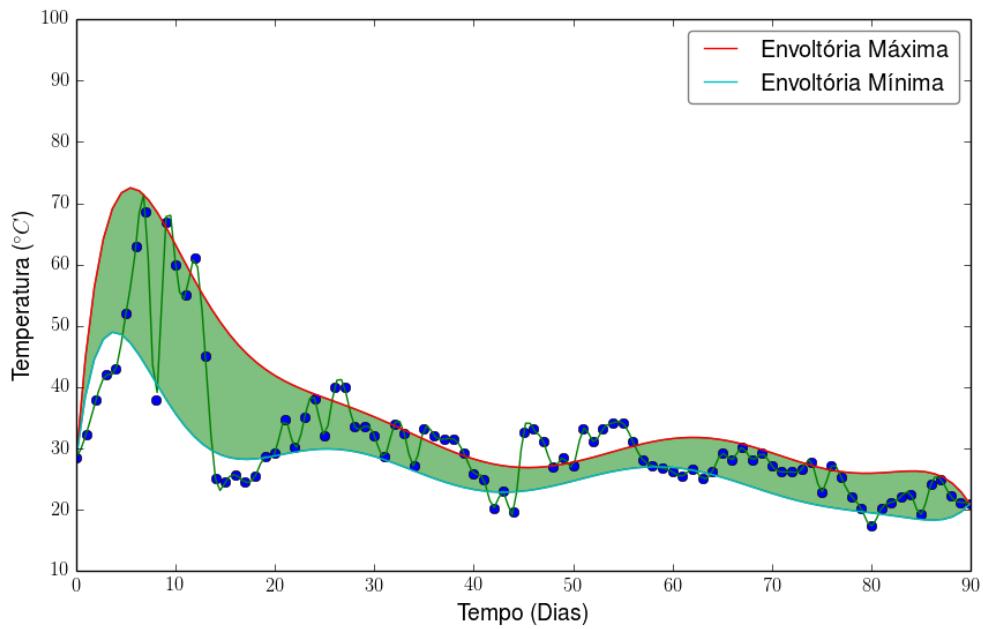
Fonte: Autoria própria.

Ao analisar a figura 44 observa-se que nos primeiros 14 dias do início do processo de compostagem aeróbia as temperaturas médias estavam na faixa termofílica (acima de 40°C). Entre o 7° e 10° dias as médias de temperatura ficaram entre 63°C e 68°C. A temperatura atingiu o máximo (43°C) na composteira anaeróbia no 28° dia de

funcionamento da composteira. Porém houve uma maior variabilidade térmica ao longo do processo, com temperatura média mínima de 17°. É importante destacar que a faixa mesotérmica foi predominante em todo o processo anaeróbio.

Corroborando com os autores Mason (2006); Van Lier et al. (1994); Mohee et al.(1998) que utilizaram o campo polinomial para descrever campos de temperatura e umidade, a partir dos dados médios de temperatura (Figura 44), foram interpoladas as envoltórias máximas e mínimas através dos polinômios de Lagrange (Figura 45). Ainda, observa-se que as curvas de temperatura e umidade podem ter mais de um pico de mínimo e máximo, sendo as funções polinomiais as que mais se adequam a esse modelo.

Aeróbia



Anaeróbia

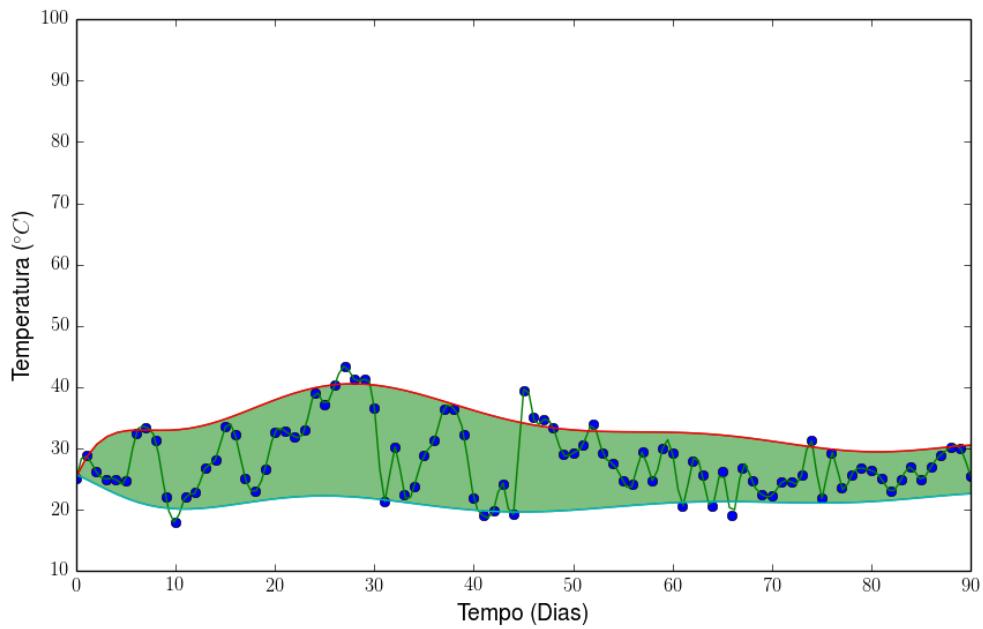


FIGURA 45: Envoltórias mínimas e máximas de nona ordem

Fonte: Autoria própria.

Como os resultados medidos possuem uma amostragem fixa, o único procedimento de refinamento para essas curvas ocorre com o aumento do grau polinomial. Contudo, observa-se através da literatura (Runge, 1901) que o aumento para alta ordem polinomial não converge diretamente para a solução, pois a partir de

um determinado grau "limite" a curva apresenta ruídos localizados, se afastando dos pontos amostrais. Para demonstrar esse fenômeno, a figura 46 identifica a envoltória mínima interpolada para diferentes graus polinomiais superiores ao grau polinomial 9.

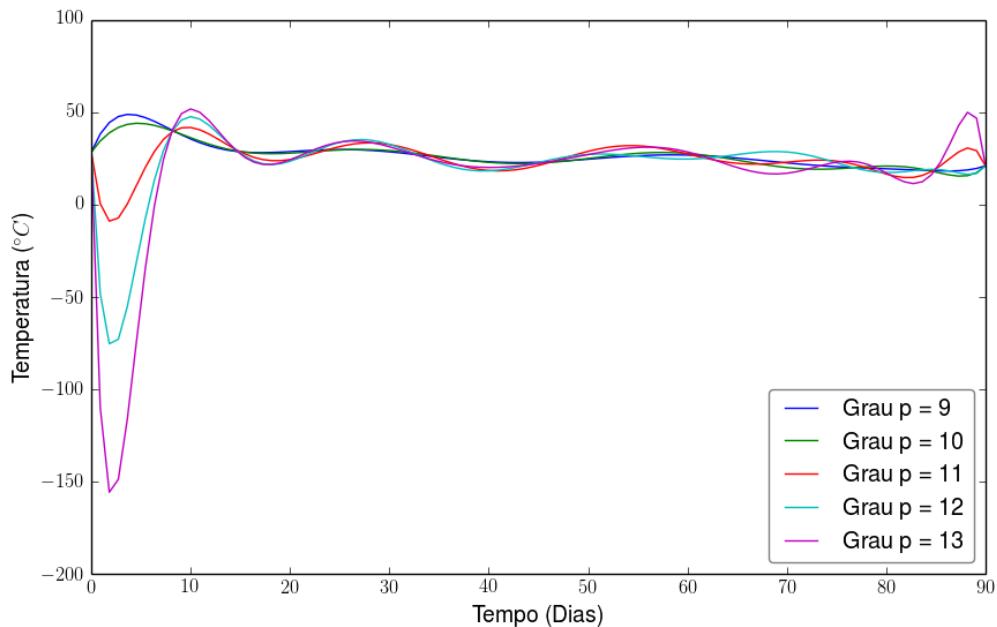


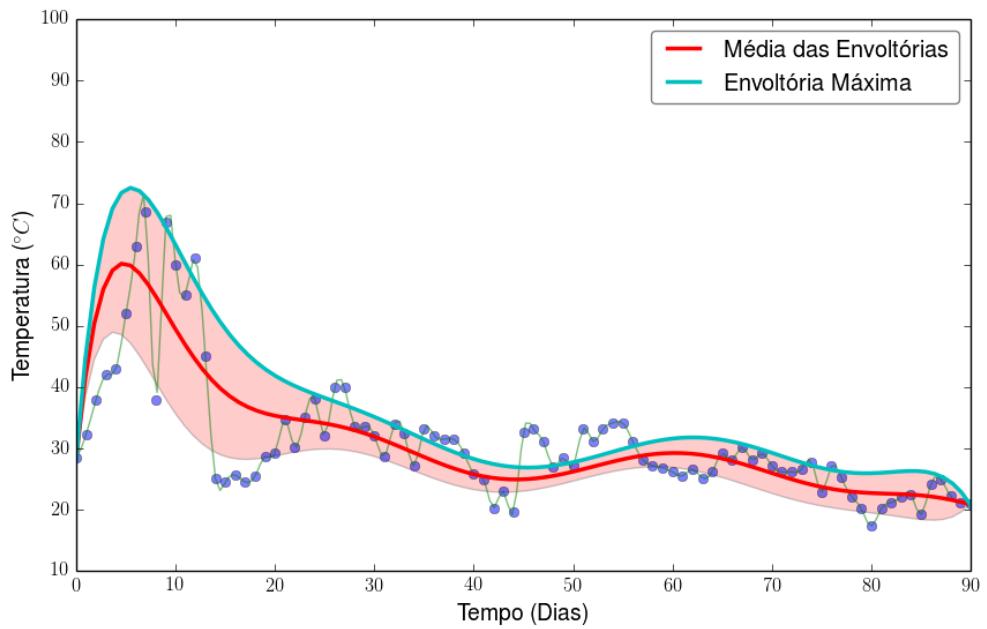
FIGURA 46: Aumento do erro em função da ordem polinomial devido ao fenômeno de Runge

Fonte: Autoria própria.

É claramente perceptível os ruídos já a partir do grau polinomial 9. Observa-se que alguns valores de temperatura chegaram a resultados não representativos (-150°C) (Figura 46). Devido a esse fato, as interpolações polinomiais para as curvas médias deve ser abaixo do grau 9.

Para o campo médio considerou-se uma série de interpolações polinomiais utilizando todo o campo como amostra, bem como a curva média das envoltórias. A Figura 47 representa as interpolações polinomais do campo de temperatura, a média das envoltórias, e a envoltória máxima. E a tabela 13 os coeficientes de correlação dos ajustes.

