

**UNIVERSIDADE DE SOROCABA**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA, EXTENSÃO E INOVAÇÃO**  
**Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos Ambientais**

**Vanderson Urbaiti Gimenez**

**ESTUDO PILOTO OPERACIONAL DE PÁTIO DE COMPOSTAGEM DE  
RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS PARA A UNIVERSIDADE DE SOROCABA**

**OPERATIONAL PILOT STUDY OF ORGANIC SOLID WASTE COMPOSTING  
YARD FOR THE UNIVERSITY OF SOROCABA**

**Sorocaba/SP**  
**2024**

**Vanderson Urbaiti Gimenez**

**ESTUDO PILOTO OPERACIONAL DE PÁTIO DE COMPOSTAGEM DE  
RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS PARA A UNIVERSIDADE DE SOROCABA**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba, como exigência parcial para obtenção do título de mestre em Processos Tecnológicos e Ambientais.

Orientadora: Profa. Dra. Valquíria Miwa Hanai Yoshida

**Sorocaba/SP  
2024**

### Ficha Catalográfica

G399e Gimenez, Vanderson Urbaiti  
Estudo piloto operacional de pátio de compostagem de resíduos sólidos orgânicos para a Universidade de Sorocaba / Vanderson Urbaiti Gimenez. – 2024.  
76 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Valquíria Miwa Hanai Yoshida.  
Dissertação (Mestrado em Processos Tecnológicos e Ambientais) - Universidade de Sorocaba, Sorocaba, SP, 2024.

1. Compostagem. 2. Compostos orgânicos. 3. Resíduos sólidos. 4. Sustentabilidade. 5. Meio ambiente. I. Yoshida, Valquíria Miwa Hanai, orient. II. Universidade de Sorocaba. III. Título.

**Vanderson Urbaiti Gimenez**

**ESTUDO PILOTO OPERACIONAL DE PÁTIO DE COMPOSTAGEM DE  
RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS PARA A UNIVERSIDADE DE SOROCABA**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba, como exigência parcial para obtenção do título de mestre em Processos Tecnológicos e Ambientais.

Aprovado em: 28/05/2024 >

**BANCA EXAMINADORA:**

Profa. Dra. Valquíria Miwa Hanai Yoshida  
Presidente  
Universidade de Sorocaba

Prof. Dr. Fabio Marcio Squina  
Membro titular  
Universidade de Sorocaba

Prof. Dr. Nobel Penteado de Freitas  
Membro titular  
Universidade de Sorocaba

Profa. Dra. Maria Aparecida Lopes da Costa  
Membro suplente  
Universidade de Sorocaba

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus meu Senhor e Criador, aos anjos que meu Senhor enviou para serem meus pais, Francisco Gimenez e Zulmira Urbaiti Gimenez, ao anjo que meu Senhor enviou para ser minha esposa, Thaís Borba de Mendonça Urbaiti Gimenez, ao anjo que meu Senhor enviou para ser meu filho, Diogo Borba de Mendonça Urbaiti Gimenez, aos anjos que meu Senhor enviou para serem meus irmãos, ao anjo que meu Senhor enviou para ser meu amigo, Osmar Renato de Barros Siqueira (*in memoriam*) e ao anjo que meu Senhor enviou para ser minha orientadora nesta incrível jornada, Profa. Dra. Valquíria Miwa Hanai Yoshida.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação Dom Aguirre pela bolsa integral de mestrado, por todas as oportunidades e por confiar em meus serviços; ao Programa de Pós-graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba – Uniso pela oportunidade de formação em pesquisa científica; à Uniso pelo espaço físico autorizado para execução deste projeto; e ao Prof. Me. Ricardo Nery de Castro pela contribuição acadêmica enriquecendo este trabalho.

Agradeço a Profa. Mestra Helenice de Barros por depositar tanta confiança e me permitir ser quem sou hoje.

Agradeço ao Professor Doutor Rogério Augusto Profeta pelas lições e incentivo.

Agradeço ao Professor Doutor Fernando de Sá Del Fiol, Professor Doutor José Martins de Oliveira Júnior e ao Prof. Dr. Nobel Penteado de Freitas pela grande fonte de inspiração.

Agradeço aos Engenheiros Dawilson Menna Júnior, Wanderlei de Jesus Pegoretti, Fábio Henrique da Silva, Pedro José Dias e Sérgio Renato de Oliveira Cândido pelos conselhos, por me mostrarem o caminho certo a seguir e pela imensa amizade.

Agradeço a Professora Doutora Maria Aparecida Lopes da Costa por me acolher nos momentos mais difíceis desta trajetória, por dividir seu conhecimento e pelos conselhos valiosos que levarei comigo.

Agradeço ao Sr. Luiz Torres, ao Sr. Matheus de Oliveira, ao Sr. Márcio Mendes Martins, ao Sr. Marcos Aurélio Bilbau, Júlio Cesar Camargo Lucatelli pela inestimada força, pela grande amizade, prontidão e conselhos.

Agradeço a Mestra Valéria de Campos Orsi pelos conselhos valiosos, por dividir seu tempo e incrível conhecimento nos momentos de dúvida.

Agradeço a Maria Gabriela Ortiz Ladwig por toda ajuda, por dividir seu incrível conhecimento e pela inestimada amizade.

Agradeço ao Mestre Jocimar de Souza por toda ajuda, por dividir seu incrível conhecimento e pela inestimada amizade.

Agradeço a Professora Mestra Jacira Lima da Graça pela contribuição técnica e científica. [OBJ]

“Quando você vê e consegue enxergar além, é que você realmente se transforma.”

Vanderson Urbaiti Gimenez

## RESUMO

A destinação de resíduos, baseada na Política Nacional do Meio Ambiente e em um Programa de Gestão de Resíduos que adota a política dos 5Rs, é uma ferramenta poderosa diante das situações vivenciadas na melhoria das condições atuais do planeta. A partir dos resíduos sólidos urbanos, os resíduos valorizados podem ser obtidos após tratamentos, como triagem ou compostagem, minimizando assim a produção de rejeitos dispostos em aterros. Este trabalho teve como objetivo desenvolver e executar um projeto-piloto operacional de um pátio de compostagem de resíduos sólidos orgânicos para a Universidade de Sorocaba. Para tanto, foram construídos para estudo três tipos de pilhas de compostagem (n=3) — especificamente, sem impermeabilização de solo e com impermeabilização com lona ou alvenaria —, seguindo os parâmetros estabelecidos pela equipe de pesquisa. Os resíduos sólidos domiciliares úmidos (RSDU) e os resíduos públicos (RPU) foram dispostos nas pilhas. Os indicadores de desempenho da compostagem adotados foram as concentrações de umidade, temperatura, nitrogênio e carbono. A média e o desvio padrão obtidos para o parâmetro umidade foram de  $48 \pm 3\%$  para RPU e  $89 \pm 3\%$  para RSDU, a massa específica seca de RSDU obtida ficou entre 8,5 e 13,1% e de RPU ficou entre 48,6 e 54,6%, nitrogênio no RPU foi 0,93% e RSDU foi 1,02%, o carbono total (COT) foi de 45,33% e 52,84% para RSDU e RPU, respectivamente. Os valores da temperatura central nas pilhas foram semelhantes nos diferentes tempos de amostragem. O custo de compostagem de uma pilha até o final da produção dos 3 produtos (3 meses) foi de R\$ 1.292,87 para um volume de 6 m<sup>3</sup> de resíduos. Um pátio piloto de compostagem foi implantado na Universidade de Sorocaba, comprovando a viabilidade de dar destinação adequada a parte dos resíduos sólidos gerados no Campus Cidade Universitária Prof. Aldo Vannucchi. Apesar do tempo e da temperatura de compostagem serem semelhantes entre os três tipos de pilhas, as pilhas com estrutura de alvenaria apresentaram vantagem quanto à captação de biofertilizante líquido (chorume). Do ponto de vista da investigação científica, foi interessante comparar os resultados das análises de temperatura e pH com a abundante literatura disponível. Porém, após estabelecido o processo de compostagem, seu monitoramento é desnecessário devido à microbiota presente na massa regular esses parâmetros, tornando o ambiente sustentável. A rega com água não foi necessária para manter o nível de umidade nas pilhas, acreditamos que devido às altas temperaturas do processo de compostagem, tenha promovido energia térmica, fazendo com que os resíduos usados liberassem a água que estava nelas. Na prática, estabelecer a periodicidade da aeração das pilhas mostrou-se essencial na promoção do processo de compostagem. Além disso, acreditamos que mesmo a baixa frequência das trocas realizadas para manter a oxigenação do meio tenha sido suficiente para manter a temperatura e a umidade ideais para a microbiota até a fase de maturação do composto. No que diz respeito à análise de custos, os dados apontam para a economia almejada, a redução de despesas e um pequeno passo para a resolução de problemas ambientais, como a poluição do solo e da água e a redução da vida útil dos aterros devido à disposição dos resíduos aqui estudados.

**Palavras-chave:** compostagem; resíduos sólidos; política nacional do meio ambiente.

## ABSTRACT

Waste disposal, based on the National Environmental Policy and a Waste Management Program that adopts the 5Rs policy, is a powerful tool in the face of situations experienced in improving the planet's current conditions. From urban solid waste, recovered waste can be obtained after treatments, such as sorting or composting, thus minimizing the production of waste disposed of in landfills. This work aimed to develop and execute an operational pilot project of an organic solid waste composting yard for the University of Sorocaba. To this end, three types of compost piles (n=3) were built for study — specifically, without soil waterproofing and with waterproofing with canvas or masonry — following the parameters established by the research team. Wet domestic solid waste (RSDU) and public waste (RPU) were disposed of in the piles. The composting performance indicators adopted were moisture, temperature, nitrogen and carbon concentrations. The mean and standard deviation obtained for the moisture parameter were  $48 \pm 3\%$  for RPU and  $89 \pm 3\%$  for RSDU, the dry specific mass of RSDU obtained was between 8.5 and 13.1% and of RPU it was between 48.6 and 54.6%, nitrogen in RPU was 0.93% and RSDU was 1.02%, total carbon (TOC) was 45.33% and 52.84% for RSDU and RPU, respectively. The core temperature values in the stacks were similar at different sampling times. The cost of composting a pile until the end of production of the 3 products (3 months) was R\$ 1,292.87 for a volume of 6 m<sup>3</sup> of waste. A pilot composting yard was implemented at the University of Sorocaba, proving the feasibility of properly disposing of part of the solid waste generated at the Campus Cidade Universitária Prof. Aldo Vannucchi. Despite the composting time and temperature being similar between the three types of piles, piles with a masonry structure showed an advantage in terms of capturing liquid biofertilizer (slurry). From a scientific research point of view, it was interesting to compare the results of temperature and pH analyzes with the abundant literature available. However, once the composting process has been established, its monitoring is unnecessary due to the microbiota present in the mass regulating these parameters, making the environment sustainable. Irrigation with water was not necessary to maintain the humidity level in the piles, we believe that due to the high temperatures of the composting process, it promoted thermal energy, causing the waste used to release the water that was in them. In practice, establishing the periodicity of pile aeration proved to be essential in promoting the composting process. Furthermore, we believe that even the low frequency of changes carried out to maintain the oxygenation of the medium was sufficient to maintain the ideal temperature and humidity for the microbiota until the compost maturation phase. With regard to cost analysis, the data points to the desired savings, the reduction of expenses and a small step towards solving environmental problems, such as soil and water pollution and the reduction in the useful life of landfills due to disposal of the waste studied here.

**Keywords:** composting; solid residues; national environmental policy act.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - A Lei nº 12.305/2010 identifica resíduos sólidos de origem domiciliar, de limpeza urbana, industrial, de serviços de saúde, da construção civil, agrossilvopastoris, de serviços de transportes e de mineração ..... | 16 |
| Figura 2 - Variação de temperatura na pilha em função do tempo no processo de compostagem – fase inicial, fase termofílica, fase mesofílica e fase de maturação .   | 26 |
| Figura 3 - Grau de maturidade do composto e suas propriedades .....   | 30 |
| Figura 4 - Equipamento e vidraria para determinação de Nitrogênio pelo método de Kjeldahl .....   | 40 |
| Figura 5 - Fluxograma do processo da implementação do pátio de compostagem piloto.....  | 43 |
| Figura 6 - Leiras de compostagem 1 - 6.....   | 45 |
| Figura 7 - Etapas da construção das leiras de compostagem 7, 8 e 9 equipadas com sistema de drenagem de líquidos por gravidade .....  | 46 |
| <br>  |    |
| Tabela 1 - Características das leiras de compostagem para o ensaio.....   | 37 |
| Tabela 2 - Insumos utilizados para a construções das composteiras 7, 8 e 9 e respectivos custos .....   | 38 |
| Tabela 3 - Valores de umidade (%) para material bruto (n = 3) de Resíduo Público Urbano (RPU) e Resíduo Sólido Domiciliar Úmido (RSDU) .....  | 47 |
| Tabela 4 - Dados coletados do experimento para determinação da massa específica seca das amostras .....   | 48 |
| Tabela 5 - Valores em volume (mL) de ácido clorídrico 0,02 mol/L para a titulação das amostras .....  | 49 |
| Tabela 6 - Dados de massa (g) e de concentração (%) de nitrogênio nos analitos (n=3).....   | 49 |
| Tabela 7 - Resultados dos ensaios para a determinação do carbono orgânico total (COT) .....   | 50 |
| Tabela 8 - Resultados NCHS por leira após a fase de humificação .....   | 51 |
| Tabela 9 - Especificações para fertilizantes mistos e compostos .....   | 53 |
| Tabela 10 - Dados de temperatura das leiras (n=6) em diferentes tempos.....   | 54 |
| Tabela 11 - Classificação da Universidade de Sorocaba no <i>UI GreenMetric World University Ranking</i> .....   | 58 |
| <br>  |    |
| Gráfico 1 - Resultados NCHS por leira (n=3) ao final do processo de compostagem .....   | 52 |
| Gráfico 2 - Temperatura das leiras (n=6) em diferentes tempos.....  | 55 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|        |   |
|--------|---|
| CHNS   | Carbono, Hidrogênio, Nitrogênio e Enxofre                       |
| Conama | Conselho Nacional do Meio Ambiente                              |
| IBGE   | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                 |
| PNRS   | Política Nacional de Resíduos Sólidos                           |
| RDO    | Resíduo domiciliar ou resíduo sólido domiciliar                 |
| RPU    | Resíduo público ou resíduo sólido gerado pela poda e jardinagem |
| RSDU   | Resíduo sólido domiciliar úmido                                 |
| RS     | Resíduo sólido  |
| RSU    | Resíduo sólido urbano   |
| t      | Tonelada  |
| ETE    | Estação de Tratamento de Esgoto                                 |
| ROs    | Resíduos Orgânicos  |

## SUMÁRIO

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b>  | <b>13</b> |
| <b>2</b>   | <b>REVISÃO DE LITERATURA</b>   | <b>14</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Gestão dos resíduos sólidos orgânicos</b>   | <b>15</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Resíduos sólidos urbanos tratados neste estudo</b>                                  | <b>18</b> |
| 2.2.1      | Resíduo sólido domiciliar úmido  | 18        |
| 2.2.2      | Resíduo público  | 19        |
| <b>2.3</b> | <b>Compostagem</b>   | <b>20</b> |
| 2.3.1      | Categorias da compostagem  | 21        |
| 2.3.2      | Etapas da compostagem  | 26        |
| 2.3.3      | Fase ativa da compostagem aeróbica   | 28        |
| 2.3.4      | Fase de maturação da compostagem aeróbica  | 29        |
| 2.3.5      | Características do composto orgânico pronto  | 30        |
| <b>2.4</b> | <b>Indicadores de desempenho da compostagem</b>  | <b>31</b> |
| 2.4.1      | Frequência de aeração  | 31        |
| 2.4.2      | Umidade  | 32        |
| 2.4.3      | Valor de pH  | 32        |
| 2.4.4      | Concentração de carbono e nitrogênio   | 33        |
| 2.4.5      | Temperatura  | 34        |
| <b>2.5</b> | <b>GreenMetric</b>   | <b>34</b> |
| <b>3</b>   | <b>OBJETIVOS</b>   | <b>36</b> |
| <b>4</b>   | <b>MÉTODO</b>  | <b>37</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Amostragem do resíduo sólido domiciliar úmido (RSDU) e do resíduo público (RPU)</b> | <b>37</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Construção das composteiras</b>   | <b>37</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Indicadores de desempenho da compostagem</b>  | <b>38</b> |
| 4.3.1      | Determinação da umidade e da massa específica seca                                     | 38        |
| 4.3.2      | Determinação de nitrogênio pelo método de Kjeldahl                                     | 39        |
| 4.3.3      | Determinação de carbono orgânico total (COT)   | 41        |
| 4.3.4      | Análise elementar CHNS   | 41        |
| 4.3.5      | Determinação de temperatura  | 42        |
| <b>4.4</b> | <b>Processo da implementação do pátio de compostagem piloto</b>                        | <b>42</b> |
| <b>5</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>  | <b>44</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Identificação da fonte de resíduos sólidos orgânicos</b>                            | <b>44</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Construção das composteiras</b>   | <b>45</b> |
| <b>5.3</b> | <b>Indicadores de desempenho da compostagem</b>  | <b>47</b> |
| 5.3.1      | Análise de umidade   | 47        |
| 5.3.2      | Análise de massa seca  | 48        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 5.3.3      | Determinação de nitrogênio pelo método de Kjeldahl .....   | 49        |
| 5.3.4      | Determinação de carbono orgânico total (COT).....  | 50        |
| 5.3.5      | Análise elementar CHNS .....   | 51        |
| 5.3.6      | Análise de temperatura .....   | 54        |
| 5.3.7      | Análise da Aeração .....   | 56        |
| <b>5.4</b> | <b>Análise de custo .....</b>  | <b>57</b> |
| <b>5.5</b> | <b>GreenMetric .....</b>   | <b>58</b> |
| <b>6</b>   | <b>CONCLUSÃO .....</b>   | <b>60</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>61</b> |
|            | <b>ANEXO A – RESUMO EXPANDIDO EM CONGRESSO INTERNACIONAL .....</b>   | <b>67</b> |
|            | <b>ANEXO B – ARTIGO PUBLICADO NA REVISTA RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT .....</b>   | <b>68</b> |
|            | <b>APÊNDICE A – DEMONSTRAÇÃO DOS CÁLCULO PARA DETERMINAÇÃO DE UMIDADE NOS RESÍDUOS SÓLIDOS BRUTOS – RPU E RR.....</b>                    | <b>69</b> |
|            | <b>APÊNDICE B – DEMONSTRAÇÃO DOS CÁLCULO PARA DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DE MASSA SECA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS BRUTOS – RPU E RR.....</b>  | <b>70</b> |
|            | <b>APÊNDICE C – DADOS BRUTOS DA ANÁLISE ELEMENTAR DAS AMOSTRAS PELO MÉTODO CHNS.....</b>   | <b>71</b> |
|            | <b>APÊNDICE D – DEMONSTRAÇÃO DOS CÁLCULO PARA DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DE NITROGÊNIO NOS RESÍDUOS SÓLIDOS BRUTOS – RPU E RR .....</b> | <b>74</b> |