Aeróbia



Anaeróbia

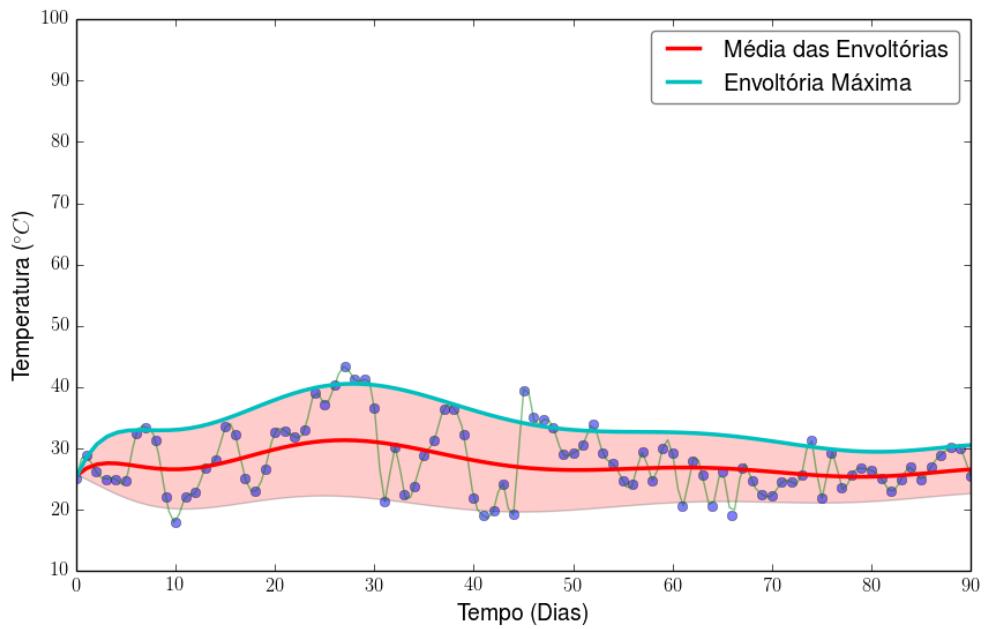


FIGURA 47: Curvas médias ajustadas para os campos de temperatura

Fonte: Autoria própria.

Para analisar os desvios de temperatura das interpolações, considerou-se os coeficientes de correlação dados pela tabela 13

TABELA 13: Coeficientes de Correlação para o Ajuste das Curvas do Campo de Temperaturas

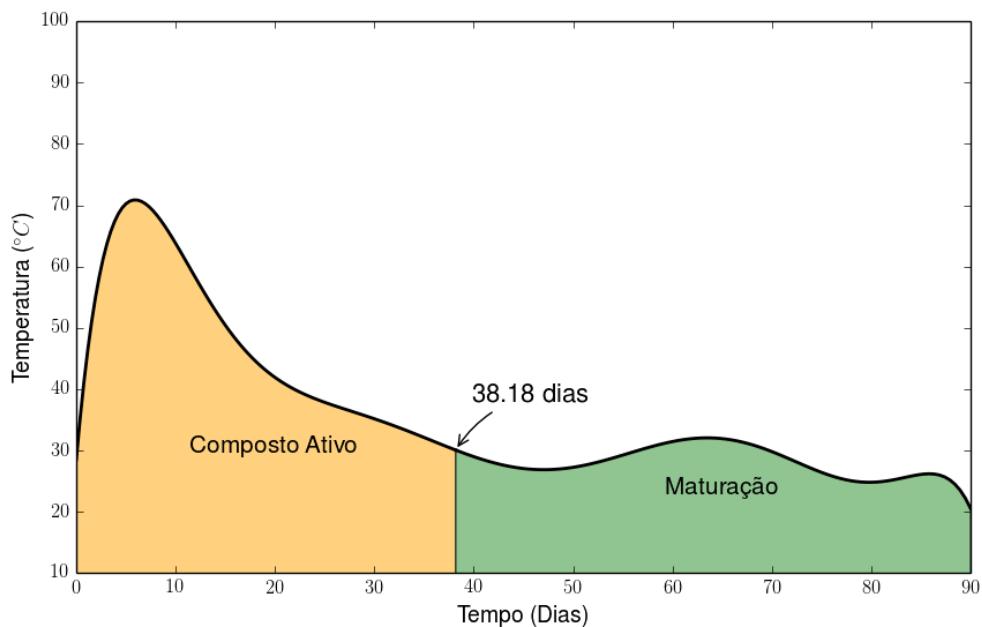
Curva	Coeficiente de Correlação (r^2)	
	Aeróbia	Anaeróbia
Polinomial Grau 5	0.16	0.18
Polinomial Grau 6	0.30	0.19
Polinomial Grau 7	0.46	0.20
Polinomial Grau 8	0.54	0.22
Polinomial Grau 9	0.54	0.24
Envoltoria Máxima	0.96	0.72
Médias das Envoltórias	0.56	0.25

Fonte: Autoria Própria.

Constata-se que a curva que mais se adapta aos dados amostrais, para ambas as composteiras, é a envoltória máxima, e os coeficientes de correlação de 0,9 para a composteira aeróbia e 0,7 na anaeróbia.

Ainda, a partir das equações polinomiais das curvas da Figura 47, aplicou-se o algoritmo de *Newton Raphson* (equação 18) para encontrar as inflexões dos campos polinomiais, ou seja, as coordenadas de tempo onde a derivada segunda das funções polinomiais é nula, indicando mudança de concavidade (Flemming; Gonçalves, 1992). Essas inflexões podem representar o início do declínio da atividade microbiológica sendo, portanto, uma possível fronteira entre a fase termofílica e a fase de maturação do processo de compostagem (Figura 48).

Aeróbia



Anaeróbia

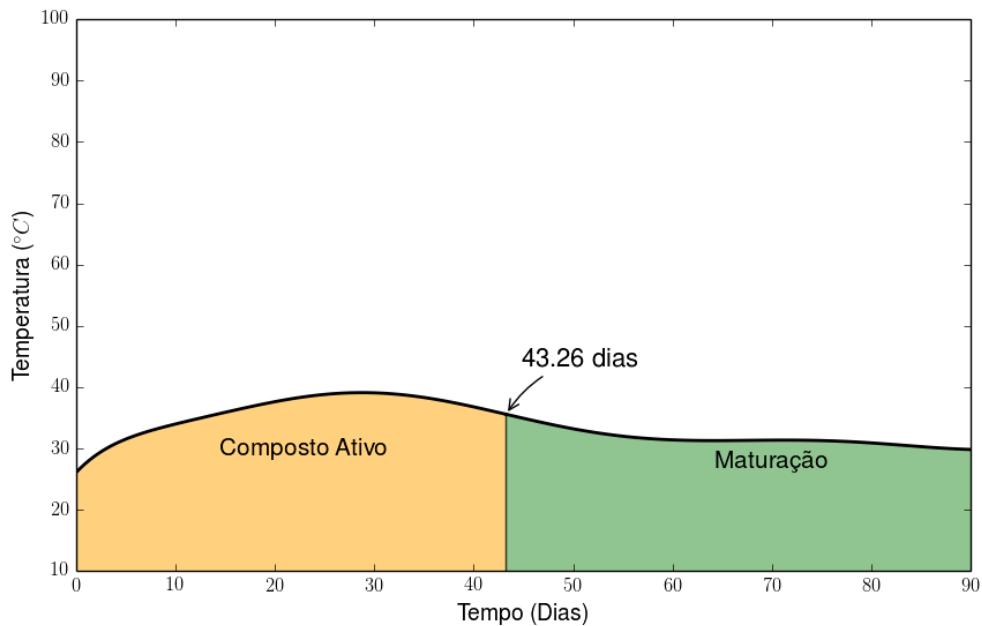


FIGURA 48: Primeiro ponto de inflexão das polinomiais

Fonte: Autoria própria.

A tabela 14 aponta os valores do tempo para a inflexão de cada curva, obtido pelo algoritmo de *Newton-Raphson*.

TABELA 14: Valores da Primeira Inflexão das Polinomiais

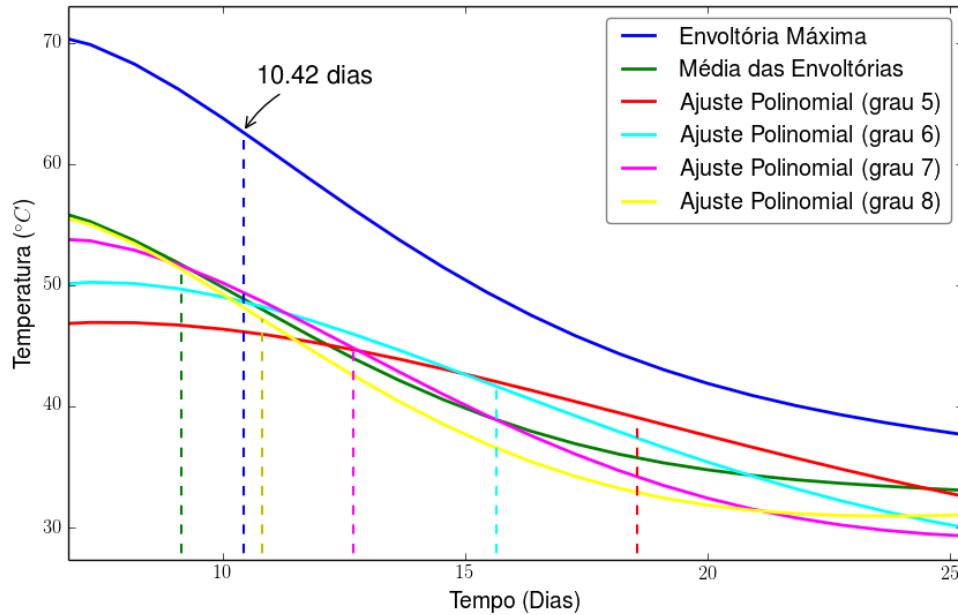
Curva	Tempo onde ocorre a Inflexão	
	Aeróbia	Anaeróbia
Polinomial Grau 5	18.54	51.51
Polinomial Grau 6	15.64	43.90
Polinomial Grau 7	12.68	41.41
Polinomial Grau 8	10.81	41.36
Envoltória Máxima	10.42	41.14
Média das Envoltórias	9.14	43.27

Fonte: Autoria Própria.

Observa-se que conforme o grau polinomial é incrementado, o ponto de inflexão converge para o ponto de inflexão da envoltória máxima, com exceção da média das envoltórias.

Considerando a Figura 49, que representa uma visualização em escala da região de inflexão, é possível notar um padrão de convergência do campo polinomial para envoltória máxima.

Aeróbia



Anaeróbia

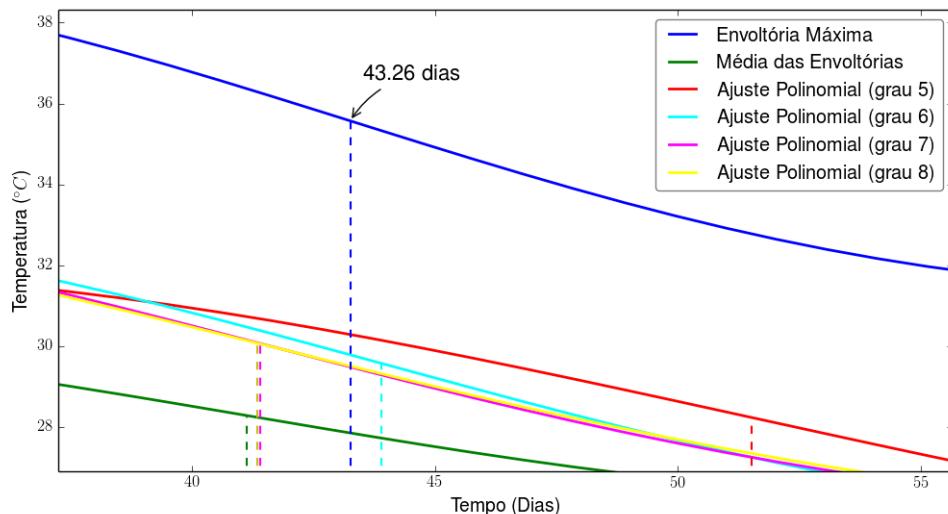


FIGURA 49: Campo de convergência das inflexões

Fonte: Autoria própria.

Seguindo a mesma metodologia de determinação do ponto de inflexão (equação 18), o mesmo fenômeno é observado para os demais pontos de inflexão da curva.

Observando a figura 45 é notável entre o 27° e 28° dias um aumento na temperatura da composteira aeróbia (atingindo 41 °C). Dessa forma, alterando no algoritmo de *Newton-Raphson* a estimativa inicial, mais um ponto de inflexão da curva foi testado, Figura 50 que exibe a curva de temperaturas da composteira aeróbia com

as duas primeiras inflexões.

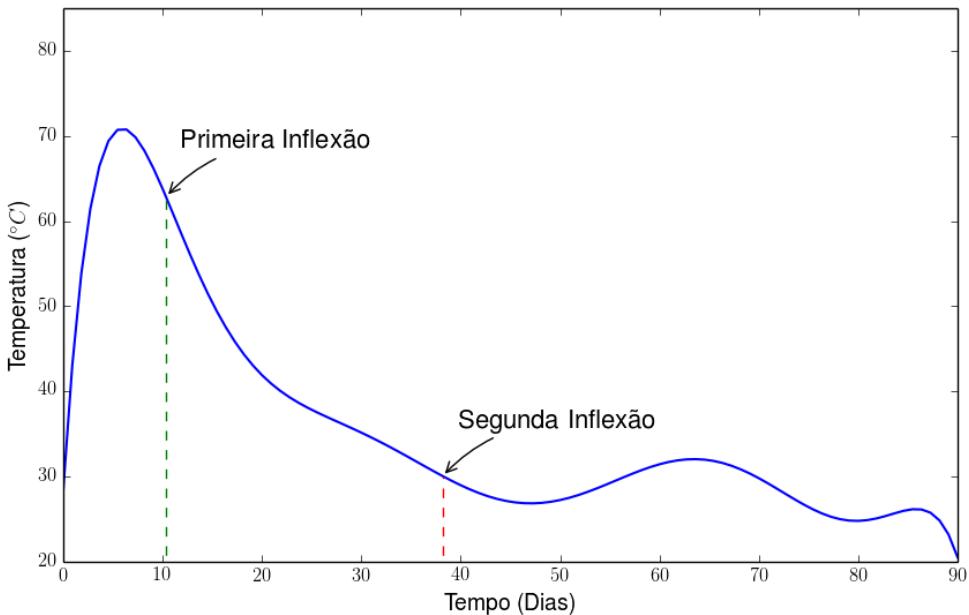


FIGURA 50: Inflexões distribuídas na curva de temperatura

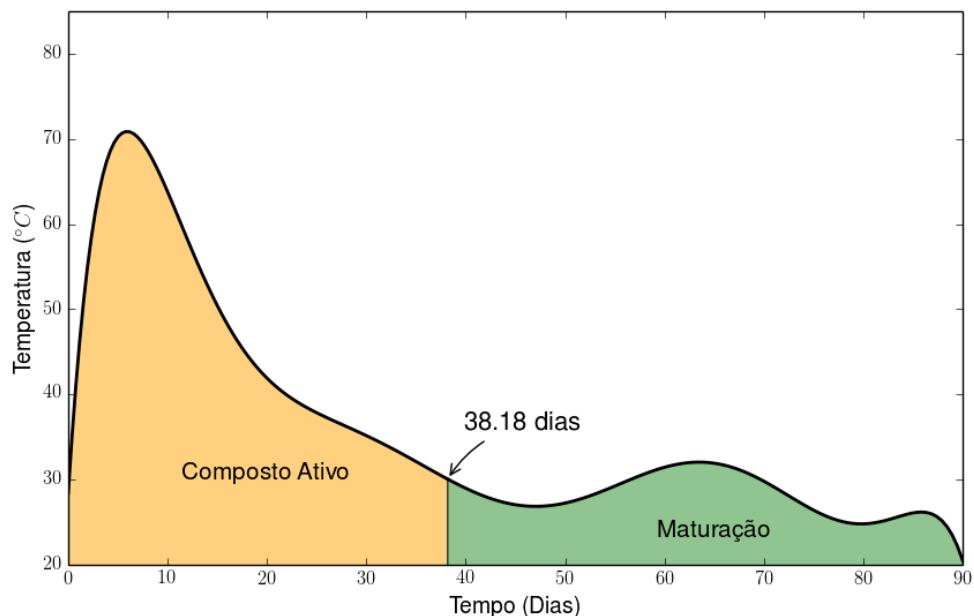
Fonte: Autoria própria.

Ao analisar a figura 50 percebe-se que ocorreu um pico de temperatura (chegando a quase 70 °C) nos primeiros dias de compostagem, uma queda abrupta na mesma depois do 10 °C dia, voltando a uma faixa mesofílica. Posto esse fato, o ponto de inflexão o qual torna o campo de temperatura constante para a composteira aeróbica é o ponto da segunda inflexão, cujo tempo foi de 38 dias, sendo adotado como o final da fase termofílica. Para a composteira anaeróbica é de 43 dias.

Como os coeficientes de correlação foram melhores para as envoltórias máximas e os pontos de inflexão das polinomiais convergem para a envoltória máxima, logo admite-se a curva máxima como a mais representativa para este modelo.

A figura 51 indica a envoltória máxima utilizando os pontos de inflexão como uma possível separação entre as fases termofílica e de maturação na composteira aeróbica e anaeróbica.

Aeróbia



Anaeróbia

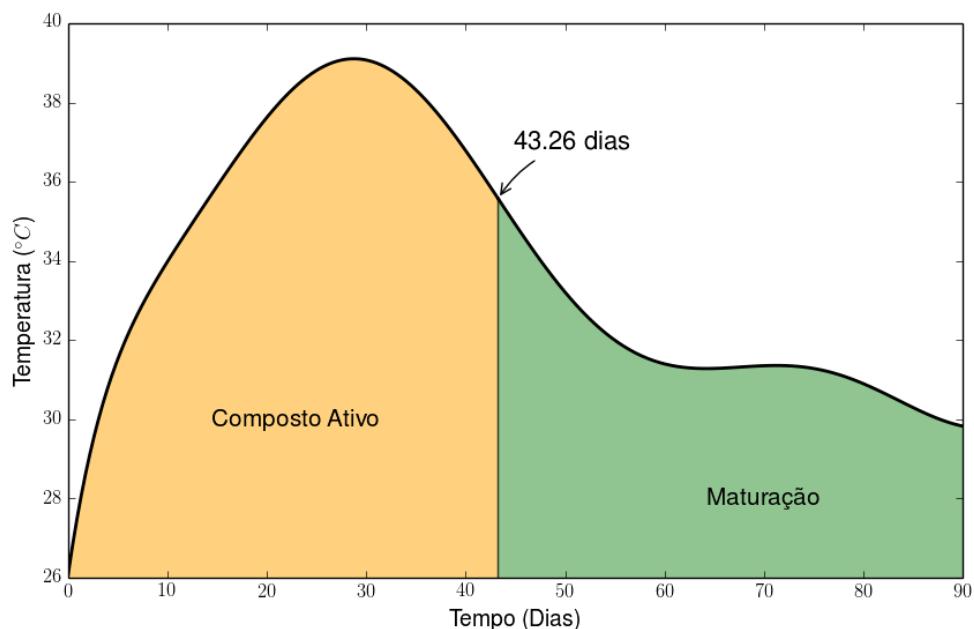


FIGURA 51: Envoltória máxima de temperaturas com a separação entre as fases de compostagem

Fonte: Autoria própria.

7.3.2 Parâmetros de Umidade

A literatura cita que a umidade ideal inicial para a compostagem é em torno de 60% e decresce até chegar a aproximadamente 30%. A evolução da umidade média diária

no decorrer do processo de compostagem pode ser acompanhada, já que a umidade inicial, no presente trabalho, estava em 70% e declinou até uma umidade final de 25%. A Figura 52 apresenta o campo bruto de umidade em formato de dispersão e um ajuste com *B-Splines* cúbicas.