## 1 INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos é pautada na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (IBAMA, 2022). No Brasil, de acordo com a PNRS, os lixões deveriam ter sido extintos para dar lugar a aterros sanitários. Os rejeitos dos resíduos sólidos urbanos (RSU) somente deveriam ser dispostos em aterros quando estes não apresentarem potencial de reutilização, o que inclui a logística reversa e a reciclagem de quase todos os materiais (BONJARDIM; PEREIRA; GUARDABASSIO, 2018, p. 315). Uma das justificativas seria porque os resíduos sólidos (RS) orgânicos de origem agrícola, animal, urbano, agroindustrial ou industrial podem ser transformados em fertilizantes (ARAÚJO; CERQUEIRA; CARNEIRO, 2020), sendo que o descarte inadequado dos RS orgânicos ocasiona problemas sanitários e ambientais, gerando a proliferação de parasitas e de vetores de doenças que, por conseguinte, aumentam a contaminação de corpos d'água e emissão de gases poluentes (HECK et al., 2013).

Os RSU foram classificados na Lei Nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010) em função da sua origem, quantidade de umidade e recuperabilidade, em resíduos domiciliares (RDO) e resíduos públicos (RPU). Em nosso trabalho os RS em estudo foram classificados, de acordo com os preceitos da SNIS (2022), como resíduo sólido domiciliar úmido (RSDU) e RPU.

A compostagem é um processo natural referente à degradação da matéria orgânica, entretanto atualmente o termo é utilizado para manejo do RS orgânico com a utilização de técnicas desenvolvidas para acelerar a decomposição e produzir compostos orgânicos de interesse à sociedade (CRIVELARO; MOREIRA; SILVA, 2018, p. 91).

A hipótese da presente pesquisa foi que a implementação de um pátio de compostagem na Universidade de Sorocaba é viável, técnica e economicamente, para dar destino adequado à parte dos resíduos sólidos gerados no Câmpus Cidade Universitária Prof. Aldo Vannucchi. Diante disto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um projeto-piloto operacional de pátio de compostagem de RS orgânicos para a Universidade de Sorocaba. Identificando as fontes de RS orgânicos (RSDU e RPU) na Universidade de Sorocaba; adaptando uma metodologia para compostagem de RS orgânicos; determinando indicadores de desempenho da compostagem; e fazendo uma análise de custo do processo, como descrito ao longo da monografia.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Diante dos muitos problemas ambientais causados pela ação antrópica e enfrentados pelo homem, em detrimento à toda tecnologia e conhecimento adquirido, existem orientações, tais como as descritas na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que quando implementados, poderiam ser de contribuição na resolução de problemas ambientais (IBAMA, 2022).

A gestão de resíduos é pautada na PNRS (IBAMA, 2022) que proporcionou inovações, tais como, a logística reversa e a coleta seletiva (SILVA et al., 2016, p. 207). A logística reversa objetiva a coleta e a restituição dos resíduos sólidos urbanos (RSU) ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação ambientalmente adequada. Enquanto, a coleta seletiva é o sistema pelo qual são coletados os RSU previamente separados conforme sua constituição ou composição (BRASIL, 2010; SILVA et al., 2016, p. 207).

Segundo Aligleri e Lopes (2022, p. 321), a PNRS representou uma melhoria relativa à reintrodução dos materiais recicláveis em novas cadeias produtivas, buscando aplicar a logística reversa, com responsabilidades para os consumidores e indústrias. No entanto, no Brasil, de acordo com a PNRS, os lixões deveriam ter sido extintos para dar lugar a aterros sanitários. Os rejeitos dos RSU somente deveriam ser dispostos em aterros quando os RSU não apresentarem potencial de reutilização, o que inclui a logística reversa e a reciclagem de quase todos os materiais (BONJARDIM; PEREIRA; GUARDABASSIO, 2018, p. 315).

Previsto na PNRS, o conceito de gestão integrada de RS possui caráter ativo e envolve um conjunto de ações voltadas para a procura de soluções para os RS, considerando as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010, 2022).

De acordo com Maiello, Britto e Valle (2018, p. 25), as políticas públicas brasileiras estão distantes, tanto física quanto estruturalmente, das principais instâncias de governo formuladoras de normas e diretrizes de âmbito nacional e das instâncias executoras. Essa distância, acentuada por dificuldade de gerenciamento efetivo entre os diferentes órgãos governamentais, se traduz em problemas de integração das políticas, tanto entre diferentes níveis de governos, quanto no mesmo nível de governo, entre setores de políticas públicas que são necessariamente complementares, como saneamento e meio ambiente.

O modelo de produção-consumo sustentado na “era do descartável”, na qual embalagens e produtos têm ciclos de vida cada vez mais curtos, agrava os problemas ambientais, afasta a possibilidade de lixo zero e motivam a organização de uma estrutura complexa e necessária para a gestão do objeto descartado (ALIGLERI; LOPES, 2022, p. 320; GONÇALVES-DIAS, 2015, p. 39).

Um indicador de desenvolvimento sustentável adotado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é a variável quantidade de lixo coletado ( $t \text{ dia}^{-1}$ ) em função do tipo de destinação final. Por exemplo, em 2008, de um total de 259.548,8 t, a quantidade de lixo com destinação final adequada e inadequada foi de 172.459,4 t e 87.089,4 t, respectivamente (IBGE, 2008). Isto significa que 33,5 % do resíduo gerado no Brasil recebe destinação final inadequada.

Apesar de os resíduos gerados serem coletados, estes não recebem a apropriada destinação, sendo depositados em vazadouros a céu aberto, que popularmente são conhecidos por lixões, ou em aterros irregulares (HEBER; SILVA, 2014, p. 914). Assim, justificando a PNRS (BRASIL, 2010), que determinou a desativação dos lixões visando à disposição ambientalmente inadequada dos RSU em aterros sanitários cujas possibilidades técnicas e econômicas de tratamento se encontram esgotadas. Por conseguinte, a implementação da gestão de resíduos sólidos continua sendo um desafio.

## **2.1 Gestão dos resíduos sólidos orgânicos**

A gestão dos resíduos sólidos (RS) é o conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de armazenamento, coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final dos RS e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010; IBAMA, 2022; PAES; BELLEZONI; OLIVEIRA, 2021).

A gestão integrada de RS contempla um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os RS, considerando as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, sob o princípio do desenvolvimento sustentável. Portanto, representa uma visão mais ampla e estratégica (BRASIL, 2010).

O Poder Público Municipal tem a responsabilidade pelo gerenciamento de RSU, como estabelecido na PNRS (BRASIL, 2010), onde se observa que não fica esclarecida a responsabilidade pelo gerenciamento do gerador, desde a geração até sua disposição final.

O RS é todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade (BRASIL, 2010). Grande parte pode ser recuperada desde que coletada e manejada de forma a favorecer sua reciclagem nos ciclos produtivos. Os RSU foram classificados na Lei Nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010) em função da sua origem, quantidade de umidade e recuperabilidade, como mostra a Figura 1. O material sem possibilidade de recuperação (rejeito ilustrado na Figura 1) deve ser disposto em locais ambientalmente adequados (SNIS, 2022, p. 6).

**Figura 1 - A Lei nº 12.305/2010 identifica resíduos sólidos de origem domiciliar, de limpeza urbana, industrial, de serviços de saúde, da construção civil, agrossilvopastoris, de serviços de transportes e de mineração**



Fonte: SNIS. Diagnóstico Temático: Manejo de Resíduo (IBAMA, 2022).

Quanto a infraestrutura utilizada para o manejo de RSU no Brasil, com base nos dados coletados pelo SNIS, tendo como referência o ano de 2020 (SNIS-RS 2020)

reuniu-se informações de 5.018 unidades de processamento de RS em operação. Estas são destino de 92,7 milhões t de massa de RS, sendo 67,6 milhões t para unidades de disposição no solo: aterro sanitário (49,4 milhões t), lixão (10,2 milhões t) e aterro controlado (8,0 milhões t) (SNIS, 2022, p. 9).

Os resíduos domiciliares (RDO), secos e úmidos, entre os diversos tipos de resíduos gerados nas cidades são produzidos em grande quantidade e têm potencial para causar danos ao meio ambiente (SILVA; SILVA, 2020, p. 67).

Segundo Paes, Bellezoni e Oliveira (2021), entre os fatores que influenciam o gerenciamento dos RSU estão número de habitantes do município, poder aquisitivo, hábitos e costumes da população, nível educacional, condições territoriais e climáticas predominantes da região em análise, geração per capita, obtido por amostragem e gravimetria, taxa de crescimento populacional, taxa de incremento futuro dos serviços de limpeza pública e taxa de incremento da geração per capita. Portanto, devem ser considerados nos seus processos de diagnóstico e planejamento.

Como mencionado anteriormente, no Brasil, de acordo com a PNRS, os lixões deveriam ter sido extintos para dar lugar a aterros sanitários. Os rejeitos dos resíduos sólidos urbanos (RSU) somente deveriam ser dispostos em aterros quando estes não apresentarem potencial de reutilização, o que inclui a logística reversa e a reciclagem de quase todos os materiais (BONJARDIM; PEREIRA; GUARDABASSIO, 2018, p. 315). Consequentemente, planejar cidades torna-se gradativamente mais difícil devido seu crescimento em escala mundial e de execução desafiadora, pois a administração dos resíduos sólidos deve ser levada em consideração (OLIVEIRA et al., 2021b).

Zago e Barros (2019), concluíram que a gestão dos RU é imprescindível no planejamento das cidades, porém, se os modelos sugeridos nas legislações não se transformarem em ações concretizadas, a ideia de ações voltadas ao gerenciamento sustentável sofrerá poucos avanços.

Em relação aos resíduos orgânicos no Brasil, segundo o Ministério do Meio Ambiente (2019), correspondem a metade dos resíduos sólidos gerados, e grande parte destes resíduos advém do desperdício de comida, equivalendo até 41,6 quilos por ano por brasileiro (FGV, 2018; OLIVEIRA et al., 2021).

Segundo Oliveira et al. (2021), promover a alteração de comportamento da população, mediante o fornecimento de conhecimento, emerge como a abordagem mais eficaz para mitigar o consumo exacerbado e a produção desnecessária de resíduos orgânicos em nações mais afluentes, como é o caso do Brasil.

A PNRS destaca a responsabilidade do prestador de serviços públicos de limpeza urbana, abrangendo a gestão dos RSUs de maneira abrangente (IBAMA, 2022). Isso implica a obrigação de desenvolver um sistema de compostagem para os resíduos orgânicos, estabelecendo conexões entre agentes econômicos e sociais para implementar modelos eficazes na utilização dos produtos resultantes desse processo (ZAGO; BARROS, 2019).

## **2.2 Resíduos sólidos urbanos tratados neste estudo**

Os resíduos orgânicos não foram definidos claramente na PNRS (BRASIL, 2010). Porém, para Zago e Barros (2019), a PNRS preconiza a valorização da fração orgânica, bem como dos resíduos reconhecidamente aceitos no mercado (plásticos, metais, papéis, vidros etc.), por meio de tecnologias como compostagem e aproveitamento energético, seguindo uma vertente consagrada mundialmente.

Em nosso trabalho classificou-se os RS em estudo, de acordo com os preceitos da SNIS (2022), como resíduo sólido domiciliar úmido (RSDU) e resíduo público (RPU).

### **2.2.1 Resíduo sólido domiciliar úmido**

O RSDU refere-se a todos os itens que são denominados “orgânicos”, tais como, resto de alimentos e casca de frutas, entre outros (SNIS, 2022). Entretanto, embalagens de alimentos sujas, produtos de higiene, resíduos de quintal, lenços e toalhas de papel, bem como qualquer outro item sujo que possa contaminar os recicláveis também podem ser classificados como RSDU e devem ser segregados.

O RSDU é encaminhado para disposição final quando não empregada a técnica adequada para a utilização na compostagem desse material. Esse modelo de descarte gera gastos para os municípios, isso poderia ser revertido em economia e investimento se o resíduo orgânico fosse separado no momento de sua produção e encaminhado para a compostagem (ZAGO; BARROS, 2019)

No restaurante universitário da Universidade de Sorocaba ocorre a separação do resíduo no momento de sua produção. O material utilizado proveniente do restaurante Famille localizado no Bloco D da Universidade de Sorocaba é separado antes do processo de produção dos pratos servidos no refeitório, ou seja, o material orgânico utilizado para a produção do composto utilizando-se da técnica de

compostagem não contém nenhuma espécie de temperos, sal ou condimentos. São utilizados apenas legumes, vegetais e frutas.

Diante do exposto, o RS gerado pelo restaurante universitário pode ser enquadrado como RSDU orgânico.

### 2.2.2 Resíduo público

O RPU é gerado pela limpeza urbana em atividades públicas, tais como, varrição, podas, capinas e limpeza de boca de lobo (SNIS, 2022). Desta forma, o RS gerado pela poda e jardinagem da cidade universitária da Universidade de Sorocaba pode ser enquadrado como RPU.

Mesmo sendo muito heterogênea a composição dos RSU no Brasil, análises gravimétricas apontam repetidamente fração similar de resíduos orgânicos, significando mais da metade dos resíduos em geral coletados (ZAGO; BARROS, 2019).

De acordo com a PNRS (BRASIL, 2010), os resíduos que não apresentam mais possibilidades viáveis de reaproveitamento ou reciclagem são os únicos destinados aos aterros sanitários. Essa diretriz visa maximizar a transformação de resíduos orgânicos e outros passíveis de reciclagem, sustentada pelos princípios de conscientização da população, tanto na geração de resíduos em suas residências quanto na adesão à coleta seletiva.

De acordo com Castilhos Junior (2003), a integração é essencial para o gerenciamento RSU, que envolve etapas desde a não geração até a disposição final. Essas etapas devem estar alinhadas com os outros sistemas de saneamento ambiental. Além disso, é preciso contar com a cooperação dos setores público, privado e da sociedade civil organizada.

Devido ao crescimento acelerado e sem planejamento das cidades inúmeras consequências negativas são observadas quando se trata das questões urbanas, podendo-se citar a elevada produção dos RS em consequência do aumento populacional onerando os serviços da gestão dos resíduos onde tem-se necessidade de áreas amplas que são escassas nos grandes centros urbanos para o descarte final tornando elevados os gastos para o transporte, pois há maior distância a ser percorrida e número de viagens feitas pelos caminhões que consequentemente aumenta o consumo de combustível (SILVA; SILVA, 2020).

## 2.3 Compostagem

A compostagem é um processo natural referente à degradação da matéria orgânica, entretanto atualmente o termo é utilizado para manejo do RSO com a utilização de técnicas desenvolvidas para acelerar a decomposição e produzir compostos orgânicos de interesse à sociedade (CRIVELARO; MOREIRA; SILVA, 2018). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1996, p. 2) define a compostagem como:

Processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação.

A aplicação das técnicas de compostagem e biodigestão, independentemente do uso de suas transformações, emerge como a abordagem mais eficaz para a reintegração dos resíduos orgânicos em qualquer contexto (ZAGO; BARROS, 2019).

Acredita-se que a proporção em termos de massa ou volume entre diferentes resíduos, visando-se alcançar uma relação carbono:nitrogênio (C/N) ideal para início do processo de compostagem, varia de acordo com a constituição química dos materiais misturados, assim não existem proporções únicas nas diferentes misturas de resíduos, uma vez que essa proporção é definida com base nos teores de C e N, massa específica e conteúdo de água presente nos materiais (TEIXEIRA; MATOS; MELO, 2016).

No decorrer do processo de compostagem, é essencial realizar a revolvimento do material orgânico pelo menos três vezes por semana. Isso visa aumentar a porosidade do meio, que naturalmente se compacta devido à massa própria dos resíduos. Além disso, é necessário homogeneizar o material para reduzir o teor de umidade e manter o controle da temperatura do processo. À medida que a atividade microbiana diminui e a pilha de compostagem se estabiliza, os intervalos entre os períodos de aeração tendem a se prolongar, alcançando finalmente a temperatura ambiente (MASSUKADO et al., 2013).