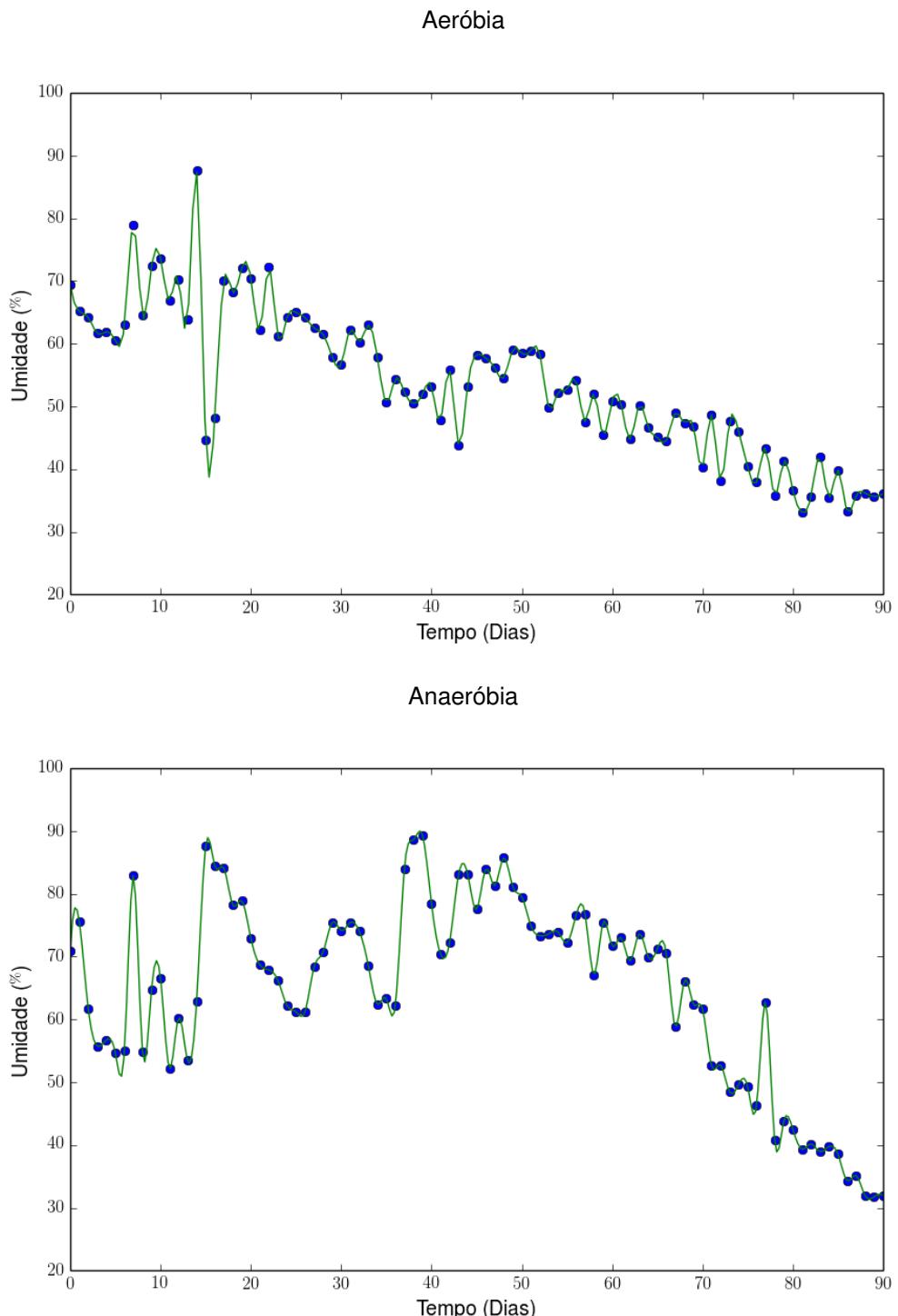


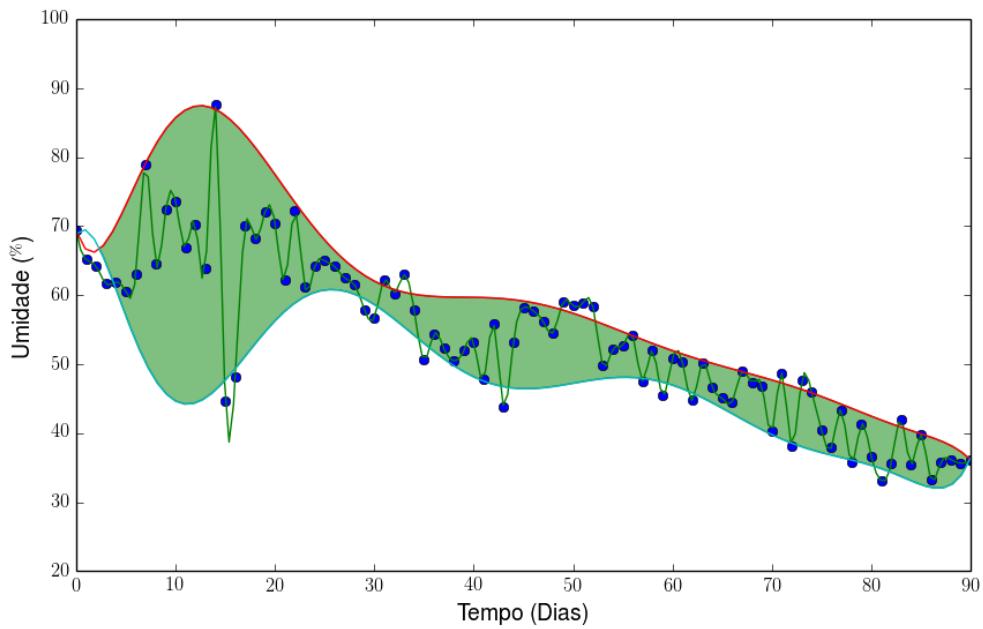
FIGURA 52: Campo bruto de umidade em função do tempo em dias

Fonte: Autoria própria.

Constata-se que o campo de umidade em ambas as composteiras manteve-se bastante elevado. Na composteira aeróbia, nos primeiros 20 dias de compostagem o teor de umidade manteve-se superior a 60% alcançando picos máximos de 78% e 87% e picos de mínimas abaixo de 50%.

A envoltória do campo de umidade com interpolação polinomial de ordem 9 é apresentada pela figura 53.

Aeróbia



Anaeróbia

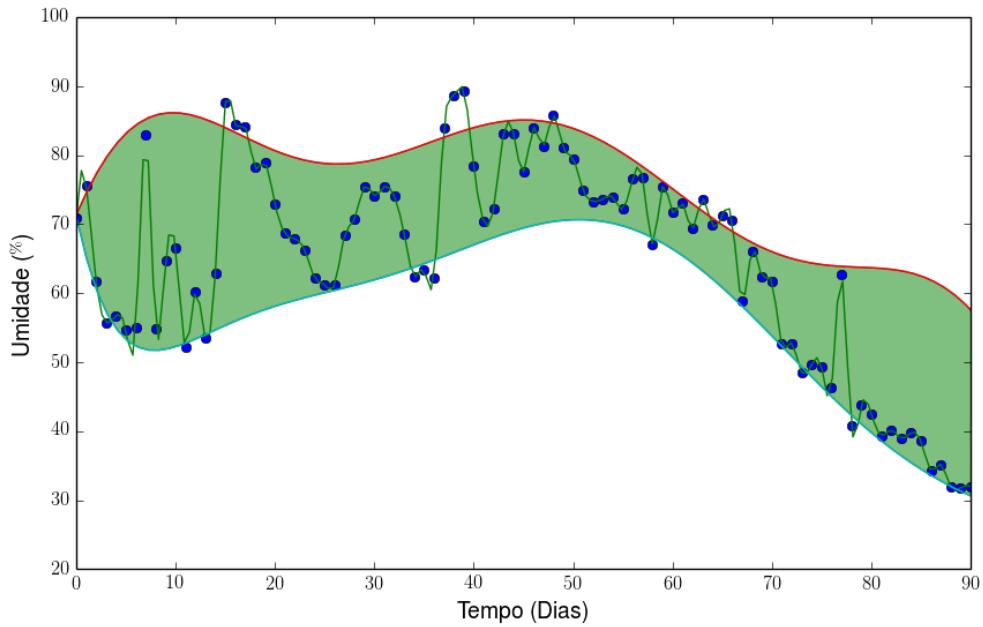
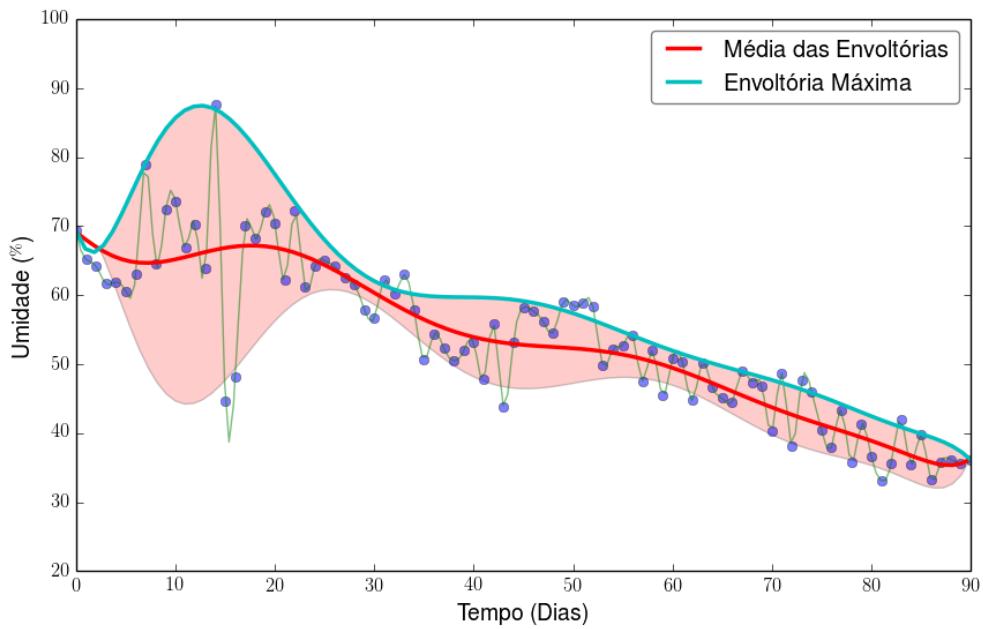


FIGURA 53: Envoltória do campo de umidade com interpolação polinomial de grau 9

Fonte: Autoria própria.

De maneira análoga ao procedimento adotado no tratamento polinomial dos campos de temperaturas, determinou-se a interpolação polinomial do campo relativo a amostra total de umidade (Figura 54).

Aeróbia



Anaeróbia

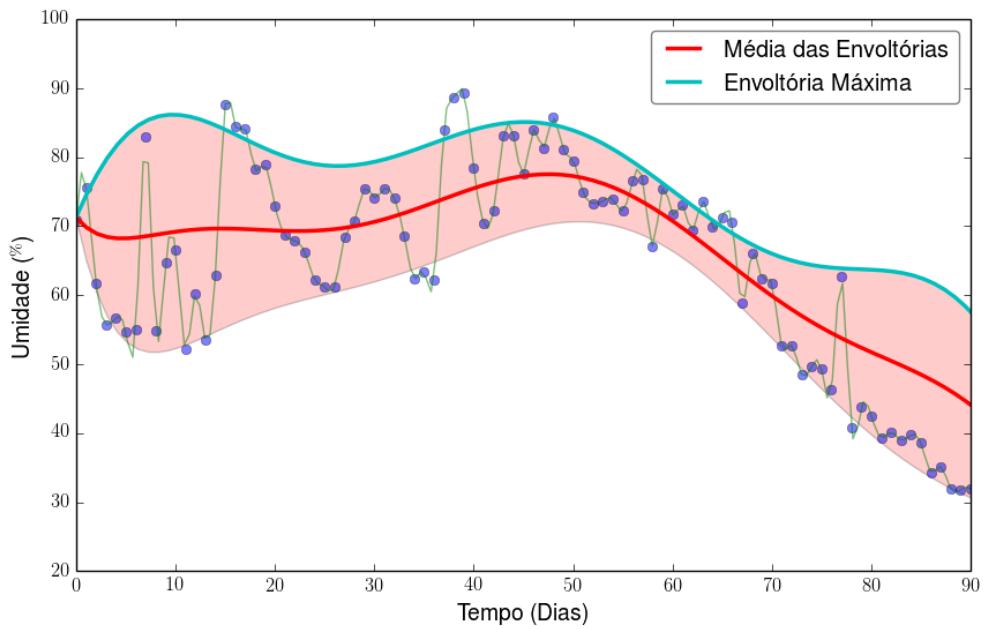


FIGURA 54: Interpolação polinomial do campo de umidades

Fonte: Autoria própria.

Analizando a figura 54 o campo de umidade da composteira aeróbia teve sua máxima no 15º dia, seguido de um declínio a partir do 30º dia, chegando a 37% no 90º dia de compostagem.

É possível observar que o campo de umidade na composteira anaeróbia

apresentou diversos picos de umidades acima de 70% durante um período de 60 dias; a partir do 63º dia a umidade decai lentamente chegando a 35% no 90º dia.

O comportamento referente aos campos de umidade descritos por Campos; Blundt (2000) sugere que haja um decrescimento lento no teor de umidade ao longo do processo de compostagem até chegar a valores em torno de 35%. Apesar dos dados de umidade obtidos estarem acima da zona ótima (60%) o comportamento de decrescimento se manteve, chegando ao final do processo com o teor de umidade especificado pela literatura.

Apesar dos bons ajustes para as curvas polinomiais médias, o melhor coeficiente de correlação entre as diferentes interpolações polinomiais foi a envoltória máxima, que obteve a melhor aproximação para ambos os processos de compostagem (aeróbia = 0,98; anaeróbia = 0,98). A tabela 15 apresenta a comparação entre os coeficientes de correlação obtidos.

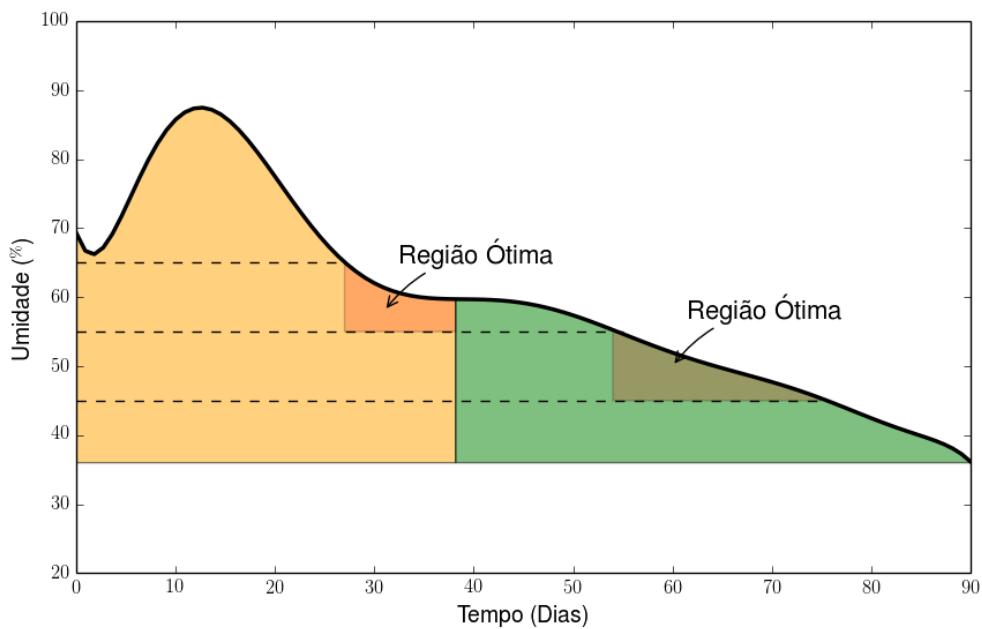
TABELA 15: Coeficientes de Correlação para o Ajuste das Curvas do Campo de Umidades

Curva	Coeficiente de Determinação (r^2)	
	Aeróbia	Anaeróbia
Polinomial Grau 5	0.72	0.84
Polinomial Grau 6	0.72	0.84
Polinomial Grau 7	0.73	0.86
Polinomial Grau 8	0.73	0.87
Polinomial Grau 9	0.73	0.87
Envoltoria Máxima	0.99	0.98
Médias das Envoltórias	0.72	0.82

Fonte: Autoria Própria.

A partir da interpolação polinomial, pode-se observar na Figura 55 a interseção entre as curvas médias de umidade e as regiões ótimas sugeridas por Canadá (2013).

Aeróbia



Anaeróbia

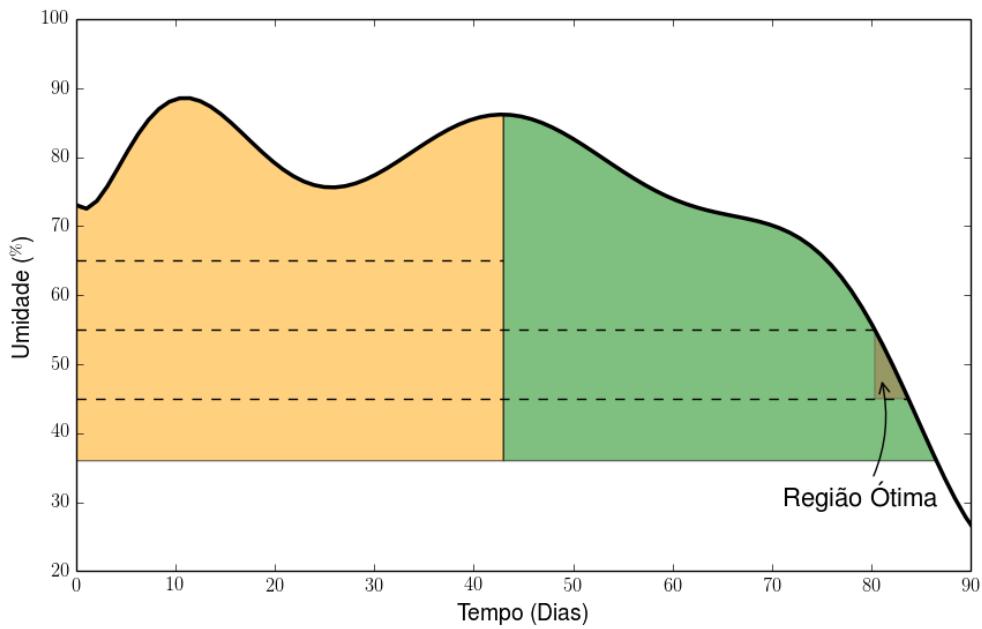


FIGURA 55: Campo de umidade nas fases termofílica e de maturação e regiões ótimas de umidade obtidos na compostagem

Fonte: Autoria própria.

Segundo as intersecções ótimas, mostradas na figura 55, a composteira aeróbia ficou em torno de 30 dias na região ótima, equivalente a um terço do tempo, enquanto a composteira anaeróbia ficou em torno de 4 dias, equivalente à 5% do tempo total,

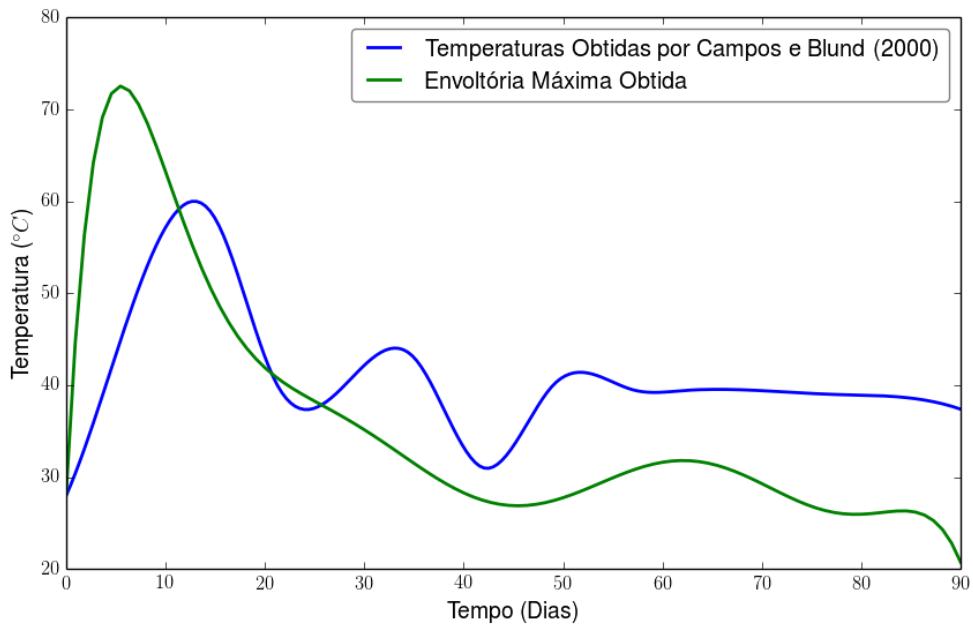
na região ótima de umidade, segundo a envoltória máxima.

Ter a precisão do dado de umidade é um fator diferencial. Segundo os autores Campos; Blund (2000) o teor de umidade geralmente é verificado pelo método visual, que consiste em constatar se o aspecto da leira estava úmido ou seco.

8. DISCUSSÃO

Ao sobrepor os gráficos obtidos a partir dos dados de temperatura e umidade do SAD Arduino, aos gráficos dos autores Campos; Blundt (2000), é possível fazer uma comparação entre os resultados, apenas para a composteira aeróbia (Figura 56)

Temperatura



Umidade

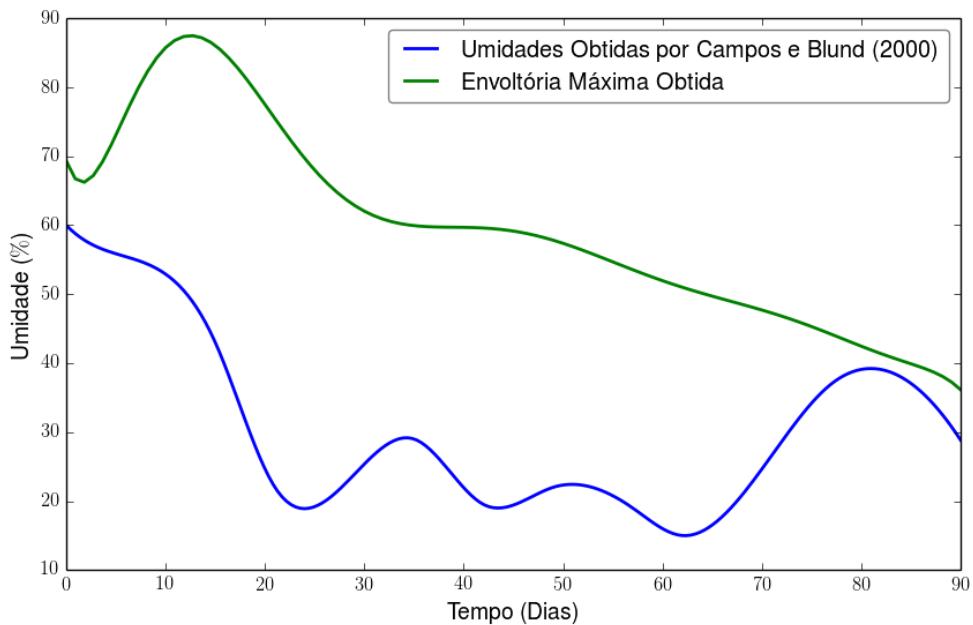


FIGURA 56: Campo de temperatura obtidos por Campos; Blundt (2000) comparados aos obtidos pelo SAD Arduino

Fonte: Campos; Blundt (2000)

Observou-se semelhança entre os campos de temperatura medidos através do SAD Arduino e os dados obtidos por Campos; Blundt (2000). Embora as temperaturas de Campos; Blundt (2000) tenham alcançado máxima de 60°C em torno do 15°

dia, pode-se observar que houve uma segunda curva máxima em torno de 43°C, um declínio na temperatura próximo ao 40° dia de compostagem aeróbia e, depois estabelece-se na faixa mesofílica. Esse declínio em torno do 40° dia de atividade encontrado pelos autores, está coerente com o valor de 38 dias obtido pelo ponto de inflexão da curva de temperatura para a compostagem aeróbia obtidos através do SAD Arduino.