Os resíduos domiciliares (RDO), secos e úmidos, entre os diversos tipos de resíduos gerados nas cidades são produzidos em grande quantidade e têm potencial para causar danos ao meio ambiente, tais como compostos com elevados teores de metais pesados, quando levado a condição de anaerobiose proporcionando odor acarretando poluição atmosférica, produzir salinização, contaminação do lençol

freático por lixiviação do nitrato e redução da condutividade da água no solo (SILVA; SILVA, 2020).

Na década de 1970, diversos municípios deram início à implementação de técnicas de reaproveitamento de resíduos orgânicos (ROs) por meio da criação das chamadas “usinas de compostagem e triagem”. Nestas instalações, os ROs ainda não devidamente separados passavam por esteiras, onde os recicláveis não orgânicos eram removidos do processo, direcionando os materiais orgânicos para o processo de compostagem. Em alguns casos, especialmente em municípios menores, foram realizadas tentativas de experimentação na instalação de tais “usinas”, contudo sem a automação proporcionada por esteiras, utilizando-se apenas de mesas construídas em alvenaria com uma leve inclinação. Isso visava reduzir os custos operacionais, ajustando-se à quantidade de resíduos a serem separados. Contudo, essas experiências não conseguiram se manter, com apenas algumas exceções raras obtendo sucesso (ZAGO; BARROS, 2019).

Nas zonas urbanas a compostagem é bastante adaptável, com a possibilidade de ser construída em dimensões adequadas a residências familiares (composteiras caseiras ou minhocários) e por composteiras comerciais de graduações médias ou grandes (VAN DER WURFF et al., 2016; ZAGO; BARROS, 2019).

Aperfeiçoar a infraestrutura para a compostagem e a biometanização, não seria o suficiente para resolver o problema do gerenciamento de resíduos, tem-se a necessidade de atingir, através de programas de redução do desperdício de alimentos, uma real conscientização voltada a diminuição de resíduos para a reciclagem (ZAGO; BARROS, 2019).

### 2.3.1 Categorias da compostagem

A compostagem pode ser dividida em duas categorias, anaeróbica e aeróbica, dependendo da natureza do processo de decomposição.

Para as duas categorias do processo de compostagem existem micro-organismos específicos, que podem estar presentes nos resíduos ou também serem adicionados, especificamente, no início do processo de fermentação (ARAÚJO; CERQUEIRA; CARNEIRO, 2020).

O processo de compostagem ocorre em função da digestão da matéria orgânica pelos microrganismos, na presença de ar e água. Além de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e vapor de água o processo gera húmus contendo substâncias

minerais com capacidade para ser aplicado no solo e melhorar suas características de produtividade (MORAIS; FIORE; ESPOSITO, 2022).

Na 10ª Conferência Internacional sobre Economia Circular e Resíduos Orgânicos (ORBIT 2016), foram abordados diversos aspectos relacionados à gestão sustentável de materiais. Destacaram-se tópicos como a prevenção da geração de resíduos, controle na produção, seleção criteriosa de materiais para reaproveitamento, os benefícios decorrentes da promoção das técnicas de compostagem, biodigestão para o aprimoramento e enriquecimento do solo. Além disso, foram discutidas as vantagens da produção de energia por meio do biogás e hidrogênio resultantes desses processos. Temas comuns relacionados à compostagem e digestão anaeróbia, como processos, tecnologias, qualidade do produto e o papel da matéria orgânica no combate à desertificação, permaneceram no cerne dessas discussões, refletindo a tradição desses debates (ZAGO; BARROS, 2019).

#### 2.3.1.1 Compostagem anaeróbica

O processo de deterioração na compostagem anaeróbia, é produzida por microrganismos que não necessitam de oxigênio ( $O_2$ ) para sua sobrevivência, temperaturas elevadas não são essenciais, e produz forte odor (GODECKE, 2010).

A compostagem anaeróbia é realizada em reservatórios que utilizam técnicas de decantação e digestão sem a presença de  $O_2$ , dando origem a águas residuais tratadas, degradando maior parte de sua carga orgânica, biogás e lodo digerido (GODECKE, 2010).

Na compostagem anaeróbica, a decomposição ocorre onde o gás  $O_2$  está ausente ou em suprimento limitado. Sob esse método, os microrganismos anaeróbios dominam e decompõem a matéria orgânica por redução, produzindo  $CO_2$ , desenvolvem compostos intermediários, uma pequena quantidade de biomassa incluindo uma quantidade considerável de gás metano, ácidos orgânicos de baixa massa molecular, sulfeto de hidrogênio e outras substâncias (BERNAL et al., 2018; MELO; SILVA; DIAS, 2008).

Na ausência de  $O_2$  ou até mesmo quando este é restringido nos processos de compostagem temos a compostagem anaeróbica, portanto, microrganismos anaeróbicos controlam o processo e produzem metabólitos como metano, ácidos

orgânicos, sulfeto de hidrogênio que serão concentrados na ausência de O<sub>2</sub> (FETTI, 2014).

A utilização da digestão anaeróbia favorece a valorização do manejo de resíduos da pecuária além de contribuir com o ODS 7 (Energia Acessível e Limpa), por exemplo, facilitando o acesso a novas alternativas de fontes de energias (MENDONÇA; OTENIO; PAULA, 2021).

Em diversos países da Europa, tais como Áustria, Dinamarca, Alemanha, Espanha, Suécia e Portugal, a degradação da matéria orgânica realizada em ambiente sem a presença de O<sub>2</sub> utilizada para geração de energias renováveis, atualmente tornou-se realidade. No Brasil, em contrapartida, a utilização do biogás ainda caminha lentamente devido à falta de pesquisas e insegurança sobre o assunto, pelas políticas energéticas em essência e sentimento de apreensão dos produtores pecuários (MENDONÇA; OTENIO; PAULA, 2021).

Até pouco tempo, o biogás era tratado apenas como resultado da ação contínua da decomposição anaeróbia dos resíduos urbanos e de animais e dos rejeitos de estações de tratamento de efluentes domésticos (GOLDEMBERG; PALETTA, 2012; SILVA et al., 2021b).

A parcela orgânica dos resíduos quando deteriorados utilizando-se do processo de decomposição anaeróbica, armazenadas em desconformidade ou através de lançamento em cursos d'água, gera consequências negativas a população que além do seu bem-estar ser prejudicado e seus imóveis desvalorizados devido ao mau cheiro produzido (GODECKE, 2010).

Na ausência de O<sub>2</sub>, esses compostos se acumulam e não são mais metabolizados. Muitos desses compostos possuem odores fortes, e alguns apresentam fitotoxicidade. Como a compostagem anaeróbica é um processo de baixa temperatura, deixa intactas as sementes de ervas daninhas e os patógenos. Além disso, o processo geralmente leva mais tempo do que a compostagem aeróbica. Essas desvantagens, geralmente, compensam os méritos desse processo, ou seja, pouco trabalho envolvido e menos nutrientes perdidos durante o processo (MISRA; ROY; HIRAOKA, 2003, p. 1).

A execução do manejo dos resíduos orgânicos via processo de compostagem anaeróbica condiciona a produção do biogás, podendo este, ser aproveitado na geração de energia elétrica e utilizado na própria ETE, mesmo que a produção seja realizada em plantas de pequena área ocupada. O biogás produzido através da técnica de digestão em ambientes nos quais a microbiota não necessita de O<sub>2</sub> além

de suprir as demandas da ETE produtora deste, promove o funcionamento de aeradores ou na secagem do lodo resultado do processo do tratamento, pode através do seu excedente, serem utilizadas em outros processos industriais, ou servir como combustível auxiliar em processos termoquímicos de geração energética (GODECKE, 2010).

### 2.3.1.2 Compostagem aeróbica

A compostagem é um processo aeróbio controlado que ocorre em duas fases distintas desenvolvidas por uma população diversificada de microrganismos (CRIVELARO; MOREIRA; SILVA, 2018).

A compostagem realizada com a presença de O<sub>2</sub>, passa por três estágios sendo as fases mesofílica, termofílica e maturação ambas realizadas pelas bactérias e fungos (FETTI, 2014).

Na compostagem aeróbica, durante seu processo de transformação, ocorre também a geração de metabólitos intermediários, contudo, são deteriorados durante a reciclagem da matéria orgânica, concebendo um fertilizante pouco fitotóxico (FETTI, 2014) ou com risco baixo de fitotoxicidade (ARAÚJO; CERQUEIRA; CARNEIRO, 2020, p. 1178).

No processo de compostagem aeróbica, os microrganismos aeróbicos decompõem a matéria orgânica e produzem CO<sub>2</sub>, amônia, água, calor e húmus, um produto final orgânico relativamente estável (FETTI, 2014).

Embora a compostagem aeróbica possa produzir compostos intermediários, como ácidos orgânicos, os microrganismos aeróbicos os decompõem ainda mais. O calor gerado acelera a quebra de proteínas, gorduras e carboidratos complexos, como celulose e hemicelulose. Assim, o tempo de processamento é menor e este processo destrói muitos microrganismos que são patógenos humanos, vegetais e sementes de ervas daninhas, desde que seja submetido a temperatura suficientemente alta. Embora mais nutrientes sejam perdidos dos materiais pela compostagem aeróbica ela é considerada mais eficiente e valiosa do que a compostagem anaeróbica para a produção agrícola (ARAÚJO; CERQUEIRA; CARNEIRO, 2020, p. 1178; MISRA; ROY; HIRAOKA, 2003, p. 1).

A produção de composto orgânico via processo aeróbio, corresponde à alteração dos resíduos orgânicos na presença de O<sub>2</sub>, tendo como os principais produtos de sua transformação o CO<sub>2</sub>, água e energia (VALENTE, B.S.1 et al., 2011).

Desde 1991 em Viena, mais que 150 mil t de resíduos orgânicos passaram pelo processo de compostagem em um pátio aberto chamado Lobau, obtendo-se um composto com características adequadas para ser utilizado na agricultura (HORTA; CASTRO, 2016).

Em Bogotá, no aterro de Doña Juana, do valor correspondente aos resíduos descartados diariamente, os orgânicos atingem 53,22 % do total (BERNAL et al., 2018).

Na Irlanda em 1996 adotou-se a taxa de aterro, paga por empresas e autoridades locais com a intenção de eliminar os resíduos através de um aterro sanitário. O objetivo desta taxa foi incentivar a diminuição do descarte, elevando a recuperação através da reciclagem e compostagem e como consequência despertando o ânimo dos métodos de gestão de resíduos (HORTA; CASTRO, 2016).

Segundo Tchobanoglous (2002), antes de iniciar o processo de compostagem é necessário realizar o cálculo do volume dos resíduos em m<sup>3</sup>/dia para estimar a área do local a ser utilizado, levando em consideração concluir a primeira fase do processo que dura aproximadamente 30 dias (HORTA; CASTRO, 2016).

A compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares —ou resíduo sólido domiciliar úmido (RSDU) como denominado no presente trabalho— apresentou-se exequível na investigação de Souza et al. (2020), tendo em vista que num período de 90 dias obtem-se um composto de boa característica que exprime a possibilidade de uso agrícola como condicionador de solo e/ou como substrato para plantas.

Os benefícios da realização da reciclagem da matéria orgânica através do processo aeróbico apresentam-se como a redução dos resíduos domiciliares que se destinariam, para os aterros sanitários, maior rendimento dos aterros e o enriquecimento do solo através da reintrodução dos nutrientes produzidos pela decomposição da matéria orgânica (principalmente N, P e K) (FETTI, 2014; KIEHL, 1985a)

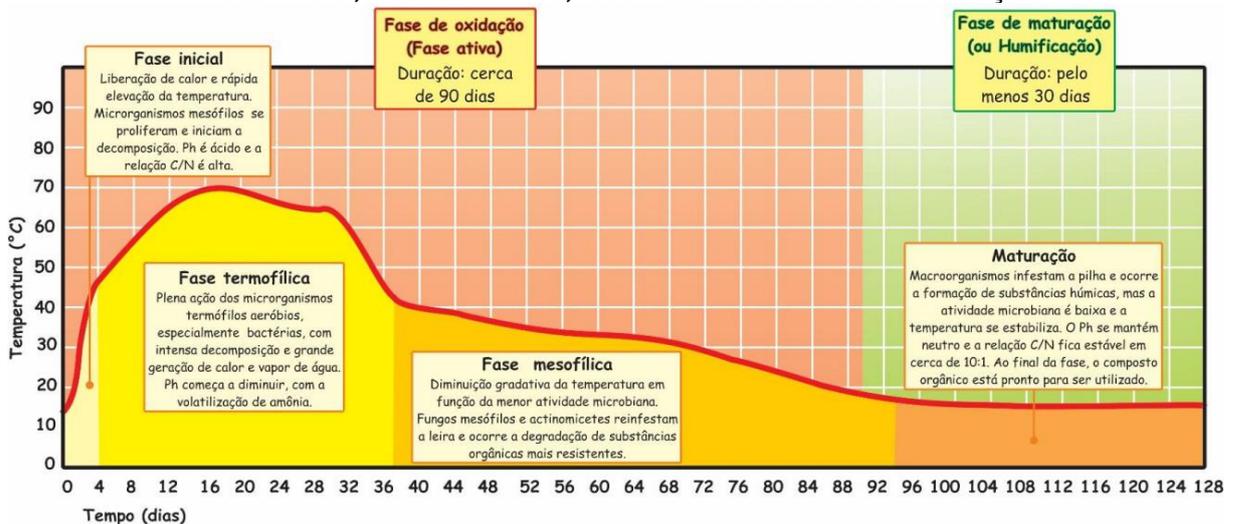
A degradação da biomassa realizada através da reciclagem dos resíduos orgânicos transformando-os em adubo, podem ser influenciados por diversas condições em seu processo global de produção, evidenciando-se a aeração, temperatura, umidade, valor de pH, relação C/N, proporção de lignocelulose do material e microbiota envolvida (FETTI, 2014). A celulose e a lignina, que fazem parte de cadeias de maior complexidade no que se diz respeito a compostos, tem como degradadores fungos e actinobactérias principalmente, que muitas vezes não possuem resistência ao longo do tempo em locais isentos de O<sub>2</sub> (SILVA et al., 2021b).

### 2.3.2 Etapas da compostagem

Incentivar a segregação dos resíduos orgânicos surgiu como uma abordagem eficaz para otimizar o controle da entrada de materiais biodegradáveis nos aterros sanitários (ZAGO; BARROS, 2019).

Inácio e Miller (2009, p. 15) adotaram a divisão do processo de compostagem entre as duas etapas proposta por Kiehl (1985b), nomeadamente, fase de oxidação (ou fase ativa – subdividida nas fases inicial, termofílica e mesofílica) e fase de maturação (ou fase de humificação), como ilustrado pela Figura 2.

**Figura 2 - Variação de temperatura na pilha em função do tempo no processo de compostagem – fase inicial, fase termofílica, fase mesofílica e fase de maturação**



Fonte: (BRASIL. MMA, 2017, p. 28)

A fase de oxidação, também denominada de fase ativa ou degradação ativa (termofílica - bioestabilização), pode ser subdividida nas fases inicial, termofílica e mesofílica. Esta fase ativa é identificada em razão da elevação da atividade microbiana e conseqüentemente da temperatura.

No processo de compostagem, a primeira etapa apresenta temperaturas na faixa de 45 a 65 °C e é caracterizada pela presença de microrganismos termofílicos. Esta etapa inicial de degradação dura em média entre 60 e 75 dias. A etapa mesofílica (ou de estabilização), prolonga-se por mais 40 dias, aproximadamente (INÁCIO; MILLER, 2009, p. 31; MPE-PR, 2011, p. 2).

A fase de maturação, também denominada de fase de humificação, é a fase final da compostagem, caracterizada pela redução da atividade microbiana e pelo surjimento de minhocas (animais anelídeos) e lacraias (animais quilópodes) devido a menor temperatura, obtendo-se então um composto orgânico em equilíbrio (CUNHA,

2018). Nesta etapa ocorre a transformação da matéria orgânica em húmus, e a temperatura da pilha de compostagem mantém-se na faixa mesófila, ou seja, menor do que 45 °C (INÁCIO; MILLER, 2009, p. 31; MPE-PR, 2011b, p. 2).

No guia de orientação para compostagem familiar (BRASIL, 2009, p. 8), há três fases do processo aeróbico de compostagem do RSO úmido, são constituídas pelas:

*1ª Fase:* Conhecida como fase da decomposição, pois nela ocorre a decomposição da matéria orgânica facilmente degradável. A temperatura pode chegar naturalmente a 65 – 70 °C. Com esta temperatura por um período de 15 dias é possível eliminar os microrganismos patogênicos.

*2ª Fase:* É a fase de maturação, nela estão presentes as bactérias, actinomicetos e fungos. A temperatura fica no intervalo de 45 – 30 °C, e o tempo pode variar de dois a quatro meses.

*3ª Fase:* Nesta fase, a celulose e a lignina, componentes de difícil degradação, são transformadas em substâncias húmicas, podendo observar no composto a presença de minhocas. O aspecto do composto é próximo a de terra vegetal. O intervalo da temperatura diminui para 25 – 30 °C.

Estabelecer a quantidade ideal de revolvimentos no processo de compostagem de resíduos provenientes de áreas verdes é crucial do ponto de vista econômico. Isso se deve à sua influência nos fatores que determinam a qualidade e rendimento do produto final (composto orgânico), bem como nos custos relacionados à recurso humano e equipamentos necessários para a execução do processo (BUENO et al., 2017, p. 3).

O processo aeróbico de compostagem do RSO úmido é descrito por vários autores com padrões diferentes entre si, como exemplificado no Quadro 1.

**Quadro 1 - Etapas do processo de compostagem segundo a temperatura e o período de trabalho**

| <i>Etapa</i>   | <i>Temperatura (T)</i>  | <i>Tempo</i>   | <i>Referência</i>          |
|----------------|---|--|----------------------------|
| 1 <sup>a</sup> | 45 a 65 °C  | 60 a 75 dias   | MPE-PR, 2011, p. 2         |
| 2 <sup>a</sup> | < 45 °C   | > 40 dias  |                            |
| 1 <sup>a</sup> | 40 a 60 °C  | Variável   | FEPAM, 2021                |
| 2 <sup>a</sup> | < 55 °C<br>> 65 °C<br>> 60 °C                                     | 14 dias<br>3 dias em sistemas abertos<br>3 dias em sistemas fechados |                            |
| 1 <sup>a</sup> | $T_{ótima} \pm 55 \text{ °C}$                                     | 30 a 60 dias   | (BRASIL, 2009, p. 7, 10)   |
| 2 <sup>a</sup> | > 65 °C < atividade dos microrganismos e > período de compostagem | 90 a 120 dias  |                            |
| 1 <sup>a</sup> | 65 a 70 °C  | 15 dias  | (BRASIL, 2009, p. 8)       |
| 2 <sup>a</sup> | 45 a 30 °C  | 2 a 4 meses  |                            |
| 3 <sup>a</sup> | 25 a 30 °C  |  |                            |
| 1 <sup>a</sup> | > 45 °C<br>(picos que podem chegar > 70 °C)                       | ± 90 dias  | (BRASIL. MMA, 2017, p. 27) |
| 2 <sup>a</sup> | < 20 °C   | > 30 dias  |                            |

Fonte: Elaboração própria

### 2.3.3 Fase ativa da compostagem aeróbica

A obtenção de um composto orgânico pode ocorrer em duas etapas distintas, sendo a primeira caracterizada como degradação ativa, onde ocorre o aumento da temperatura, e a segunda denominada maturação ou cura indicando o término do processo. (ROBERTO et al., 2002)

A primeira fase do processo de produção da compostagem, a qual é identificada como fase ativa, tem duração de aproximadamente 60 a 70 dias a temperatura pode atingir altos níveis (TEIXEIRA et al., 2004).

As reações bioquímicas de oxidação do material orgânico ocorrem de forma mais considerável durante a primeira fase do processo, tornando-se indispensável que os indicadores que atuam no processo de compostagem sejam considerados e conservados (VILELA, 2019).

Durante os primeiros 60 dias em que ocorre a fase ativa da degradação da matéria orgânica os níveis de temperatura permanecem elevados, após este período começa o decaimento da temperatura atingindo valores próximos ao do ambiente externo, quando isto ocorre, é sinalizado o início da segunda fase do processo, ou seja, a fase de maturação do composto (NOVAIS, 2011).

A transformação da matéria orgânica é facilmente realizada durante a fase ativa, tais como carboidratos e maior estabilização da biomassa (MARQUES VILELA; LOPES PIESANTI, 2015).

De acordo com Vilela (2019), deve-se acompanhar os níveis de temperatura cotidianamente na fase ativa da compostagem, utilizando-se de equipamento

adequado dando preferência para termômetros digitais e em profundidade entre 40 e 60 cm, sendo esta coletada em ponto médio da leira (TEIXEIRA et al., 2004).

Durante a primeira fase da compostagem, fase ativa de degradação, o controle da temperatura é uma condição essencial, tendo em vista que é por meio deste controle a eficiência é maior no processo da compostagem, sendo possível avaliar a velocidade da degradação, tanto quanto a eliminação da microbiota patogênica. (CRISÓSTOMO, 2008)

Na fase mesófila caracterizada como a fase inicial da compostagem valores de temperatura que atingem até 40 °C, prevalecem a microbiota responsável pela transformação da matéria orgânica transmitindo o calor gerado pela sua atividade para o material no processo a ser decomposto (SOUZA et al., 2020).

A eliminação de patógenos no processo de compostagem é realizado na fase termofílica, esta fase da degradação é denominada fase ativa de degradação, sendo realizada em valores de temperatura que atingem de 45 °C a 65 °C (MARQUES VILELA; LOPES PIESANTI, 2015).

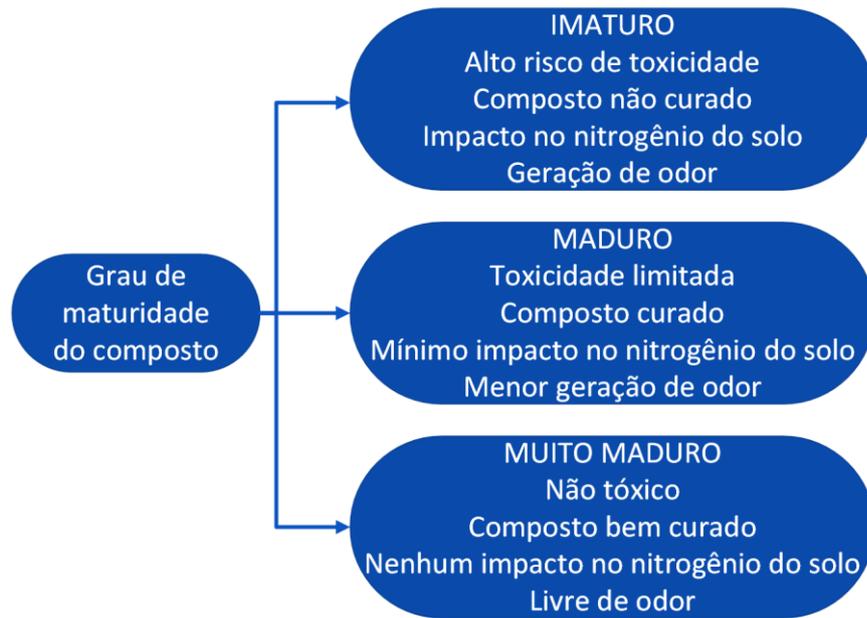
Conforme a temperatura do processo de compostagem se eleva alcançando faixas de 50 a 65 °C, as microbiotas mesófilas morrem aumentando a população de microrganismos termófilos, que aceleram a degradação do material orgânico (SOUZA et al., 2020).

#### 2.3.4 Fase de maturação da compostagem aeróbica

A qualidade do composto final no processo de compostagem pode variar (Figura 3), tendo em vista que fatores como a umidade, a temperatura, a relação C/N e os resíduos orgânicos utilizados influenciam na decomposição e na sua maturação (ROBERTO et al., 2002).

O estágio final da compostagem é verificado através dos índices de pH, relação C/N e COT, que indicarão se o composto obtido atingiu padrões de qualidade desejados (BARREIRA; PHILIPPI JUNIOR; RODRIGUES, 2006).

**Figura 3 - Grau de maturidade do composto e suas propriedades**



Observação: Os autores se responsabilizam pela tradução do texto. Fonte: (MAHAPATRA; ALI; SAMAL, 2022)

De acordo com Teixeira et al. (2004), em um período de aproximadamente 70 dias ao fim da primeira fase chamada de biodegradação, a leira é desfeita e encaminhada para um pátio de compostagem alocando-a em forma de uma pilha por um período de 20 dias aproximadamente, onde o composto é revirado após 10 e 20 dias, após este processo, o produto resultante é encaminhado para uma área coberta sendo empilhado em montes de até 2,5 m de altura, para que se atinja a fase final do processo, ou seja, a fase de maturação do composto.

### 2.3.5 Características do composto orgânico pronto

De acordo com o material orgânico a ser compostado, é possível obter um produto quimicamente diverso, tendo em vista o que se pretende fertilizar (VERAS et al., 2019). Por exemplo o composto orgânico estabilizado de lixo orgânico, capim e caroço de açaí apresenta a composição química, média, descrita a seguir: 3,55 % de N; 2,43 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 1,18 % de K<sub>2</sub>O; 3,49 % de Ca; 0,33 % de Mg; e 0,96 % de S; 213 mg kg<sup>-1</sup> de B; 149 mg kg<sup>-1</sup> de Cu; 0,62% de Fe; 737 mg kg<sup>-1</sup> de Mn; e 267 mg kg<sup>-1</sup> de Zn; matéria orgânica 69,25 %; relação C/N igual a 11 e valor de pH igual a 6,42 (TEIXEIRA et al., 2004).

## 2.4 Indicadores de desempenho da compostagem

### 2.4.1 Frequência de aeração

O processo da compostagem sustenta-se na dinâmica da fermentação onde a presença de ar no meio a ser transformado é essencial. Para que isso ocorra as leiras formadas com os resíduos utilizados, não devem sofrer muita compactação e deve ser regularmente remexido, pois quando o processo de fermentação ocorre sem a presença de ar, promove-se a perda de nitrogênio, surgimento de odores desagradáveis e problemas com a proliferação de moscas (OLIVEIRA; LIMA; CAJAZEIRA, 2004).

O processo de compostagem onde há o revolvimento das leiras utilizando o processo manual ou com maquinários, e em leiras estáticas utilizando-se da técnica de aeração forçada, constituem as técnicas com maior uso. A metodologia empregada nas leiras estáticas com a aeração passiva, o oxigênio é fornecido de forma natural, esta alternativa proporciona a redução de custos e a operacionalidade é simples.(STEFANUTTI, [s.d.]

Em sistemas com aeração eficiente faz-se de grande importância, pois a microbiota necessita de oxigênio para que a oxidação dos resíduos orgânicos seja aeróbica, deste modo sendo mais rápida e eficiente em relação a anaeróbica.(VERAS, [s.d.]

A técnica da aeração define a natureza da decomposição, se aeróbica ou anaeróbica. A transformação dos resíduos orgânicos é um processo literalmente aeróbico, onde o ar deve passar pelo meio a ser compostado, caso existam locais onde haja deficiência na oferta deste, ocorre o surgimento de microbiota anaeróbica indesejável ao processo aeróbico (PAULA; CEZAR, 2011a; SOUZA; CARMO; SILVA, 2019).

No processo de compostagem, quando utilizado a técnica de aeração, a estabilização do composto pode ser observada pelos índices médios da temperatura, estando este parâmetro próximo a temperatura ambiente, indica que o processo está consolidado (ROCHA et al., 2020).

Para que haja atividade microbiana é crucial o fornecimento de O<sub>2</sub>, ocasionando a oxidação da matéria orgânica heterogênea servindo-lhes de alimento, alterando assim as propriedades iniciais dos resíduos. A falta desta substância, no caso o O<sub>2</sub>, pode proporcionar limites para a microbiota atuante, ocasionando a

prolongação do tempo necessário para a bioestabilização e maturação do composto (OLIVEIRA, 2015).

A impermeabilização do solo é uma prática que deve ser evitada, pois isso influencia na boa aeração das leiras devido a produção do chorume (INÁCIO; MILLER, 2009).

#### 2.4.2 Umidade

O controle da umidade é um fator importante durante o processo da compostagem contribuindo para o metabolismo microbiano e pela concorrência com o O<sub>2</sub> pelos espaços na base das leiras (INÁCIO; MILLER, 2009).

Para que a microbiota consiga exercer seu papel dentro da compostagem, os valores da umidade devem estar entre 40 e 60 % (SOUZA et al., 2020).

Pereira Neto (2007 apud PAULA; CEZAR, 2011, p. 160) concluíram que valores de umidade acima de 60 % tornariam o meio anaeróbio, gerando gases malcheirosos e atraindo vetores indesejáveis, como por exemplo, moscas e roedores.

De acordo com Fialho et al. (2005 apud CRIVELARO; MOREIRA; SILVA, 2018, p. 96), a umidade considerada ideal para o processo varia de 50 a 60 %, pois níveis muito baixos de umidade (abaixo de 30 %) inibem a atividade microbiana e um meio muito úmido, (acima de 65 %) causa condições de anaerobiose e lixiviação de nutrientes, tornando a decomposição lenta (CRIVELARO; MOREIRA; SILVA, 2018).

A umidade desempenha um papel fundamental no processo de compostagem devido a água ser o condutor de nutrientes dissolvidos necessários para funções metabólicas e fisiológicas dos organismos que decompõem o meio (VILELA, 2019).

#### 2.4.3 Valor de pH

No início da produção da técnica de compostagem o índice do pH mostra-se relativamente baixo o que determina uma etapa de acidificação devido a quantidade de ácidos que as bactérias produzem na degradação de compostos ricos em C. (NOVAIS, 2011).

Os índices de pH ao longo do processo da compostagem são diretamente proporcionais ao trabalho realizado pela microbiota atuante, sendo que na fase mesófila, com a liberação de ácidos orgânicos, o índice de pH encontra-se ácido; durante a fase termófila, devido a produção de amoníaco, o ambiente se neutraliza e

o pH pode chegar a 8,5 ao final do processo, ou seja, após a fase de maturação onde o composto encontra-se curado, os valores do pH estabilizam-se entre 7,0 e 8,0 (ISMAEL et al., 2013; SOUZA et al., 2020).

Durante o processo de maturação do composto, a faixa de pH é extensa e varia de 4,5 a 9,5, sendo que, a microbiota que atua no processo se incumba de controlar os valores máximos e mínimos durante a compostagem do material.(SILVA, 2016)

A diminuição do material orgânico se dá através do aumento de organismos que fazem a decomposição do material orgânico, sendo os valores de pH entre 5,5 e 8,0 ideais para essa condição (PAULA; CEZAR, 2011b).

De acordo com Pereira Neto (2007 apud CRIVELARO; MOREIRA; SILVA, 2018, p. 97) relata que ao longo de 19 anos como pesquisador da área concluiu que a compostagem pode ser desenvolvida em uma faixa bem ampla, entre 4,5 e 9 e que os valores extremos são automaticamente regulados pelos microrganismos que degradarão compostos que produzem subprodutos básicos ou ácidos, de acordo com a necessidade do meio.

#### 2.4.4 Concentração de carbono e nitrogênio

A microbiota utiliza o carbono (C) como fonte de energia para a oxidação metabólica, este processo produz o CO<sub>2</sub> que leva a perda de massa e calor, sendo estas duas características essenciais no processo de compostagem, já o nitrogênio (N) é necessário para a realização da síntese celular, sendo o principal componente do protoplasma celular (NOVAIS, 2011).

Para a compostagem ser eficiente, os valores ideais de relação entre C/N comumente estão na faixa de 30:1, valores inferiores a essa proporção haverá abundância de N, valores superiores ocorrerá a falta do N e, conseqüentemente, a restrição do aumento da microbiota e o C não será totalmente degradado interferindo na eficácia do processo (MELO, 2014).

A concentração de C/N é uma relação utilizada para estimar os níveis de maturação dos resíduos orgânicos e suas implicações no aumento da população microbiana, pois a atividade da microbiota heterotrófica que fazem parte deste processo são dependentes do C como fonte de energia e do N que auxilia na síntese das proteínas (VALENTE, B.S.1 et al., 2011).

Certos pesquisadores admitem valores da relação entre C/N próximos de 20:1, porém estima-se que para a fase inicial os valores entre 25 e 30 de C para 1 de N

ótima para o processo de compostagem levando em consideração o proveito diferenciado pelos micro-organismos (FETTI, 2014).

#### 2.4.5 Temperatura

Durante o desenvolvimento da compostagem, a temperatura inicia-se próxima a temperatura ambiente, ocorrendo variações deste índice podendo alcançar valores próximos a 70 °C estabilizando-se a valores próximos a 40 °C, estas alterações fazem com que haja conseqüentemente variação na população microbiana que atuam no processo da compostagem (FETTI, 2014).

A temperatura nas pilhas de compostagem constitui-se como uma das fontes mais relevantes indicando o bom andamento do processo da compostagem (PEREIRA et al., 2013). Pois, indica a atividade metabólica da microbiota decompositora. Ou seja, a transformação dos resíduos orgânicos é evidenciada com o aumento da temperatura, pois indicam o trabalho da microbiota que liberam energia em forma de calor, esta elevação da temperatura atua também na eliminação de patógenos que prejudicam a saúde humana (SOARES et al., 2018a; VILELA, 2019).

Sendo assim, a temperatura é o principal indicador da transformação da matéria orgânica, considerado ser um indicador da biodegradação do material orgânico, do avanço da estabilização, higienização e secagem. Este índice, também pode ser conhecido como consequência do trabalho da microbiota, assim como indicador desta, tendo em vista que a temperatura se resulta em resposta da respiração da microbiota durante as reações metabólicas (VILELA, 2019).

### 2.5 **GreenMetric**

O *UI GreenMetric World University Ranking* é uma classificação sobre campus verde e sustentabilidade ambiental iniciada pela Universitas Indonesia em 2010. Através de 39 indicadores em seis critérios, o *UI GreenMetric World University Rankings* determinou prudentemente as classificações por compromisso e iniciativas ambientais das universidades (UI GREENMETRIC, 2023b).

O *UI GreenMetric* avalia a política e o desempenho da universidade com base em seis categorias; ambiente e infraestrutura (15), energia e mudanças climáticas (21), resíduos (18), água (10), transporte (18) e educação e pesquisa (18). Sendo que,

cada categoria tem uma ponderação de pontos mostrada entre parênteses ao lado da categoria (UI GREENMETRIC, 2023a, p. 7).