Ainda com relação à figura 56, os campos de umidade apresentaram diferenças significativas, sendo que os valores apresentados pelos autores ficaram abaixo de 60% em todo o processo de compostagem, chegando a valores abaixo de 20%, um valor que não é recomendado devido a possibilidade de mortalidade microbiana. O campo de umidade obtido pelo SAD Arduíno, apesar de apresentar valores superiores a 70% , apresentou um declínio mais suave, com uma estabilização do teor de umidade em torno dos valores ideias a partir do 40° dia de compostagem.

Correlacionando os dados dos parâmetros de temperatura e umidade da compostagem aeróbia, é possível observar um comportamento semelhante entre as curvas obtidas pelo SAD Arduino. Ambos parâmetros apresentaram um comportamento estabilizado a partir do 40° dia de atividade.

Nesse sentido, ao monitorar os parâmetros de temperatura e umidade correlacionados, o manejo da composteira aeróbia se torna mais eficiente com relação as aerações, já que é possível ter um maior controle do campo de umidade e temperatura, sendo possível interceder em momentos mais oportunos. Por exemplo, ao observar um teor de umidade aumentando no interior da composteira, faz-se necessária aeração; da mesma forma dá-se com a temperatura. À vista disso, pode-se afirmar que o SAD Arduino proposto promove um melhor monitoramento do andamento no processo de compostagem tornando o manejo mais assertivo.

O uso do Arduíno como Sistema Aquisitor de Dados foi testado previamente por Wagner et al. (2015) que comprovaram a eficácia da ferramenta como sistema puro de medida aplicado para análise de vibrações. Dessa maneira, a eficiência desse ferramental para demais sistemas de medida é igualmente válido. Essa alternativa é

uma forma econômica e didática para utilização em ambiente de pesquisa acadêmico, sendo possível uma melhor correlação entre diferentes sistemas de medida, já que ao utilizar o hardware Arduino pode-se obter dados simultâneos de diferentes tipos de medida, visto que o que ele aquire são as variações do sinal (em bites).

A partir da experiência obtida no desenvolvimento do presente trabalho, a utilização de um *clock* externo ao do Arduino é de suma relevância, visto que o *clock* interno do Arduino não é sincronizado ao *clock* do computador, podendo gerar discrepâncias nas medidas obtidas, principalmente se houver a necessidade de um intervalo determinado de tempo. De acordo com Wagner et al. (2015) a desincronização do *clock* do Arduino com o *clock* do computador geraram ruído na interpolação dos dados, gerando erros em torno de 5%. Observou-se que com o uso do *clock*, os mesmos erros caem para menos de 1%.

No caso do meio ácido ao qual os sensores de umidade e temperatura foram expostos, recomenda-se a utilização de sensores de umidade em Inox, visto que a durabilidade e, portanto, a eficiência dos mesmos pode ser aumentada com um material mais resistente. Apesar do meio ao qual os sensores foram submetidos ser bastante agressivo por conta da acidez, os sensores tiveram um bom desempenho ao longo do processo de compostagem, mantendo-se em funcionamento 2160 horas ininterruptas. Notou-se que alguns sensores tiveram falhas de leituras pontuais, o que prejudicou a leitura dos gradientes de temperatura no interior da composteira. Devido a esse fato, salienta-se a importância do monitoramento ao longo do processo de utilização desse tipo de sistema e também da possibilidade de trabalhar com múltiplos sensores semelhantes simultâneos para uma melhor aquisição de dados.

Os sistemas de processamento e pós processamento dos dados criados em *Python* foram fundamentais para o correto processamento e interpretação dos dados. Destaca-se os pacotes *NumPy* e *Scipy* como ferramentas eficientes na análise e tratamento de dados. O *Matplotlib* foi de suma importância para as visualizações científicas no decorrer da pesquisa. Salientando as bibliotecas de interpolação polinomial do *SciPy* que foram facilitadores no processo de análise das curvas.

Todo o presente trabalho foi desenvolvido utilizando plataformas livres de *hardware* e *software*, ou seja, tanto o sistema aquisitor de dados, os sensores, o tratamento de dados, até a formatação do trabalho escrito não necessitaram de licenças especiais, *Royalties*, autorizações ou permissões, e ainda podem ser alterados e modificados de acordo com as necessidades da pesquisa. Dessa forma é possível explorar todo o potencial das ferramentas livres de engenharia para o desenvolvimento de novos mecanismos para o ensino e pesquisa, sem passar por processos burocráticos de aquisição de materiais que geralmente tem um custo elevado para as instituições de ensino brasileiras. Logo, ao utilizar *software* e *hardware* livres os projetos e desenvolvimentos se tornam abertos e disponíveis publicamente, de maneira a disseminar o conhecimento, tornando-o acessível para futuras mudanças, melhorias e aberto para diferentes aplicações e interpretações, favorecendo a interdisciplinaridade na resolução de problemas.

Embora o foco do trabalho não seja os resíduos orgânicos cozidos (provenientes do *buffet*), tão pouco os rejeitos, ao fazer a coleta dos resíduos do restaurante buscou-se quantificar todos os resíduos gerados, não se limitando à coleta para posterior triagem, de apenas os resíduos desejados.

Ao analisar os rejeitos do restaurante, ou seja, a lixeira que deveria ser usada apenas para os restos de comida dos pratos dos usuários (restos de comida, ossos, guardanapos, cascas de frutas provenientes das sobremesas), foi observado que, apesar da universidade incentivar a coleta seletiva – principalmente dos recicláveis, fazendo uso de ferramentas de educação ambiental – ainda existe confusão na hora de alocar o resíduo no recipiente correto. Foram encontrados muitos copos plásticos, garrafas plásticas, latas de refrigerante, colheres plásticas, embalagens de balas e chocolates e até garfos e facas do próprio restaurante. Embora essas quantidades diárias de resíduos alocados inadequadamente sejam pequenas - de certa forma até pontuais quando comparadas às quantidades totais de recicláveis gerados na universidade - ainda assim demonstram que os programas de educação ambiental, para terem um resultado efetivo, devem ser contínuos. A utilização dos

recursos gráficos e visuais é importante, porém o resultado poderia ser mais efetivo se palestras de conscientização frequentes, envolvendo toda a comunidade acadêmica e funcionários, pudessem ser realizadas.

CONCLUSÃO

- Identificação dos resíduos gerados pelo Restaurante Universitário:

Os resíduos gerados foram qualificados em: Resíduos do Preparo do Alimento (RPA), Resíduos Cozidos do *Buffet* (RCB), Resíduos Não-cozidos do *Buffet* (RNCB) e Rejeitos.

A partir das análises quantitativas dos resíduos orgânicos gerados pelo Restaurante Universitário (RU) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), câmpus Curitiba, sede Ecoville, é possível afirmar que os resíduos não cozidos do *buffet*, ou seja, as sobras das saladas servidas durante o almoço e jantar, não possuem um grande impacto no peso e volume total de resíduos (em torno de 14,5% gerados). A etapa do preparo do alimento é a etapa onde os resíduos são gerados em maior quantidade, tanto em peso quanto em volume, representando 85,5% dos resíduos orgânicos não cozidos que podem ser tratados pelo método da compostagem.

Os vegetais folhosos, ao passarem pelo triturador, perdem (em média) 71% do volume, sendo que a acelga reduziu 77% do seu volume; alface 73%; repolho 64%. Já os vegetais não folhosos apresentaram uma redução de volume de 50% para a beterraba e 22% para a cenoura. Ainda, 61% do peso total dos resíduos tratados pela composteira aeróbia foram de vegetais folhosos, totalizando 79% do volume total de resíduos dessa composteira. Para a composteira anaeróbia, 72% do peso total dos resíduos foram de vegetais folhosos, totalizando 82% do volume total tratado.

- Elaboração de um sistema viável para a leitura dos parâmetros de temperatura e umidade:

O Sistema de Aquisição de Dados usando o microcontrolador Arduino, desenvolvido no presente trabalho, pode ser utilizado para a aquisição de dados

contínuos, apresentando um bom funcionamento ao longo do experimento, tanto para os parâmetros de temperatura quanto de umidade.

- Instrumentação dos parâmetros de temperatura e umidade em composteiras experimentais:

Com relação a análise das curvas obtidas a partir dos parâmetros de temperatura e umidade medidos pelo SAD Arduino desenvolvido, observou-se, primeiramente, que as interpolações polinomiais são uma boa aproximação para o tratamento desses parâmetros. Ao analisar as curvas de temperatura, observou-se que as envoltórias máximas, para os campos de temperatura e umidade, apresentaram os melhores ajustes devido aos coeficientes de correlação próximos da unidade, e também devido ao padrão de convergência dos pontos de inflexão determinados. Ressalta-se que o uso das envoltórias máximas são largamente utilizados na literatura e os fenômenos observados neste trabalho reforçam a base de argumentação para o uso das mesmas. Ainda, para as curvas médias, pode-se afirmar que o ajuste polinomial de grau 8 apresentou os melhores coeficientes de correlação, sendo que o fenômeno de Runge aparece em grau polinomial 9 para ambos parâmetros (temperatura e umidade). Ainda que as correlações do campo de temperaturas da composteira anaeróbia tenham sido mais baixos que os demais, observou-se um bom comportamento da envoltória máxima.

No que concerne ao campo de umidade, verificou-se que os coeficientes de correlação para todos os ajustes foram mais próximos da unidade do que as curvas de temperatura, indicando um melhor ajuste.

As inflexões medidas para os campos de umidade e temperatura são coerentes com os expostos pela literatura (média de dias, média de temperatura, média de umidade) além de que há um padrão de convergência polinomial para essas inflexões. Como foi exposto, a temperatura da composteira aeróbia foi, inicialmente, de 35°C e, a partir dos primeiros dias, a temperatura evoluiu até o valor de 70 °C atingindo a fase termofílica, bem como, declinou até a temperatura

mesofílica onde, segundo Kiehl (1985), ocorre a fase de bioestabilização ou maturação. Apesar da coerência entre as curvas da literatura e as curvas obtidas no experimento, Campos; Blundi (2000) salientam que a maturação e a umificação devem ser confirmadas segundo mais alguns parâmetros, como a Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio, relação C/N e pH.

- Avaliação do comportamento dos sensores ao longo do tempo de compostagem:

Os sensores funcionaram ininterruptamente durante 90 dias, totalizando 2160 h, em atividade no meio ácido das composteiras. Os sensores da composteira anaeróbia pararam de funcionar no último dia de experimento (90° dia).

Ao longo do experimento o comportamento dos sensores oscilaram, falhas e ruídos foram observados. Isso deve-se ao fato, principalmente, do meio ao qual os sensores estavam introduzidos. Apesar das falhas pontuais, a leitura e posterior tratamento dos dados não se fizeram prejudicados.

A frequência das leituras manteve-se correta, sinalizando que o uso do *clock* adicional é, de fato, importante para a manutenção do tempo entre as coletas de dados.