### **3 OBJETIVOS**

#### **Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver e executar um projeto-piloto operacional de pátio de compostagem de resíduos sólidos orgânicos para a Universidade de Sorocaba.

#### **Objetivos específicos**

Identificar as fontes de resíduos sólidos orgânicos (resíduo sólido domiciliar úmido (RSDU) e resíduo público (RPU)) na Universidade de Sorocaba.

Adaptar metodologia para compostagem de resíduos sólidos orgânicos.

Determinar e avaliar os indicadores de desempenho da compostagem dos resíduos sólidos orgânicos.

Efetuar a análise de custo para o processo e produtos de compostagem.

## 4 MÉTODO

### 4.1 Amostragem do resíduo sólido domiciliar úmido (RSDU) e do resíduo público (RPU)

Para a coleta do RSDU e do RPU, foram utilizados 2 (dois) contêineres de 200 L cada, e definido a coleta de apenas 100 L diariamente das segundas as sextas-feiras para facilitar o transporte e deposição dos resíduos nas leiras de compostagem.

### 4.2 Construção das composteiras

Três tipos de leiras de compostagem (n=3) foram construídas para a produção de amostras, seguindo os parâmetros estabelecidos pela equipe de pesquisa e mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Características das leiras de compostagem para o ensaio**

| Parâmetros                 | Desenho do experimento |                               |   |
|----------------------------|------------------------|-------------------------------|---|
|                            | 1 a 3                  | Leira de compostagem<br>4 a 6 | 7 a 9   |
| Dimensão (m <sup>2</sup> ) | 2                      | 2                             | 2   |
| Impermeabilização do solo  | Não                    | Lona plástica                 | Estrutura em alvenaria e saída de água para coleta de chorume |
| Coleta de chorume          | Não                    | Não                           | Sim   |
| Cobertura                  | Não                    | Lona plástica                 | Lona plástica   |
| Disposição                 | Diretamente no solo    | Sobre a lona plástica         | Sobre a estrutura   |

Fonte: Elaboração própria

Um berço com gravetos com 0,30 m de altura foi feito para a disposição dos resíduos orgânicos (RSDU e RPU) nas leiras, para facilitar a entrada de O<sub>2</sub> no material a ser composto. Após a criação deste berço foram dispostos uma cama de RPU com 0,30 m de altura por toda a leira, totalizando 1,2 m<sup>3</sup> de material, e inserido 0,2 m<sup>3</sup> de RSDU. Este processo foi realizado até as leiras atingirem 1,5 m de altura, com exceção do berço de gravetos que foi realizado apenas no início do trabalho para facilitação da oxigenação das leiras.

Para a construção das composteiras 7, 8 e 9 foram utilizados os insumos listados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Insumos utilizados para a construções das composteiras 7, 8 e 9 e respectivos custos**

| Item         | Material  | Quantidade         | Valor unitário (R\$) * | Total (R\$)     |
|--------------|---|--------------------|------------------------|-----------------|
| 01           | Bloco vedação cerâmico<br>0,14m x 0,19m x 0,29m                       | 100 un             | 2,01                   | 201,00          |
| 02           | Canaleta cerâmica<br>0,14 m x 0,19 m x 0,29 m                         | 100 un             | 2,99                   | 299,00          |
| 03           | Barras de aço 8 mm  | 2 un               | 70,92                  | 141,84          |
| 04           | Tela soldada Q61 (0,15 m x 0,15 m x<br>0,034 m, com dimensão 2m x 3m) | 2 un               | 86,29                  | 172,58          |
| 05           | Cimento CAUE<br>CP II – F32   | 6 un               | 37,10                  | 222,60          |
| 06           | Areia grossa  | 0,5 m <sup>3</sup> | 166,67                 | 166,67          |
| 07           | Brita 1   | 0,5 m <sup>3</sup> | 166,67                 | 166,67          |
| 08           | Barra de tubo PVC marrom de 32 mm                                     | 1 un               | 74,41                  | 74,41           |
| 09           | Cotovelo PVC marrom 32x 90°   | 3 un               | 4,83                   | 14,49           |
| 10           | Adaptador PVC marrom 32x ½"   | 3 un               | 3,56                   | 10,68           |
| 11           | Torneira ½" esfera  | 3 un               | 27,96                  | 83,88           |
| 12           | Cola PVC para tubo 15 g   | 1 un               | 11,18                  | 11,18           |
| <b>Total</b> |   |                    |                        | <b>1.565,00</b> |

Dado: \* valores cotados em 01/04/2022

Fonte: Elaboração própria

### 4.3 Indicadores de desempenho da compostagem

Para a análise dos parâmetros massa específica seca, determinação de N, determinação de carbono orgânico total (COT) e umidade, foram coletadas 3 amostras de cada tipo de resíduo serem utilizadas antes do processo de compostagem, sendo os RSDU e RPU. As análises CHNS foram realizadas depois do processo de compostagem, ou seja, já com o composto maturado e realizado em laboratório particular externo.

#### 4.3.1 Determinação da umidade e da massa específica seca

A umidade em porcentagem (n=3) foi calculada utilizando-se a Equação 1 como o auxílio de uma balança de precisão analítica (SHIMADZU, ATX224).

$$Umidade = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

onde,  $m_i$  representa a massa inicial e  $m_f$  a massa final.

A massa específica seca ( $m_f$ ) foi calculada a partir da massa específica úmida ( $m_i$ ) e do conteúdo de água presente. As amostras (n=3) avaliadas foram pesadas, em balança de precisão analítica (SHIMADZU, ATX224), antes e depois do processo

de secagem a 105 °C em estufa de ar circulante (QUIMIS, D21), com controle periódico da massa.

O processo foi mantido até que a massa da amostra se estabilizasse (massa constante), sendo a massa da cápsula de porcelana  $m_{CP}$  (g), utilizando a Equação 2 para determinar o teor de matéria seca (2013a).

$$m_f(\%) = \frac{(m_f - m_{CP})}{m_i - m_{CP}} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

onde,  $m_{CP}$  = massa da cápsula de porcelana;  $m_A$  = massa da amostra; e  $m_S$  = massa seca.

#### 4.3.2 Determinação de nitrogênio pelo método de Kjeldahl

Para a determinação do teor de N utilizou-se a metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Pesou-se 0,2 g de amostra em tubo micro Kjeldahl. Numa capela de exaustão, adicionou-se 3 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado e 0,7 g da mistura digestora em cada tubo. Os tubos foram levados ao bloco digestor (Quimis, Q327M, Brasil) até atingir a temperatura de 350 °C. Depois de atingida essa temperatura, eles permaneceram por 1 h no bloco digestor. Após a conclusão da digestão os tubos foram retirados no bloco digestor e adicionou-se aproximadamente 10 mL de água destilada por tubo.

Antes de iniciar a destilação, preparou-se previamente um Erlenmeyer contendo 5 mL de solução indicadora de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) a 2 % (m/v). No destilador de Kjeldahl ou de N (Tecnal, TE-0363, Brasil), com auxílio de uma proveta, adicionou-se 10 mL de hidróxido de sódio (NaOH) a 40 % no compartimento específico. A amostra foi destilada até atingir aproximadamente 40 mL.

Para diminuir possíveis erros amostrais, realizaram-se dois brancos para cada bloco. Em seguida, titulou-se com  $H_2SO_4$  0,0025 M a solução de 40 mL coletada no Erlenmeyer. Na determinação de N de Kjeldahl total (NKT) utilizou a Equação 3.

$$\%NKT = \frac{\left( (V_1 - V_2) \times 700 \times \left( \frac{1}{m} \right) \right)}{10000} \quad \text{Equação 3}$$

Sendo,  $V_1$ : volume gasto na titulação da amostra,  $V_2$ : volume gasto na titulação do branco e  $m$ : massa da amostra.

A matéria orgânica com alta concentração de N deve passar pelo processo de compostagem, sendo que, para se obter um produto de qualidade, a proporção dos valores C/N deve ser respeitada, este procedimento corrobora com o crescimento e a atividade da microbiota que transforma a matéria orgânica (MELO, 2014).

O destilador de N foi utilizado para destilação de N amoniacal, bases voláteis totais (BVT) e análise de N/proteína pelo método de Kjeldahl após o processo de digestão (Figura 4).

**Figura 4 - Equipamento e vidraria para determinação de Nitrogênio pelo método de Kjeldahl**



(a) Destilador de nitrogênio



(b) Tubos de ensaio com amostras de resíduo sólido domiciliar úmido (RSDU), resíduo público (RPU) e branco

Fonte: Elaboração própria

O uso de uma combinação de catalisadores é benéfico, porque promove melhor efeito associativo, do que cada um dos catalisadores separadamente. O andamento da destruição da matéria orgânica percebe-se, geralmente, pela cor da solução. Quando a destruição, também chamada de digestão ou mineralização for concluída, a cor da solução se tornará clara (LICON, 2022).

Sabe-se que nesse caso, quando a solução ácida é neutralizada em meio básico ocorre o desprendimento de amônia e que quando ocorre a destilação dessa solução em meio ácido a amônia ficará novamente retida, consumindo prótons que são tituláveis. Assim, a amostra digerida é diluída em água e adicionada de uma solução básica (NaOH, 50 %) para neutralizar o ácido sulfúrico; e a destilação é feita

em solução de ácido bórico, contendo os indicadores azul de metileno e vermelho de metila (LICON, 2022).

O ânion borato (proporcional a quantidade de N) é titulado com HCl padronizado. A determinação de N em sua técnica original é subdividida em três etapas: digestão da amostra por via úmida (N orgânico é transformado em amônia); destilação (liberação da amônia por NaOH); e titulação da amônia (por via direta com HCl 0,02 mol/L) (LICON, 2022).

#### 4.3.3 Determinação de carbono orgânico total (COT)

Para a determinação do teor de COT, os materiais foram secos a 105 °C em estufa com circulação e renovação de ar (Marconi, MAO35/S, Brasil), colocados em cadinho previamente pesados em balança analítica (Tecnal, M214A, Brasil), e levados à mufla (QUIMIS, D21), devidamente pesados e mantidos a uma temperatura de 580 °C durante um período de 2 h.

Após resfriamento em dessecadores, os materiais foram pesados em balança analítica com precisão de 0,0001 g, obtendo-se por diferença o conteúdo de COT, conforme metodologia de Cunha-Queda et al. (2003). A determinação de %COT foi obtida com o uso da Equação 4.

$$\%COT = \frac{\left( \frac{m_1 - m_2}{m_1 - T} \right) \div 100}{1,8} \quad \text{Equação 4}$$

Sendo,  $m_1$ : massa da amostra a 105 °C + T,  $m_2$ : massa da amostra a 580 °C + T, e, T: tara do cadinho.

#### 4.3.4 Análise elementar CHNS

A análise elementar CHNS é uma técnica de análise química qualitativa e quantitativa dos elementos carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N) e enxofre (S) em uma amostra, sendo realizada geralmente para materiais orgânicos. No analisador elementar (ThermoScientific®, FlashSmart, EUA), disponível na CAQI-IQSC-USP (análise tercerizada pela nossa equipe), foi utilizado o método de calibração externa tendo como padrões de calibração a metionina, BBOT, sulfanilamida e cistina.

Uma massa conhecida da amostra é acondicionada em um porta-amostra de estanho e este sistema é inserido em um tubo de reação aquecido (950 °C); o interior do tubo é preenchido com reagentes que criam uma zona de oxidação (CuO) e outra de redução (Cu eletrolítico).

A alta temperatura promove a oxidação (combustão) do estanho do porta-amostra; esta, por sua vez, é uma reação altamente exotérmica que libera uma quantidade extra de calor ao sistema, gerando um aumento substancial da temperatura local (cerca de 1700 °C) onde se encontra a amostra, promovendo a total degradação da mesma. Neste processo, todo o C presente na amostra se transforma em CO<sub>2</sub>; todo o H se transforma em H<sub>2</sub>O; todo o N se transforma em N<sub>2</sub>; e todo o S se transforma em SO<sub>2</sub>.

Estes gases gerados no processo de "queima" da amostra são direcionados para uma coluna de cromatografia gasosa e são separados; a detecção das suas quantidades é feita no fim da coluna por um detector de condutividade térmica (TCD). Em seguida, os sinais da amostra são comparados com os da curva analítica para determinar as concentrações em porcentagem de C, H, N e S presentes na amostra.

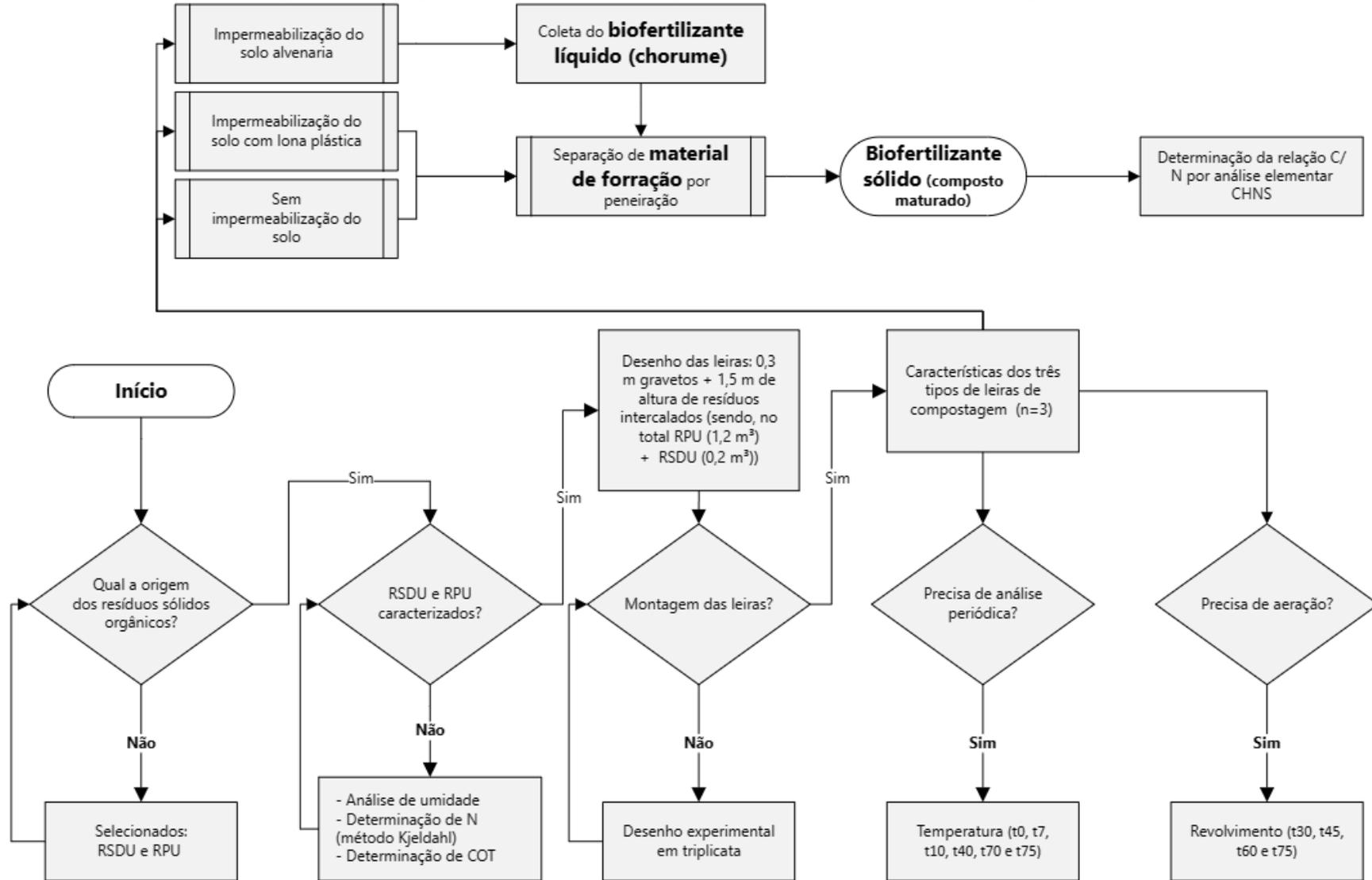
#### 4.3.5 Determinação de temperatura

As análises foram realizadas utilizando um termômetro de mercúrio em  $t_0$ ,  $t_7$ ,  $t_{10}$ ,  $t_{40}$ ,  $t_{70}$  e  $t_{75}$ , onde  $t$  representa tempo e o numeral os dias após o início da construção de cada leira. A determinação da temperatura foi realizada em intervalos de tempo iguais para os três tipos de leiras produzidas. A temperatura foi observada apenas no centro de cada leira.

#### 4.4 Processo da implementação do pátio de compostagem piloto

Na Figura 5 é mostrado o fluxograma do processo da implementação do pátio de compostagem piloto.

Figura 5 - Fluxograma do processo da implementação do pátio de compostagem piloto



Legenda: resíduo sólido domiciliar úmido (RSDU) e resíduo público (RPU). Fonte: Elaboração própria

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Identificação da fonte de resíduos sólidos orgânicos

Uma pesquisa documental sobre a geração de resíduos na Universidade de Sorocaba foi feita no setor de Suprimentos, que é o setor responsável pelas compras realizadas pela Universidade e pagamento de notas fiscais, no APOIO 3 que é o local onde realiza-se as aulas teóricas e práticas em relação a alimentação e gastronomia e no Restaurante Famille localizado no Bloco D piso térreo.

Para se ter uma noção da quantidade de resíduo sólido domiciliar úmido (RSDU) que eram gerados por dia na Universidade foram realizadas entrevistas com os proprietários do restaurante e com a líder do setor do Prédio Apoio 3, além de um levantamento do histórico de volume (m<sup>3</sup>) registrado nas notas fiscais.

O resíduo proveniente de poda e jardinagem da área da Universidade de Sorocaba foi denominado de resíduo público urbano (RPU). Os resíduos da poda de jardinagem são separados pelos jardineiros após a roçagem de grama esmeralda utilizado em sua maioria para a cobertura dos resíduos orgânicos do Restaurante e do Bloco Apoio 3 da Universidade, também são utilizadas folhas das árvores após o processo de rastelagem dos jardins, sendo estes dois últimos utilizados quando na falta dos resíduos de grama gerados.

Atualmente, a administração da Universidade de Sorocaba contrata serviço terceirizado de coleta e transporte de todo o volume de resíduos sólidos, inclusive dos RSDU e RPU, por meio de caçambas. O destino desses resíduos é o aterro sanitário municipal.

Somente a implantação da PNRS não é o suficiente, faz-se necessário maior engajamento para que a consumação da gestão dos resíduos surta efeito na eliminação de impactos negativos no ambiente e na saúde da população (ALMEIDA et al., 2022).

A destinação sensata dos resíduos sólidos, tanto urbanos quanto industriais, deve ser fundamentada, para que em primeiro lugar não seja descartado de forma inadequada e como consequência impedindo a contaminação do meio ambiente e em segundo, a possibilidade de se criar renda com a reciclagem do material (ALMEIDA et al., 2022). Assim, segregar os resíduos RSDU e RPU gerados na Uniso para posterior compostagem corrobora com o meio ambiente, minimiza os custos para descarte e pode até gerar renda.

## 5.2 Construção das composteiras

As nove leiras de compostagem foram construídas para o ensaio como proposto (Tabela 1). Na Figura 6 são mostradas imagens das leiras 1 - 6.

**Figura 6 - Leiras de compostagem 1 - 6**



Vista oeste/leste da leira 1



Vista norte/sul da leira 2



Vista sul/norte da leira 3



Vista oeste/leste da leira 4



Vista norte/sul da leira 5



Vista leste/oeste da leira 6

Fotografia: Vanderson Urbaiti Gimenez

Na Figura 7 são mostradas imagens das leiras 7, 8 e 9 (construção das composteiras em alvenaria) no pátio piloto de compostagem da Universidade de Sorocaba.

**Figura 7 - Etapas da construção das leiras de compostagem 7, 8 e 9 equipadas com sistema de drenagem de líquidos por gravidade**



(a) Preparo do terreno



(b) Instalação da tubulação



(c) Preparo das leiras para receber o concreto usinado



(d) Leiras concretadas



(e) Vista norte/sul das composteiras com dimensão 2 m<sup>2</sup> (n=3)  
Fotografia: Vanderson Urbaiti Gimenez

Os experimentos em triplicata do presente trabalho foram realizados no pátio piloto de compostagem construído no Câmpus Cidade Universitária Prof. Aldo Vannucchi, nas coordenadas geográficas -23.502567, -47.397340.

Como bem colocado por Vilela e Piesanti (2015), a compostagem é um método eficaz de reaproveitamento da matéria orgânica que gera adubo orgânico como

produto final. Uma das formas mais indicadas para lidar com a parte orgânica dos resíduos sólidos urbanos no Brasil é a compostagem, mas essa metodologia ainda tem pouca adesão no país (MORAIS; FIORE; ESPOSITO, 2022).

### 5.3 Indicadores de desempenho da compostagem

#### 5.3.1 Análise de umidade

Os valores de umidade (%) obtidos para material bruto ( $n = 3$ ) de Resíduo Público Urbano (RPU) e Resíduo Sólido Domiciliar Úmido (RSDU) foram de  $48 \pm 3 \%$  e  $89 \pm 3 \%$ , respectivamente (Tabela 3 e a demonstração dos respectivos cálculos se encontra no APÊNDICE A). A determinação do teor de umidade das amostras de RSDU e de RPU, se deu anteriormente ao processo de compostagem.

Como a proporção utilizada de RPU:RSDU foi de 1,2:0,2  $m^3$ , estimou-se que no tempo zero do experimento as leiras apresentavam um teor de umidade de 54 %. Assim justificando a ausência de moscas e roedores, pois como preconizado por Pereira Neto (2007), valores de umidade acima de 60 % tornariam o meio anaeróbico, gerando gases malcheirosos e atraindo vetores indesejáveis.

**Tabela 3 - Valores de umidade (%) para material bruto ( $n = 3$ ) de Resíduo Público Urbano (RPU) e Resíduo Sólido Domiciliar Úmido (RSDU)**

| Ensaio (i) | Tipo de resíduo | Resultado (%) | Média $\pm$ DP (%) |
|------------|-----------------|---------------|--------------------|
| 1          | RPU             | 47            | $48 \pm 3$         |
| 2          | RPU             | 46            |                    |
| 3          | RPU             | 52            |                    |
| 4          | RR              | 91            | $89 \pm 3$         |
| 5          | RR              | 90            |                    |
| 6          | RR              | 86            |                    |

Fonte: Elaboração própria

Na compostagem, para a microbiota exercer seu papel, em os valores da umidade entre 40 e 60 % para Souza et al. (2020) e 50 a 60 % para Crivelaro, Moreira e Silva (2018, p. 96). Portanto, a umidade no tempo zero desta investigação estava próxima aos valores ideais para início do processo de compostagem.

De acordo com (CRIVELARO; MOREIRA; SILVA, 2018), os níveis muito baixos de umidade (abaixo de 30 %) inibem a atividade microbiana e um meio muito úmido (acima de 65 %) causa condições de anaerobiose e lixiviação de nutrientes, tornando a decomposição lenta. Segundo a Diretriz Técnica N° 007/2021 - Dirtec para Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos (2021, p. 16) o teor de umidade deve ser mantido entre 40 e 60 %, sendo o ideal 55 % de umidade.

No presente trabalho, não foram realizadas correções de umidade e o composto maturado foi obtido em cerca de 80 dias.

### 5.3.2 Análise de massa seca

Os dados de umidade das amostras obtidos anteriormente neste trabalho foram aproveitados para cálculo da porcentagem de massa seca, utilizando-se a Equação 5 (a demonstração dos cálculos encontra-se no APÊNDICE B).

$$\text{Massa seca \%} = 100 - \text{Umidade} \quad \text{Equação 5}$$

A massa específica seca do RSDU obtida foi entre 8,5 e 13,1 % e do RPU foi entre 48,6 e 54,6 % (Tabela 3).

**Tabela 4 - Dados coletados do experimento para determinação da massa específica seca das amostras**

| Amostra | Massa da cápsula de porcelana $m_{CP}$ (g) | Massa da amostra $m_i$ (g) | $m_{CP} + m_f$ (g) | Massa seca $m_f$ (g) | $m_f\%$ | $m_f\%$ média $\pm s$ |
|---------|--|----------------------------|--------------------|----------------------|---------|-----------------------|
| RPU 1   | 61,7694                                    | 3,2182                     | 63,4679            | 1,6985               | 52,8    | 51,6 $\pm$ 3,0        |
| RPU 2   | 72,6680                                    | 2,8506                     | 74,2050            | 1,5370               | 53,9    |                       |
| RPU 3   | 75,3146                                    | 2,4359                     | 76,4897            | 1,1751               | 48,2    |                       |
| RSDU 4  | 63,8352                                    | 2,4881                     | 64,0678            | 0,2326               | 9,3     | 10,8 $\pm$ 2,3        |
| RSDU 5  | 58,9739                                    | 2,5464                     | 59,2189            | 0,2450               | 9,6     |                       |
| RSDU 6  | 73,3374                                    | 2,4070                     | 73,6625            | 0,3251               | 13,5    |                       |

Abreviações: Resíduo sólido domiciliar úmido (RSDU), resíduo público (RPU)

Fonte: Elaboração própria

No presente trabalho foram obtidas massas secas média de 51,6  $\pm$  3,0 % para RPU (resíduo de poda de grama) e 10,8  $\pm$  2,3 % para RSDU (basicamente composto por resíduo de frutas e legumes) (Tabela 3). A massa seca média para RPU foi maior que a descrita por Ismael et al. (2013), que relataram massa seca de 37 % para grama; porém a massa seca média para RSDU foi semelhante a 9,7 % para cascas de frutas e verduras obtida por Ismael et al. (2013). Provavelmente, a justificativa para a diferença de massa seca pode estar relacionada a composição do RPU. Nestas duas investigações, a composição do RPU deve diferir quanto ao tipo de material e/ou sazonalidade da coleta e/ou período úmido do ano (ou época de seca).

### 5.3.3 Determinação de nitrogênio pelo método de Kjeldahl

A concentração de N (%), determinada pelo método de Kjeldahl, foi estudada no resíduo sólido domiciliar úmido (RSDU) e resíduo público (RPU) anteriormente ao processo de compostagem.

No experimento, para efeito de cálculo, a titulação do branco (linha base) consumiu 0,3 mL (n=3) (Tabela 5). Na Tabela 5 são também exibidos os valores em volume (mL) de ácido clorídrico 0,02 mol/L para a titulação das amostras, dado necessário para cálculo concentração de N (%) nas amostras.

**Tabela 5 - Valores em volume (mL) de ácido clorídrico 0,02 mol/L para a titulação das amostras**

| i     | Branco   | RSDU     | RPU      |
|-------|----------|----------|----------|
|       | HCl (mL) | HCl (mL) | HCl (mL) |
| 1     | 0,3      | 3,4      | 3,3      |
| 2     | 0,3      | 3,7      | 3,2      |
| 3     | 0,3      | 3,3      | 3,1      |
| Média | 0,3      | 3,5      | 3,2      |
| DP    | 0        | 0,2      | 0,1      |

Abreviações: resíduo sólido domiciliar úmido (RSDU) e resíduo público (RPU).

Fonte: Elaboração própria

A massa média das amostras for determinada de acordo com o método proposto e os valores para correspondentes de concentração de N (%) foram calculados e estão organizados na Tabela 6.

**Tabela 6 - Dados de massa (g) e de concentração (%) de nitrogênio nos analitos (n=3)**

| i     | RSDU   | RPU    | RSDU           | RPU            |
|-------|--------|--------|----------------|----------------|
|       | m (g)  | m (g)  | nitrogênio (%) | nitrogênio (%) |
| 1     | 0,0737 | 0,0770 | 0,99           | 0,92           |
| 2     | 0,0748 | 0,0709 | 1,07           | 0,97           |
| 3     | 0,0722 | 0,0735 | 0,98           | 0,90           |
| Média | 0,0736 | 0,0738 | 1,01           | 0,93           |
| DP    | 0,0013 | 0,0031 | 0,05           | 0,04           |

Abreviações: resíduo sólido domiciliar úmido (RSDU) e resíduo público (RPU)

Fonte: Elaboração própria

O teste de Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para se testar a normalidade dos dados no software estatístico BioEstat 5.3. Como o valor de p é 0,463, que é maior do que o nível de significância de 0,05, a decisão é deixar de rejeitar a hipótese nula. Não é possível concluir que os dados não seguem uma distribuição normal.

A concentração de N (%), determinada pelo método de Kjeldahl (n=3) foi estudada anteriormente ao processo de compostagem e os valores resultantes foram

de  $1,01 \pm 0,05 \%$  e  $0,93 \pm 0,04 \%$  de N para RSDU e RPU (Tabela 7), respectivamente. Sendo que, RSDU foi constituído por resíduos derivados de frutas, verduras e legumes e RPU derivado da grama do tipo esmeralda, folhas e pequenos galhos de árvores. Estes valores assemelham-se aos obtidos no trabalho de ISMAEL et al. (2013b), no qual os valores de N total para cascas de frutas e verduras foram de 0,67%, cascas de banana foi de 0,52 % e 1,14 % para grama.

#### 5.3.4 Determinação de carbono orgânico total (COT)

A determinação do COT das amostras RPU e RSDU, feita em triplicata, resultou  $45,3 \pm 4,7 \%$  e  $52,8 \pm 0,5 \%$ , respectivamente (exibidos na Tabela 7).

**Tabela 7 - Resultados dos ensaios para a determinação do carbono orgânico total (COT)**

| Ensaio com amostras de resíduo de poda e jardinagem (RPU) |       |                                     |                           |                           |  |   |
|---|-------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--|---|
|   |       | 105 °C                              |                           | 580 °C                    |  | $\%COT = \frac{\left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 - T}\right) \div 100}{1,8}$ |
| <i>i</i>  | T (g) | <i>m</i> cadinho + <i>m</i> RPU (g) | <i>m</i> <sub>1</sub> (g) | <i>m</i> <sub>2</sub> (g) |  |   |
| 1   | 34,19 | 37,41                               | 36,23                     | 34,47                     |  | 47,83   |
| 2   | 42,32 | 45,17                               | 44,36                     | 42,89                     |  | 39,92   |
| 3   | 38,09 | 40,53                               | 40,23                     | 38,37                     |  | 48,28   |
| Média   | 38,20 | 41,04                               | 40,27                     | 38,58                     |  | <b>45,3</b>   |
| DP  | 4,06  | 3,90                                | 4,07                      | 4,21                      |  | <b>4,7</b>  |
| Ensaio com amostras de resíduo do restaurante (RR)        |       |                                     |                           |                           |  |   |
|   |       | 105 °C                              |                           | 580 °C                    |  | $\%COT = \frac{\left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 - T}\right) \div 100}{1,8}$ |
| <i>i</i>  | T (g) | <i>m</i> cadinho + <i>m</i> RR (g)  | <i>m</i> <sub>1</sub> (g) | <i>m</i> <sub>2</sub> (g) |  |   |
| 1   | 40,44 | 42,92                               | 42,47                     | 40,51                     |  | 53,37   |
| 2   | 35,59 | 38,14                               | 37,63                     | 35,69                     |  | 52,79   |
| 3   | 45,21 | 47,62                               | 47,29                     | 45,33                     |  | 52,39   |
| Média   | 40,41 | 42,89                               | 42,46                     | 40,51                     |  | <b>52,8</b>   |
| DP  | 4,81  | 4,74                                | 4,83                      | 4,82                      |  | <b>0,5</b>  |

Dado:  $m_{\text{cadinho}}=T$ ,  $m_1= m_{\text{cadinho}} + m_{\text{matéria seca RPU}}$  ou  $m_{\text{matéria seca RR}}$ ,  $m_2= m_{\text{cinzas com cadinho RPU}}$  ou  $m_{\text{cinzas com cadinho RR}}$

Fonte: Elaboração própria

No trabalho de Carmo e Silva (2012, p. 1218), os teores de COT nos resíduos orgânicos de 42 amostras de compostos, esterco, resíduos vegetais, lodos de esgoto e camas de frango e de suíno, variaram de 8,5 a 51,4 %. Dados máximos próximos aos obtidos em nossa pesquisa (45,33 % e 52,84 % para RPU e RR, respectivamente).

A relação C/N no tempo zero do ensaio foi calculada, sendo que se levou em consideração 360 t de resíduos recolhidos para o processo de compostagem. Para as 360 t de resíduos temos 3,51 t de N e 84,24 t de C resultando na relação C/N igual a 25/1.

### 5.3.5 Análise elementar CHNS

Em relação aos ensaios realizados nos biofertilizantes sólidos (compostos maturados) para a determinação quantitativa dos elementos químicos C, H, N e S, foi utilizado a técnica análise elementar CHNS, realizada por André Luiz Tognon, Químico da Central de Análises Químicas Instrumentais (CAQI) no Instituto de Química de São Carlos - Universidade de São Paulo (USP), no Laboratório de Ressonância Magnética Nuclear, os resultados CHNS são apresentados na Tabela 8 e Gráfico 1.