- Comparaçāo dos métodos de compostagem:

Ambos os métodos resultaram em composto, em estágio final de maturação, ou seja iniciando a última fase da compostagem (secagem e bioestabilização). Essa fase, preferencialmente, acontece fora da composteira espalhando o composto em uma superfície e deixando secar naturalmente. Portanto, é possível afirmar que 90 dias é o tempo de compostagem para ambos os métodos.

Ao comparar os dados de Campos; Blundi (1998), com relação a compostagem aeróbia, observa-se semelhança entre os campos de temperatura, corroborando com o andamento correto do processo de compostagem.

Dados brutos dos parâmetros de umidade e temperatura para compostagem anaeróbio não são usuais, a literatura traça médias máximas e mínimas,

dificilmente encontram-se dados como os coletados nesse experimento, corroborando ao uso de tecnologias financeiramente viáveis para pesquisas científicas, já que as curvas de temperatura e umidade ao longo do processo de compostagem anaeróbia só foram possíveis através dessas ferramentas (SAD Arduíno).

Não pode-se afirmar com esse experimento que durante o período do inverno os resultados esperados sejam semelhantes aos encontrados aqui, visto que as temperaturas médias no período de inverno em Curitiba (PR) são de 13° C, chegando a temperaturas negativas, podendo influenciar no processo de compostagem.

REFERÊNCIAS

- ALSHUWAIKHAT, H. M.; ABUBAKAR, I. An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices. **Journal of Cleaner Production**, 2008.
- AKHMETOV, B.; AITIMOV, M. Data collection and analysis using the mobile application for environmental monitoring. **Procedia Computer Science**, v. 56, p. 532–537, 2015.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 10004: Resíduos Sólidos Classificação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004. 71p. Relatório Técnico.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 15220 - 3: Desempenho térmico de edificações Parte 3 Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005. 66p. Relatório Técnico.
- ABRELPE, **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2005**. São Paulo: Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais, 2006. .
- ABRELPE, **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2008**. São Paulo: Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais, 2009. .
- ABRELPE, **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2009**. São Paulo: Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais, 2010. .
- ABRELPE, **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2010**. São Paulo: Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais, 2011. .
- ABRELPE, **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2011**. São Paulo: Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais, 2012. .
- ABRELPE, **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2012**. São Paulo: Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais, 2013. .
- ABRAHAM, X. A cost-effective wireless sensor network system for indoor air quality monitoring applications. **Procedia Computer Science**, v. 34, p. 165–171, 2014.
- ABRELPE, **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2013**. São Paulo: Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais, 2014. .
- ABRELPE, **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2014**. São Paulo: Associação

brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais, 2015. .

ABRELPE, **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2015.** São Paulo: Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais, 2016. .

ABRELPE, **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2016.** São Paulo: Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais, 2017. .

AL-KADI, T.; AL-TUWAIJRI, Z.; AL-OMRAN, A. Arduino Wi-Fi network analyzer. **Procedia Computer Science**, v. 21, p. 522–529, 2013.

AMARAL, M. G. R. **Gestão municipal de resíduos sólidos recicláveis: exame do projeto de natal implantado pela prefeitura municipal de Benevides.** Belém: Universidade da Amazônia, 2013. 129p. Relatório Técnico.

AGAPIOU, A.; VAMVAKARI, J. P.; ANDRIANOPOULOS, A.; PAPPA, A. Volatile emissions during storing of green food waste under different aeration conditions. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 8890–8901, 2016.

AGUILAR-VIRGEN, Q.; TABOADA-GONZÁLEZ, P.; OJEDA-BENÍTEZ, S. Analysis of the feasibility of the recovery of land fill gas : a case study of Mexico. **Journal of cleaner production**, v. 79, p. 53–60, 2014.

BANK, W. **What a Waste: a Global review of solid waste management.** Washington: 2012. .

BOVE, R.; LUNGHI, P. Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative technologies. **Energy Conversion and Management**, v. 47, p. 1391–1401, 2006.

BRASIL, **Lei n 12.305 de 02 de agosto de 2010.** Brasília, DF: 2010a. .

BRASIL, M. **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos.** Brasília, DF: 2010b. .

BRASIL, **Decreto n 5.940 de 25 de outubro de 2006.** Brasília, DF: 2006. .

BAO, N.; THI, D.; KUMAR, G.; LIN, C.-Y. An overview of food waste management in developing countries: Current status and future perspective. **Journal of Environmental Management**, v. 157, p. 220–229, 2015.

BEYLOT, A.; VILLENEUVE, J. Environmental impacts of residual municipal solid waste incineration: A comparison of 110 French incinerators using a life cycle approach. **Waste Management**, v. 33, p. 2781–2788, 2013.

BEYLOT, A.; VILLENEUVE, J.; BELLENFANT, G. Life cycle assessment of landfill biogas management: sensitivity to diffuse and combustion air emissions. **Waste Management**, v. 33, p. 401–411, 2013.

CANADA, E. **Technical document on municipal solid waste organics processing.** Canadá: Environment Canada, 2013. 220p. Relatório Técnico.

CAMPOS, A. L. I. D. O.; BLUNDI, C. E. Avaliação de matéria orgânica em compostagem: metodologia e correlações. **26º Congresso interamericano da AIDIS.** São Paulo, 1998.

COPETTI, G.; Fernandes De Aquino, I. Projeto de Pátio de Compostagem com Vista à Valorização de Resíduos Orgânicos. 2012.

CAROLINO, C. G.; FERREIRA, J. A. P. M. First and second law analyses to an energetic valorization process of biogas. **Renewable Energy**, v. 59, p. 58–64, 2013.

CEMPRE, Compromisso empresarial para reciclagem, ; IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado.** São Paulo: 2000. 37p. Relatório Técnico.

CROMELL, C.; National Gardening Association, T. **Composting for dummies.** 2000.

Conselho Nacional do Meio Ambiente, C. **Resolução CONAMA 005, 05 de agosto de 1993.** Brasília, DF: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1993. .

CARLESSO, W. M.; RIBEIRO, R.; HOEHNE, L. Tratamento de resíduos a partir de compostagem e vermicompostagem. **Revista Destaques Acadêmicos**, p. 105–110, 2011.

ALMEIDA, P. S.; CASTILHOS JUNIOR, A. B.; TADA, A. M.; ALMEIDA, M.; JR WAGNER KIMURA, P. R. G. Sociedade, Meio Ambiente e Cidadania Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte. 2003.

DELGADO-CASTRO, A.; ROJAS-BOLAÑOS, O. Construcción de un sistema de bajo costo para el uso y evaluación de sensores semiconductores para gases. **Educacion Quimica**, v. 26, p. 299–306, 2015.

SOUZA, K. E. **Estudo de um método de priorização de resíduos industriais para subsídio à minimização de resíduos químicos de laboratórios de universidades.** São Carlos SP: Universidade Federal de São Carlos UFSCAR, 2005. 134p. Relatório Técnico.

DIVYA, D. G.; TH, L.R; CHRISTY, M. A review on current aspects and diverse prospects for enhancing biogas production in sustainable means. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 42, p. 690 – 699, 2015.

ELIAS, V. O. M. **Transferência tecnológica do projeto de coleta seletiva e compostagem de resíduos orgânicos da UFSC para a UFGD.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014. 85p. Relatório Técnico.

EISELT, H. A.; MARIANOV, V. A bi-objective model for the location of landfills for

municipal solid waste. **European Journal of Operational Research**, v. 235, p. 187–194, 2014.

EPE, E. D. P. E. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos de Campo Grande , MS.** Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia MME, 2008. 77p. Relatório Técnico.

European Environment Agency, **Managing municipal solid waste - a review of achievements in 32 European counties.** 2013.

FACCIN, R. Sistemas alternativos de aquecimento solar para água do banho no estado do Rio Grande do Sul. **Universidade Federal de Santa Maria**, p. 34, 2014.

FEAM, F. C. A. E. D. M. A. **Orientações técnicas para a operação de usina de triagem e compostagem do lixo.** Belo Horizonte MG: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2006. 27p. Relatório Técnico.

FUJII, M.; FUJITA, T.; CHEN, X.; OHNISHI, S.; YAMAGUCHI, N. Smart recycling of organic solid wastes in an environmentally sustainable society. **Resources, Conservation and Recycling**, 2012.

FUJII, M.; FUJITA, T.; OHNISHI, S.; YAMAGUCHI, N.; YONG, G. ET AL. Regional and temporal simulation of a smart recycling system for municipal organic solid wastes. **Journal of Cleaner Production**, 2014.

FURIAM, S. M.; GÜNTHER, W. R. Avaliação da educação ambiental no gerenciamento dos resíduos sólidos no campus da Universidade Estadual de Feira de Santana. v. 35, p. 7–27, 2006.

FILHO, L. F. D. B. **Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. .

FERDOUSH, S.; LI, X. Wireless sensor network system design using Raspberry Pi and Arduino for environmental monitoring applications. **Procedia Computer Science**, v. 34, p. 103–110, 2014.

FUSIONS, **Food waste quantification manual to monitor food waste amounts and progression.** Paris: FUSIONS, 2016. 1–165p. Relatório Técnico.

FUENTES, M.; VIVAR, M.; BURGOS, J. M.; AGUILERA, J.; VACAS, J. A. Design of an accurate, low-cost autonomous data logger for PV system monitoring using Arduino??? that complies with IEC standards. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 130, 2014.

GUILLIER, L.; DURET, S.; HOANG, H.-M.; FLICK, D.; NGUYEN-THÉ, C. ET AL. Linking food waste prevention, energy consumption and microbial food safety: the next challenge of food policy. **Current Opinion in Food Science**, v. 12, p. 30–35, 2016.

GAD, H. E.; GAD, H. E. Development of a new temperature data acquisition system for solar energy applications. **Renewable Energy**, v. 74, p. 337–343, 2015.

GONÇALVES, M. S.; KUMMER, L.; SEJAS, M. I. I.; RAUEN, T. G.; BRAVO, C. E. C. Gerenciamento de resíduos sólidos na Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Francisco Beltrão. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 15, p. 79–84, 2010.

GUIQIN, W.; LI, Q.; GUOXUE, L.; LIJUN, C. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP : A case study in Beijing , China. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 2414–2421, 2009.

GBANIE, S. P.; TENGBE, P. B.; MOMOH, J. S.; MEDO, J.; KABBA, V. T. S. Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): Case study Bo , Southern Sierra Leone. **Applied Geography**, v. 36, p. 3–12, 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Pesquisa de informações básicas municipais: Perfil dos municípios brasileiros 2013**. Rio de Janeiro RJ: 2014. 282p. Relatório Técnico.

IBAM, Instituição Brasileira de Administração Municipal, ; SEDU, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República, **Manual gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200p. Relatório Técnico.

JUNIOR, J. M. D. M. **Gestão integrada de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2007. 40p. Relatório Técnico.

KUNWAR, S.; ABBASI, R.; ALLEN, C.; BELZ, J.; BESSON, D. ET AL. Design, construction and operation of a low-power, autonomous radio-frequency data-acquisition station for the TARA experiment. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment**, v. 797, p. 110–120, 2015.