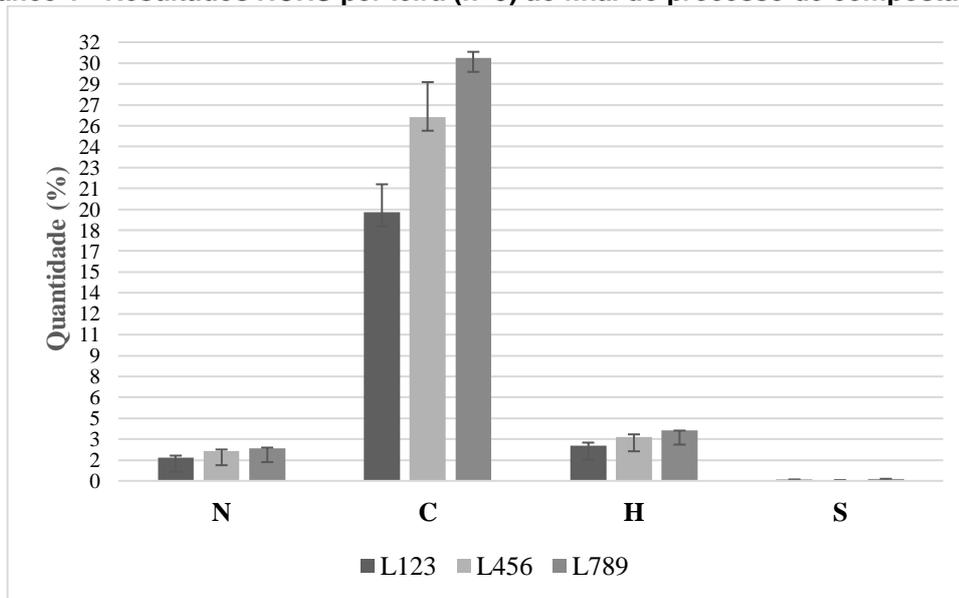
**Tabela 8 - Resultados NCHS por leira após a fase de humificação**

| <i>i</i>             | <b>N</b> |          | <b>C</b> |          | <b>H</b> |          | <b>S</b> |          | <i>amostra</i> |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|
|                      | %        | $\sigma$ | %        | $\sigma$ | %        | $\sigma$ | %        | $\sigma$ |                |
| 4                    | 2,4      | 0,1      | 30,6     | 1,2      | 3,6      | 0,1      | 0,2      | 0,0      | L9             |
| 5                    | 2,3      | 0,1      | 29,9     | 0,7      | 3,6      | 0,2      | 0,1      | 0,0      | L8             |
| 6                    | 2,4      | 0,0      | 30,7     | 0,1      | 3,6      | 0,1      | 0,1      | 0,0      | L7             |
| Média $\pm \sigma$   | 2,4      | 0,1      | 30,4     | 0,7      | 3,6      | 0,1      | 0,1      | 0,0      |                |
| Relação C/N = 12,7/1 |          |          |          |          |          |          |          |          |                |
| 1                    | 2,2      | 0,1      | 28,0     | 1,3      | 3,2      | 0,1      | 0,2      | 0,0      | L6             |
| 8                    | 2,2      | 0,1      | 27,1     | 0,7      | 3,3      | 0,1      | 0,1      | 0,1      | L5             |
| 9                    | 2,0      | 0,0      | 23,3     | 0,0      | 2,9      | 0,0      | 0,0      | 0,1      | L4             |
| Média $\pm \sigma$   | 2,1      | 0,1      | 26,1     | 0,7      | 3,1      | 0,1      | 0,1      | 0,0      |                |
| Relação C/N = 12,4/1 |          |          |          |          |          |          |          |          |                |
| 3                    | 1,8      | 0,1      | 21,3     | 0,3      | 2,8      | 0,1      | 0,1      | 0,0      | L3             |
| 7                    | 1,5      | 0,0      | 17,2     | 0,6      | 2,3      | 0,0      | 0,1      | 0,0      | L2             |
| 2                    | 1,6      | 0,1      | 19,3     | 0,9      | 2,5      | 0,1      | 0,1      | 0,0      | L1             |
| Média $\pm \sigma$   | 1,7      | 0,1      | 19,3     | 0,6      | 2,5      | 0,0      | 0,1      | 0,0      |                |
| Relação C/N = 11,4/1 |          |          |          |          |          |          |          |          |                |

Legenda: *i* = ensaio; L = leira; N = nitrogênio; C = carbono; H = hidrogênio; S = enxofre. Nota: As amostra foram analisadas aleatoriamente e em triplicata.

Fonte: Elaboração própria

**Gráfico 1 - Resultados NCHS por leira (n=3) ao final do processo de compostagem**



Nota: As amostras foram analisadas aleatoriamente e em triplicata. Fonte: Elaboração própria

Para que se estabeleça um processo de compensação eficiente, a taxa ótima inicial de C/N no material a ser compostado está ao redor de 25-30/1, a taxa C/N no composto final obtido é de 10-20/1, segundo Naime (2012). De acordo com Melo (2014), os valores ideais de relação entre C/N comumente estão na faixa de 30:1 para a compostagem ser eficiente, valores inferiores a essa proporção haverá abundância de N. Desta forma, a reprodução dos microrganismos pode ser mantida, assim como as funções metabólicas dos organismos, além da possibilidade de obtenção do composto final em menos tempo, evitando mau cheiro. Segundo este autor, quando o composto atinge o estado de maturação, passa a ter uma relação C/N entre 18/1 e 20/1 e uma temperatura próxima a do ambiente.

As concentrações da relação C/N obtidas no final do processo de compostagem neste trabalho foram de 11,4/1, 12,4/1 e 12,7/1 para as leiras de 1 a 3, leiras de 4 a 6 e leiras de 7 a 9, respectivamente (Tabela 10). Assim ficando abaixo dos valores obtidos por Melo (2014), porém corroborando com os achados de Gorgati (2001).

Gorgati (2001) relatou que os microrganismos que realizam a fermentação absorvem C e N idealmente na proporção de 30:1, com 2/3 do C sendo eliminados na forma de gás carbônico, ficando 1/3 imobilizado no protoplasma celular, resultando uma relação C/N igual a 10/1.

Em outras palavras, para a compostagem, estimar a quantidade de N e C nos resíduos utilizados, define a relação C/N. Sendo que os microrganismos utilizam 30 partes de C para cada parte de N, por isso a mistura ideal tem relação C/N de 30/1.

Porém, nem todo C é aproveitado, pois 10 partes viram biomassa e 20 partes são liberadas como gás carbônico. Assim, a relação C/N cai para 10/1. Uma sugestão seria misturar materiais com C/N alto e baixo.

De acordo com os valores obtidos, as Leiras 7, 8 e 9 deste trabalho, os valores de N ficaram acima das Leiras 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

A diminuição dos valores de N nas leiras de 1 a 6 pode ter sido causada pelos revolvimentos destas, pois as lonas perfuravam e rasgavam quando eram realizados os revolvimentos para a aeração das leiras utilizando garfo e enxada, havendo contaminação do composto com detritos das lonas plásticas e contato com o solo, tendo também perda de chorume. Esta condição também foi evidenciada no trabalho de Pedrosa et al. (2013), pois referem que as leiras foram montadas em solo exposto.

As leiras construídas de alvenaria, além de proporcionar melhores rendimentos atendem ao Art. 6º da Portaria nº 52, de 15 de março de 2021, que estabelece o “Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção e as listas de substâncias e práticas para o uso nos Sistemas Orgânicos de Produção”.

Art. 6º As instalações de armazenagem e manipulação de dejetos, incluindo as áreas de compostagem, deverão ser projetadas, implantadas e operadas de maneira a prevenir a contaminação das águas subterrâneas e superficiais, do solo, a multiplicação e a disseminação de pragas, vetores de doenças e de agentes patogênicos eventualmente presentes nos dejetos. (BRASIL, 2021)

De acordo com Rezende Zaparoli, para a validação do composto obtido, utilizam-se da Instrução Normativa (IN) nº 25, de 23 de julho de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que estabelece “normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura” (BRASIL, 2009). Na Tabela 9 são apresentadas as especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos, definidos pela IN nº 25.

| Garantia                  | Misto ou composto |          |          |          |
|---------------------------|-------------------|----------|----------|----------|
|                           | Classe A          | Classe B | Classe C | Classe D |
| Umidade (máxima)          | 50 %              | 50 %     | 50 %     | 50 %     |
| Nitrogênio total (mínimo) |                   |          | 0,5 %    |          |
| Carbono orgânico (mínimo) |                   |          | 15 %     |          |
| Valor de pH (mínimo)      | 6,0               | 6,0      | 6,5      | 6,0      |
| Relação C/N (máxima)      |                   |          | 20       |          |

Fonte: IN N.25 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

### 5.3.6 Análise de temperatura

Na Tabela 10 são exibidos os dados de temperatura das leiras em diferentes tempos desta pesquisa. Como relatado anteriormente, no item Método, não houve impermeabilização do solo nas leiras 1 a 3. A impermeabilização do solo nas leiras 4 a 6 e nas leiras 7 a 9 foram feitas com lona plástica e estrutura em alvenaria, respectivamente.

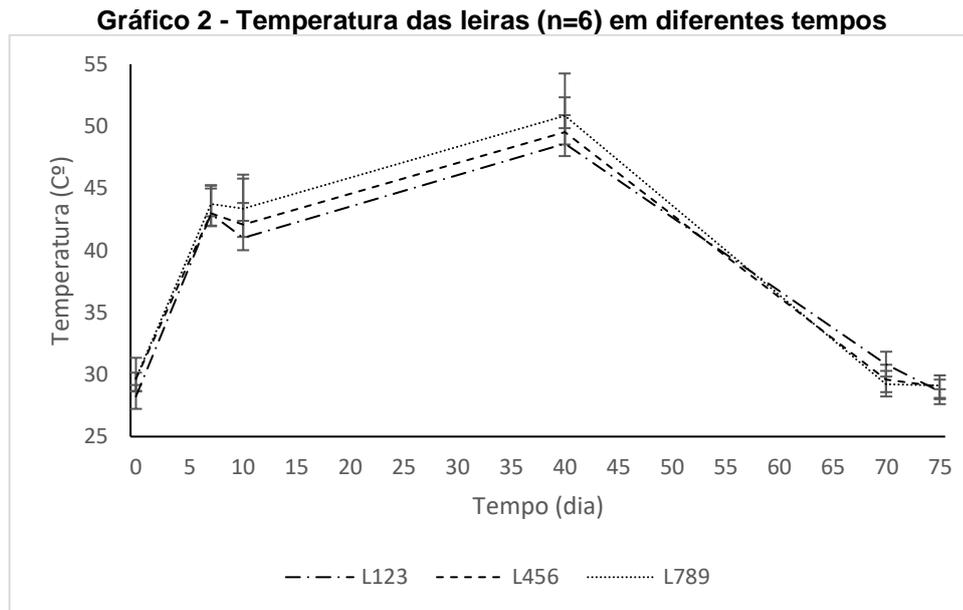
**Tabela 10 - Dados de temperatura das leiras (n=6) em diferentes tempos**

| Tempo (dia)     | i               | Temperatura (°C) |               |               |               |               |               |               |               |               |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                 |                 | Leira 1          | Leira 2       | Leira 3       | Leira 4       | Leira 5       | Leira 6       | Leira 7       | Leira 8       | Leira 9       |
| t <sub>0</sub>  | a               | 27,5             | 26,4          | 28,6          | 28,9          | 29,2          | 29,5          | 29            | 28,7          | 29,5          |
|                 | b               | 28               | 27,6          | 31,3          | 30,2          | 29,9          | 30,1          | 29,3          | 31,1          | 30,5          |
|                 | $\bar{X} \pm s$ | <b>28±0,4</b>    | <b>27±0,8</b> | <b>30±1,9</b> | <b>30±0,9</b> | <b>30±0,5</b> | <b>30±0,4</b> | <b>29±0,2</b> | <b>30±1,7</b> | <b>30±0,7</b> |
| t <sub>7</sub>  | a               | 41               | 42,2          | 41,9          | 42,7          | 41,4          | 40,1          | 42,5          | 40,9          | 42,3          |
|                 | b               | 43,7             | 44,1          | 44,8          | 45,3          | 43,9          | 44,6          | 47,2          | 45,4          | 44,2          |
|                 | $\bar{X} \pm s$ | <b>42±1,9</b>    | <b>43±1,3</b> | <b>43±2,1</b> | <b>44±1,8</b> | <b>43±1,8</b> | <b>42±3,2</b> | <b>45±3,3</b> | <b>43±3,2</b> | <b>43±1,3</b> |
| t <sub>10</sub> | a               | 39,1             | 41,8          | 39,5          | 37,8          | 38,1          | 39,6          | 40,3          | 41,2          | 41,8          |
|                 | b               | 38,3             | 43,2          | 44,2          | 44,9          | 45,3          | 46,8          | 43,9          | 45,5          | 47,6          |
|                 | $\bar{X} \pm s$ | <b>39±0,6</b>    | <b>42±1,0</b> | <b>42±3,3</b> | <b>41±5,0</b> | <b>42±5,1</b> | <b>43±5,1</b> | <b>42±2,5</b> | <b>43±3,0</b> | <b>45±4,1</b> |
| t <sub>40</sub> | a               | 44,8             | 45,6          | 46,3          | 46,8          | 48,3          | 46,1          | 49,2          | 48,6          | 48,5          |
|                 | b               | 51               | 52,7          | 51,2          | 52,4          | 51,9          | 51,7          | 52,8          | 53,1          | 52,9          |
|                 | $\bar{X} \pm s$ | <b>48±4,4</b>    | <b>49±5,0</b> | <b>49±3,5</b> | <b>50±4,0</b> | <b>50±2,5</b> | <b>49±4,0</b> | <b>51±2,5</b> | <b>51±3,2</b> | <b>51±3,1</b> |
| t <sub>70</sub> | a               | 32,1             | 31,3          | 31,5          | 30,5          | 31,5          | 28,8          | 30,3          | 29,8          | 30,1          |
|                 | b               | 31               | 29,7          | 29,4          | 28,6          | 29,6          | 28,5          | 29,1          | 27,9          | 28,2          |
|                 | $\bar{X} \pm s$ | <b>32±0,8</b>    | <b>30±1,1</b> | <b>30±1,5</b> | <b>30±1,3</b> | <b>31±1,3</b> | <b>29±0,2</b> | <b>30±0,8</b> | <b>29±1,3</b> | <b>29±1,3</b> |
| t <sub>75</sub> | a               | 28,5             | 29,3          | 28,9          | 29,2          | 30,2          | 28,2          | 29,4          | 29,1          | 28,8          |
|                 | b               | 27,9             | 28,7          | 28,4          | 28,7          | 29,9          | 27,9          | 29,2          | 29            | 29,2          |
|                 | $\bar{X} \pm s$ | <b>28±0,4</b>    | <b>29±0,4</b> | <b>29±0,4</b> | <b>29±0,4</b> | <b>30±0,2</b> | <b>28±0,2</b> | <b>29±0,1</b> | <b>29±0,1</b> | <b>29±0,3</b> |

Dados: (i) amostra, ( $\bar{X} \pm s$ ) média e desvio padrão amostral. Observação: Resultados expressos considerando os algarismos significativos.

Fonte: Elaboração própria

Pode ser observado no Gráfico 2 que as temperaturas obtidas foram semelhantes para as leiras de 1 a 9 nos diferentes tempos (t<sub>0</sub>, t<sub>7</sub>, t<sub>10</sub>, t<sub>40</sub>, t<sub>70</sub> e t<sub>75</sub>) (Tabela 10), considerando-se os valores médios e seus respectivos desvios-padrão. Porém, variaram nos diferentes tempos de amostragem, regularmente, em todas as leiras. Corroborando com os valores da literatura (BRASIL. MMA, 2017, p. 27).



Neste trabalho de compostagem dos resíduos sólidos orgânicos de restaurante por leiras estáticas aeradas, a evolução no controle da temperatura de centro teve início em  $29 \pm 1$  °C em média, após o quadragésimo dia de monitoramento de cada composteira, a média obtida foi de  $50 \pm 2,8$  °C e após septuagésimo quinto dia a média obtida de temperatura foi de  $29 \pm 0,5$  °C (Tabela 9).

Segundo Souza et al. (2020), a fase mesófila é caracterizada como a fase inicial da compostagem com valores de temperatura que atingem até 40 °C, assim se tomarmos este valor como referência para a fase mesófila da compostagem, no presente estudo esta fase deve ter sido atingida antes do  $t_7$  (Gráfico 2), quando foram registrados  $43 \pm 1,9$  °C.

Vilela e Piesanti (2015) consideram que a fase ativa de degradação é realizada em valores de temperatura entre 45 e 65 °C, onde a eliminação de patógenos no processo de compostagem é realizada na fase termofílica ou fase da degradação. Esta fase foi observada em torno do quadragésimo dia ( $t_{40}$ ) em nossa investigação. Divergindo dos dados do MPE-PR (2011, p. 2), que relataram a fase mesófila em 60 a 75 dias.

A literatura traz que a fase de humificação se dá no intervalo da temperatura diminui para 25 – 30 °C (BRASIL, 2009, p. 8), assim esta etapa ocorreu em nosso trabalho próximo ao  $t_{70}$ . Nesta fase, foi observado no composto com aspecto próximo a de terra vegetal e a presença de minhocas, corroborando com o descrito em literatura (BRASIL. MMA, 2017), porém num tempo próximo a  $t_{75}$ , sendo que foi descrito sobre a obtenção do húmus entre 90 e 120 dias (BRASIL. MMA, 2017, p. 28).

Esta diferença, provavelmente, pode estar relacionada à frequência de revolvimentos das leiras.

No presente trabalho os parâmetros observados foram de 51°C, 52,7°C, 51,2°C, 52,4°C, 51,9°C, 51,7°C, 52,8°C, 53,1°C e 52,9°C nas leiras de 1 a 9 sempre no quadragésimo dia após o início de construção de cada leira, finalizando a fase termófila.

Não foram utilizados a adição de rega com água e o controle de umidade também não foi realizado indicando que o O<sub>2</sub> existente nas leiras eram o suficiente para o trabalho da microbiota que, liberando energia em forma de calor, aquece os resíduos fazendo com que haja liberação de água presente no meio resultando no controle da umidade pela própria população de microrganismos presente.

Estes resultados divergem do trabalho de Oliveira (2015) que apresentou parâmetros de temperaturas entre 66,7 °C em 48 dias, 66,8 °C em 55 dias, 60,7 °C em 26 dias, 60,3 °C em 31 dias e 68,8 °C em 11 dias, resultados obtidos em L1, L2, L3, L4 e L5, assim respectivamente, finalizando a fase termófila no 55º dia.

A diferença de finalização da fase termófila, pode estar relacionada com a metodologia utilizada onde o controle da aeração fora realizado duas vezes por semana no primeiro mês do processo e uma vez por semana nos meses posteriores com a adição de rega e controle da umidade com a utilização de água, sendo o parâmetro ajustado em 60 % aproximadamente.

Neste presente trabalho o primeiro revolvimento da leira foi realizado apenas 30 dias após o início do processo de compostagem e apenas uma vez a cada 15 dias para os meses posteriores, sem a adição de rega com água e controle da umidade.