KOESTER, R. J.; EFLIN, J.; VANN, J. Greening of the campus: a whole-systems approach. **Journal of Cleaner Production**, 2006.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba - SP: 1998.

KOS, ; KOSAR, ; MERNIK, ; MARJAN, Development of data acquisition systems by using a domain-specific modeling language. **Computers in Industry**, v. 63, p. 181–192, 2012.

KALAITZAKIS, K.; KOUTROULIS, E.; VLACHOS, V. Development of a data acquisition system for remote monitoring of renewable energy systems. **Measurement**, v. 34, p. 75–83, 2003.

KAPDI, S. S.; VIJAY, V. K.; RAJESH, S. K.; PRASAD, R. Biogas scrubbing , compression and storage : perspective and prospectus in Indian context. **Renewable Energy**, v. 30, p. 1195–1202, 2005.

LEÃO, S.; BISHOP, I.; EVANS, D. Spatial – temporal model for demand and allocation of waste landfills in growing urban regions. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 28, p. 353–385, 2004.

LAUDEANO, A. C. G.; BOSCO, T. C. D.; PRATES, K. V. M. C. Poposta de gerenciamento de resíduos químicos para laboratórios de instituições de ensino médio e técnico. **II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, p. 341–403, 2011.

LOMBARDI, L.; CARNEVALE, E.; CORTI, A. Greenhouse effect reduction and energy recovery from waste landfill. **Energy**, v. 31, p. 3208–3219, 2006.

LOMBARDI, L.; CARNEVALE, E. A.; CORTI, A. Comparison of different biological treatment scenarios for the organic fraction of municipal solid waste. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 12, p. 1–14, 2015.

LIMA, L. M. Q. **Tratamento de lixo**. 2. ed. São Paulo: Hemus, 1991.

LAKHOUT, A.; SCHIRMER, W. N.; JOHNSON, T. R.; CABANA, H.; CABRAL, A. R. Chemosphere evaluation of the efficiency of an experimental biocover to reduce BTEX emissions from landfill biogas. **Chemosphere**, v. 97, p. 98–101, 2014.

LAUDER, A.; SARI, R. F.; SUWARTHA, N.; TJAHHONO, G. Critical review of a global campus sustainability ranking: GreenMetric. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, p. 852–863, 2015.

MAESTRI, J. C. Reciclagem local dos resíduos orgânicos com participação comunitária. 2000.

MASON, I. G.; BROOKING, A. K.; OBERENDER, A.; HARFORD, J. M.; HORSLEY, P. G. **Implementation of a zero waste program at a university campus**. 2003.

MESAS-CARRASCOSA, F.; Verdú Santano, D.; MEROÑO, J.; Sánchez de la Orden, M.; FERRER, A. Open source hardware to monitor environmental parameters in precision agriculture. **Biosystems Engineering**, v. 137, p. 73–83, 2015.

MEURER, C. M. **Conetividade e produtividade em áreas urbanas: uma proposta de rede de agricultura urbana para a cidade de Juiz de Fora/MG**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ, 2013. 87p. Relatório Técnico.

MARSHALL, R. E.; FARAHBAKHSH, K. Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. **Waste Management**, 2013.

MARTÍN, F. F.; LLOPIS, M. V.; RODRÍGUES, J. C.; BLANCO, J. G. Low-cost open-source multifunction data acquisition system for accurate measurements.

Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, v. 55, p. 265–271, 2014.

MOGHADAM, M. R. A.; MOKHTARANI, N.; MOKHTARANI, B. Municipal solid waste management in Rasht City, Iran. **Waste Management**, 2009.

MASON, I. G.; OBERENDER, A.; BROOKING, A. K. Source separation and potential re-use of resource residuals at a university campus. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 40, p. 155–172, 2004.

MONNET, F. **An introduction to anaerobic digestion of organic wastes**. Remade Scotland, 2003. 48p. Relatório Técnico.

MONTEIRO, V. F. M. **Estudo do gerenciamento dos resíduos gerados na escola de química da Universidade Federal do Rio de Janeiro frente às normas estabelecidas pela legislação vigente**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ, 2015. 134p. Relatório Técnico.

MACRAE, G.; RODIC, L. The weak link in waste management in tropical Asia? Solid waste collection in Bali. **Habitat International**, 2015.

MMA - Ministério do Meio Ambiente, ; Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente, **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos**. Brasília: 2010. .

MORITA, M.; SASAKI, K. Factors influencing the degradation of garbage in methanogenic bioreactors and impacts on biogas formation. **Appl Microbiol Biotechnol**, v. 94, p. 575–582, 2012.

MUZENDA, E. Bio-methane generation from organic waste : a review. **Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science**. San Francisco, 2014.

MANNA, L.; ZANETTI, M. C.; GENON, G. Modeling biogas production at landfill site. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 26, p. 1–14, 1999.

NADALETI, W. C.; CREMONEZ, P. A.; SOUZA, S. N. M.; BARICCATTI, R. A.; FILHO, P. B. ET AL. Potential use of landfill biogas in urban bus fleet in the Brazilian states : a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 277–283, 2015.

NEPA - Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentos, **TACO: Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. Campinas SP: Unicamp, 2011. 161p. Relatório Técnico.

NETO, J. A. T. P. **Manual de compostagem**. 3. ed. Viçosa MG: Universidade Federal de Viçosa UFV/MG, 2011.

ORTHODOXOU, D.; PETTITT, T. R.; FULLER, M.; NEWTON, M.; KNIGHT, N. ET AL. An investigation of some critical physico-chemical parameters influencing the operational rotary invessel composting of food waste by a small-to-medium sized

enterprise. **Waste and Biomass Valorization**, v. 6, p. 293–302, 2015.

PATTERSON, T.; ESTEVES, S.; DINSDALE, R.; GUWY, A. An evaluation of the policy and techno-economic factors affecting the potential for biogas upgrading for transport fuel use in the UK. **Energy Policy**, v. 39, p. 1806–1816, 2011.

PHAM, T. P. T.; KAUSHIK, R.; PARSHETTI, G. K.; MAHMOOD, R.; BALASUBRAMANIAN, R. **Food waste-to-energy conversion technologies: Current status and future directions**. 2015.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Bioclimatic zoning of Brazil : a proposal based on the Givoni and Mahoney methods. p. 4–9, 1999.

SCHERER, R. F. **Gestão de resíduos orgânicos originados do beneficiamento de hortifrutis no município de Biguaçu - SC**. Florianópolis SC: Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, 2012. 65p. Relatório Técnico.

SEDU - Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República, ; IBAM - Instituição Brasileira de Administração Municipal, **Gestão Integrada de resíduos sólidos: Manual Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: 2001. 200p. Relatório Técnico.

SILVA, A. A. Gestão de resíduos sólidos em instituições de ensino superior: o caso da Unicentro, PR. **XVII SEMEAD Seminários em Administração**. São Paulo, 2014.

SILVA, E. R.; MENDES, L. A. A. O papel das Universidades na Construção da Sustentabilidade Ambiental: uma proposta de Modelo de Gerenciamento Integrado de Resíduos. **Revista ADVIR da UERJ**, v. 23, p. 75–85, 2009.

SOARES, E. L. D. S. F. **Estudo da caracterização gravimétrica e poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ, 2011. .

SUMPHAO, T.; THANACHAYANONT, C.; SEETAWAN, T. Design and implementation of a low cost DAQ system for thermoelectric property measurements. **Procedia Engineering**, v. 32, p. 614–620, 2012.

TARAZONA, C. F. **Estimativa de produção de gás em aterros de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010. 189p. Relatório Técnico.

TAUCHEN, J.; BRANDLI, L. L. A gestão ambiental em instituições de ensino superior: modelo para implantação em campus universitário. **Gestão e Produção**, v. 13, p. 503–515, 2006.

TOMAZ, N.; GODOY, E.; MARCUZ, M. Utilização de materiais alternativos para tratamento acústico de ateliês. **ENCAC**, p. 516–523, 2003.

TCHOBANOGLOUS, G.; KREITH, F. **Handbook of solid waste management.** McGraw-Hil. ed. 2002.

TROSCHINETZ, A. M.; MIHELCIC, J. R. Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. **Waste Management**, 2009.

TSAI, W. . T. Bioenergy from landfill gas (LFG) in Taiwan. **Renewable and Sustainable Energy reviews**, v. 11, p. 331–344, 2007.

THEMELIS, N. J.; ULLOA, P. A. Methane generation in landfills. **Renewable Energy**, v. 32, p. 1243–1257, 2007.

UnoHabitat - United Nations Human Settlements Programme, **Solid waste management in the world's cities: water and sanitation in the world's cities 2010.** London: ONU, 2010. 257p. Relatório Técnico.

USEPA - United States Environmental Protection Agency, **Municipal solid waste generation, recycling, and disposal in the United States: facts and figures for 2009.** Washington: Washington: United States Environmental Protection Agency, 2009. 12p. Relatório Técnico.

VEGA, C. A.; BENÍTEZ, S. O.; BARRETO, M. E. R. Solid waste characterization and recycling potential for a university campus. **Waste Management**, v. 28, p. 521–526, 2008.

VAZ, C. R.; FAGUNDES, A. B.; OLIVEIRA, I. L.; KOVALESKI, J. A. L.; SELIG, P. M. Sistema de gestão ambiental em instituições de ensino superior: uma revisão. **GEPROS, Gestão da produção, operações e sistemas**, v. 3, p. 45–58, 2010.

WEILAND, P. Biogas production : current state and perspectives. **Appl Microbiol Biotechnol**, v. 85, p. 849–860, 2010.

World Bank, **What a waste: a global review of solid waste management:Waste Composition.** 2012. 16–21p. Relatório Técnico.

WAGNER, B.; RAUEN, M.; MODRO, N.; IZZO, R. L. Analysis of the performance of an alternative DAQ for educational experiments in structures monitoring using an open-source computer hardware. **XXXVI Ibero-Latin American Congress on Computational Methods in Engineering**, p. 13, 2015.

Wilson MA, D. C.; Rodic Dipl Ing, L.; RESEARCHER, S. Waste and Resource Management Volume 166 Issue WR2 Integrated sustainable waste management in developing countries Integrated sustainable waste management in developing countries. p. 52–68, 1999.

WALZIK, M. P.; VOLLMAR, V.; LACHNIT, T.; DIETZ, H.; HAUG, S. ET AL. A portable low-cost long-term live-cell imaging platform for biomedical research and education. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 64, p. 639–649, 2014.

XYDIS, G.; NANAKI, E.; KORONEOS, C. Exergy analysis of biogas production from a municipal solid waste landfill. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 4, p. 20–28, 2013.

ZUBERI, M. J. S.; ALI, S. F. Greenhouse effect reduction by recovering energy from waste landfills in Pakistan. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 117–131, 2015.

ZHENG, W. F.; BOLYARD, S. C.; SHAO, L.; REINHART, D. R.; HE, P. Evaluation of monitoring indicators for the post closure care of a landfill for MSW characterized with low lignin content. **Waste Management**, v. 36, p. 222–229, 2015.