Acredita-se que o O<sub>2</sub> existente nas leiras eram o suficiente para o trabalho da microbiota que liberando energia em forma de calor, aquece os resíduos fazendo com que haja liberação de água presente no meio resultando no controle da umidade pela própria população de microrganismos presente. Esta metodologia pode ter sido o fator que corroborou para que não houvesse perda de calor e umidade resultando na rápida finalização da fase termófila.

### 5.3.7 Análise da Aeração

No presente trabalho foram realizados de cinco a seis vezes o revolvimento das leiras desde a fase inicial até a fase final da compostagem, sendo observado que a temperatura de acordo com a Tabela 9, se manteve dentro dos valores esperados.

O primeiro revolvimento para se promover a aeração das leiras ocorreram no trigésimo dia e conseqüentemente a cada quinze dias após a primeira aeração obtendo adubo orgânico pronto para o uso.

De acordo com a técnica utilizada o tempo para a obtenção do composto foi de aproximadamente 80 dias.

A impermeabilização do solo promovida pela construção em alvenaria (leiras 7, 8 e 9 desta pesquisa) permitiu a obtenção de três tipos de produto, nomeadamente, biofertilizante líquido (chorume), biofertilizante sólido (composto) e material para forragem (cobertura). Portanto, tendo uma vantagem em relação às leiras com material de compostagem depositado diretamente sobre o solo. Divergindo de Inácio e Miller (2009) que considerarem que a prática de impermeabilização do solo devesse ser evitada, alegando que isso influencia na boa aeração das leiras devido a produção do chorume. Uma explicação razoável para esta divergência constatada seria que as leiras 7, 8 e 9 foram construídas possibilitando a drenagem do chorume por gravidade, assim não prejudicando a aeração do sistema. Porém, um estudo mais aprofundado para o escalonamento desta prática se faz necessário.

Elias e Oziel (2014) estudaram as leiras estáticas aeradas, nas quais a mescla de resíduos é depositada sobre uma rede de tubos perfurados que força a entrada de ar (aeração forçada). A técnica de aeração forçada pode promover a retirada em excesso da umidade corroborando com a diminuição da temperatura das leiras, conseqüentemente aumentando o tempo na obtenção de composto (do início das atividades até a utilização final do produto o processo ocorreu entre 6 e 7 meses). Em nossa pesquisa, uma cama de gravetos formou a base das leiras para melhor aeração destas, acreditamos que este seria um dos fatores que acelerou a obtenção de produtos de compostagem (cerca de 80 dias de processo).

#### 5.4 Análise de custo

No Quadro 2 é exibido o custo para execução da compostagem no Pátio Piloto da Uniso. A elaboração da análise de custo foi feita em parceria com a professora mestra Jacira Lima da Graça.

**Quadro 2 -Custo para execução da compostagem**

| Custo de compostagem de uma leira até o final da produção dos 3 produtos (3 meses) (R\$) |          |
|--|----------|
| Insumos  | 11,07    |
| Mão-de-obra  | 159,81   |
| Profissional especializado   | 1.032,87 |

|                          |                 |
|--------------------------|-----------------|
| Equipamentos de proteção | 50,70           |
| Gastos com veículo       | 6,03            |
| Depreciação ativos       | 32,39           |
| <b>Total</b>             | <b>1.292,87</b> |

Fonte: Elaboração própria

De acordo com a análise de custos encontrada no Quadro 3, onde foram considerados os insumos utilizados para produção das leiras, as mãos de obras, os equipamentos de proteção individual, gastos com veículo para o transporte dos resíduos e a depreciação dos ativos, o pátio piloto de compostagem se mostra viável, uma vez que após o início deste presente trabalho não foram adquiridos através de compra os adubos químicos anteriormente utilizados para a adubação dos plantios e jardins da Universidade de Sorocaba Professor Aldo Vannucchi. Assim como, houve diminuição dos números de caçambas e transporte para os resíduos gerados no local, sendo que em três meses foram 64.800 L (64,8 m<sup>3</sup>) de resíduos destinados ao processo de compostagem que equivalem a 54 caçambas de 1,2 m<sup>3</sup> cada.

O presente trabalho aponta através das investigações realizadas para a economia visada, a redução de gastos e um pequeno passo para a resolução dos problemas ambientais tais como poluição do solo, água e diminuição da vida útil dos aterros sanitários em consequência dos descartes inadequados de resíduos ora estudados.

## 5.5 GreenMetric

A Uniso aderiu ao GreenMetric em 2020 e desde então vem se classificando melhor no *ranking* a cada ano (Tabela 11). Onde destacamos que o critério 'Resíduos' conta com seis indicadores (sendo 300 a pontuação máxima de cada indicador) que podem totalizar 1800 pontos, nomeadamente, WS1 - Programa 3R (Reduzir, Reutilizar, Reciclar) para resíduos universitários; WS2 - Programa para redução do uso de papel e plástico no campus; WS3 - Tratamento de resíduos orgânicos; WS4 - Tratamento de resíduos inorgânicos; WS5 - Tratamento de resíduos tóxicos; e WS6 Eliminação de esgoto.

**Tabela 11 - Classificação da Universidade de Sorocaba no *UI GreenMetric World University Ranking***

| Ano  | Rank | Pontuação total | Configuração e infraestrutura | Energia e Mudanças Climáticas | Resíduos   | Água | Transporte | Educação e pesquisa |
|------|------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|------|------------|---------------------|
| 2020 | 657  | 4250            | 1075                          | 950                           | <b>600</b> | 400  | 850        | 375                 |
| 2021 | 581  | 5075            | 925                           | 975                           | <b>675</b> | 650  | 1100       | 750                 |

|      |     |      |      |      |             |     |      |      |
|------|-----|------|------|------|-------------|-----|------|------|
| 2022 | 412 | 6460 | 985  | 1325 | <b>975</b>  | 750 | 1300 | 1125 |
| 2023 | 336 | 7100 | 1075 | 1375 | <b>1125</b> | 800 | 1400 | 1325 |

---

Fonte: UI GREENMETRIC (2020, 2021, 2022, 2023b)

O tratamento de parte dos resíduos sólidos produzidos no campus da Uniso teve início em 2022, desta forma contribuiu com o indicador WS3 que teve a pontuação elevada de 675 para 975 correspondentes aos anos 2021 e 2022 (Tabela 11).

## 6 CONCLUSÃO

Um pátio de compostagem piloto foi implementado na Universidade de Sorocaba (SP-Brasil), provando a viabilidade técnica e econômica de dar destino adequado à parte dos resíduos sólidos gerados no Câmpus Cidade Universitária Prof. Aldo Vannucchi. Apesar do tempo e temperaturas de compostagem serem semelhantes entre os três diferentes tipos de leiras (especificamente, sem impermeabilização de solo e com impermeabilização utilizando lona ou alvenaria), as leiras com estrutura em alvenaria apresentaram vantagem em relação a captação do biofertilizante líquido (chorume). A compostagem de resíduo sólido orgânico pôde gerar três produtos — nomeadamente, biofertilizante sólido, biofertilizante líquido e matéria para forração — nas leiras de compostagem construídas em alvenaria com sistema de drenagem. Para a compostagem, é preciso saber a relação C/N dos resíduos utilizados, pois isso define o processo em si. O produto deve apresentar uma relação C/N próximo a 10/1 ao final do processo de compostagem. Na manutenção do teor de umidade nas leiras, não foi necessária a rega com água devido ao processo liberar a água presente no material submetido à compostagem. Na prática, o estabelecimento da periodicidade da aeração das leiras se mostrou como um fator importante para promover o processo de compostagem. A baixa frequência dos revolvimentos realizados para a manutenção da oxigenação do meio foi suficiente para manter a temperatura e umidade ideal para a microbiota até a fase de maturação do composto. O presente trabalho aponta através das investigações realizadas para a economia visada, a redução de gastos e um pequeno passo para a resolução dos problemas ambientais. Mais investigações são necessárias para escalonar, tanto para menos como para mais, o processo desenvolvido no presente trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 13591:1996 Compostagem - Terminologia. Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 1996.
- ALIGLERI, L.; LOPES, C. S. D. Logística Reversa de embalagens de pós-consumo: análise crítica interdisciplinar das intenções empresariais propostas no Termo de Compromisso do Recircula para cumprir a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista Brasileira de Políticas Públicas**, v. 12, n. 1, p. 319–345, 2 maio 2022.
- ALMEIDA, R. S. DE et al. Desenvolvimento Sustentável no Brasil e o desafio da implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e39211225446, 2022.
- ALVES DE SOUZA, L. et al. Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 212, p. 194–212, 2020.
- ANGELOV, I.; BESCHKOV, V. Optimization of biogas production from lignocellulosic materials by different methods of substrate treatment. **Bulgarian Chemical Communications**, v. 50, p. 25–28, 2018.
- ARAÚJO, C. C. DE O.; CERQUEIRA, G. S.; CARNEIRO, C. E. A. Prospecção tecnológica para processos de compostagem de resíduos orgânicos. **Cadernos de Prospecção**, v. 13, n. 4, p. 1177–1187, 12 jul. 2020.
- BARREIRA, L. P.; PHILIPPI JUNIOR, A.; RODRIGUES, M. S. Usinas de compostagem do Estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 385–393, 2006.
- BERNAL, R. S. et al. Análisis de mezclas de residuos sólidos orgánicos empleadas en la fabricación de ladrillos ecológicos no estructurales. **Revista de Ciencias Ambientales**, v. 53, n. 1, p. 22, 12 dez. 2018.
- BONJARDIM, E. C.; PEREIRA, R. D. S.; GUARDABASSIO, E. V. Análise bibliométrica das publicações em quatro eventos científicos sobre gestão de resíduos sólidos urbanos a partir da Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei nº 12.305/2010. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 46, 31 ago. 2018.
- BRASIL. **Compostagem familiar**. 1. ed. Brasília: Funasa, 2009. v. 1
- BRASIL. **Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010: Institui a política nacional de resíduos sólidos; altera a Lei Nº 605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União (DOU)**, 2010. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm)>. Acesso em: 23 jun. 2022
- BRASIL. **Decreto Nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022: Regulamenta a Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União (DOU)**, 2022. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2022/decreto/d10936.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d10936.htm)>. Acesso em: 23 jun. 2022
- BRASIL. MMA. **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2017.
- BUENO, A. V. I. et al. Método de obtenção de matéria seca e composição química de volumosos. **Ciência Animal Brasileira**, v. 18, n. 0, p. e44913-, 4 dez. 2017.
- CARMO, D. L. DO; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1211–1220, ago. 2012.
- CASTILHOS JUNIOR, A. B. **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003. v. 1

- CRISÓSTOMO, L. H. DA S. DE O. ; M. C. DE M. C. ; W. DO C. L. K. DE O. R. L. A. Processo de compostagem de resíduos orgânicos da agroindústria para produção de substratos agrícolas. n. February 2015, 2008.
- CRIVELARO, A. L. R.; MOREIRA, M. A. C.; SILVA, J. A. F. Gestão de resíduos sólidos e compostagem orgânica: Estudo de caso para escolha de tecnologia de processo em Macaé, Brasil. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamago**, v. 12, n. 1, p. 89–110, 20 jul. 2018.
- CUNHA, W. T. Compostagem na Prática da Agricultura Familiar. **+E: Revista de Extensão Universitaria**, v. 8, n. 9, p. 230–239, 2018.
- CUNHA-QUEDA, A. C. F. et al. Estudo da evolução da actividades enzimáticas durante a compostagem de resíduos provenientes de mercados horto-frutícolas. **Anais do Instituto Superior de Agronomia de Portugal**, v. 49, p. 193–208, 23 jun. 2003.
- ELIAS, M.; OZIEL, V. **Transferência tecnológica do projeto de coleta seletiva e compostagem de resíduos orgânicos da UFSC para a UFGD**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 7 jul. 2014.
- FEPAM. **Diretriz Técnica N° 007/2021 - Dirtec - Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos**. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler - RS (Fepam), 2021. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/licenciamento/area4/17.asp>>. Acesso em: 22 set. 2022
- FETTI, G. L. R. **Avaliação do efeito da inoculação de fungos termofílicos em pilhas de compostagem de lixo urbano**. Dissertação (mestrado)—[s.l.] Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, 2014.
- FGV. **Arroz e feijão estão entre os alimentos mais desperdiçados no Brasil**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/37697781/arroz-e-feijao-estao-entre-os-alimentos-mais-desperdicados-no-brasil?link=agencia>>. Acesso em: 5 dez. 2023.
- GEORGE LUCAS RODRIGUES FETTI. Avaliação do efeito da inoculação de fungos termofílicos em pilhas de compostagem de lixo urbano. p. 66, 2014.
- GODECKE, M. V. Estudo das alternativas de valorização econômica para a sustentabilidade da gestão de resíduos urbanos no Brasil. **Interagir: pensando a extensão**, v. 0, n. 15, p. 186, 2010.
- GOLDEMBERG, J.; PALETTA, F. C. **Energias Renováveis**. 1. ed. São Paulo: Bunker, 2012. v. 1
- GONÇALVES-DIAS, S. L. F. Consumo & resíduos: Duas faces da mesma moeda. **GV-executivo**, v. 14, n. 1, p. 38–41, 4 maio 2015.
- GORGATI, C. Q. **Resíduos sólidos urbanos em área de proteção aos mananciais - município de São Lourenço da Serra - SP: compostagem e impacto ambiental**. Tese (doutorado)—Botucatu: Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2 ago. 2001.
- HEBER, F.; SILVA, E. M. DA. Institucionalização da Política Nacional de Resíduos Sólidos: dilemas e constrangimentos na Região Metropolitana de Aracaju (SE). **Revista de Administração Pública**, v. 48, n. 4, p. 913–937, ago. 2014.
- HECK, K. et al. Evaluation of degradation temperature of compounds in a composting process and microbiological quality of the compost. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 54–59, 2013.
- HORTA, E. F.; CASTRO, M. C. A. A. SUBSÍDIOS PARA ELABORAÇÃO DE PLANO MUNICIPAL PARA GESTÃO DA FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES PARA O MUNICÍPIO DE RIO CLARO-SP. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 19, n. 2, p. 22, 1 jul. 2016.

- IBAMA. **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei nº 12.305/2010**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/residuos/controle-de-residuos/politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs>>. Acesso em: 20 set. 2022.
- IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=res%C3%ADduo>>. Acesso em: 21 set. 2022.
- INÁCIO, C. DE T.; MILLER, P. R. M. Compostagem. p. 282, 2009a.
- INÁCIO, C.; MILLER, P. **Compostagem: ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. 1. ed. [s.l.] Embrapa, 2009b. v. 1
- INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem: ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009c. v. 1
- ISMAEL, L. L. et al. Avaliação de composteiras para reciclagem de resíduos orgânicos em pequena escala. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 4, p. 28–39, 2013a.
- ISMAEL, L. L. et al. Evaluation of composting bins for small-scale recycling of organic wastes. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 4, p. 28–39, 2013b.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. 1. ed. Piracicaba: Agronômica Ceres Ltda., 1985b. v. 1
- LICON, C. Proximate and Other Chemical Analyses. Em: MCSWEENEY, P. L. H.; MCNAMARA, J. P. (Eds.). **Encyclopedia of Dairy Sciences**. 30. ed. [s.l.] Elsevier, 2022. v. 2p. 521–529.
- MAHAPATRA, S.; ALI, MD. H.; SAMAL, K. Assessment of compost maturity-stability indices and recent development of composting bin. **Energy Nexus**, v. 6, p. 100062, jun. 2022.
- MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N. DE P.; VALLE, T. F. Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Administração Pública**, v. 52, n. 1, p. 24–51, 21 jan. 2018.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. DE. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.
- MARQUES VILELA, D.; LOPES PIESANTI, J. Gerenciamento De Resíduos Sólidos Orgânicos Da Ufgd Por Meio Da Compostagem. **Rev. Ciênc. Ext**, v. 11, p. 28–39, 2015.
- MASSUKADO, L. M. et al. Diagnóstico da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil: Uma análise pós PNSB 2008 - ênfase na destinação final e nos resíduos orgânicos. **Revista DAE**, v. 61, n. 192, p. 22–33, 2013.
- MELO, S. L. DE. ANÁLISE DO USO DE COMPOSTAGEM DOMÉSTICA EM CONJUNTOS HABITACIONAIS DE INTERESSE SOCIAL NA CIDADE DE SÃO DOMINGOS – BAHIA. p. 282, 2014.
- MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. DE O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 101–110, fev. 2008.
- MENDONÇA, H. V.; OTENIO, M. H.; PAULA, V. R. Anaerobic digestion for the production of renewable energy. **Revista em Agronegocio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 3, p. 793–805, 2021.
- MISRA, R. V.; ROY, R. N.; HIRAOKA, H. **On-farm composting methods**. 1. ed. Rome, Italy: UN-FAO, 2003. v. 2
- MORAIS, C. A. S.; FIORE, F. A.; ESPOSITO, E. Influence of the use of acclimatized inoculum in the composting process. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 27, n. 3, p. 499–510, 2022.

- MPE-PR. **Nota técnica: Compostagem de resíduos sólidos urbanos**. Disponível em: <[https://www.mpma.mp.br/arquivos/ESMP/Nota\\_Tecnica\\_-\\_Compostagem.pdf](https://www.mpma.mp.br/arquivos/ESMP/Nota_Tecnica_-_Compostagem.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2022a.
- MPE-PR. **Nota técnica: Compostagem de resíduos sólidos urbanos**. Disponível em: <[https://www.mpma.mp.br/arquivos/ESMP/Nota\\_Tecnica\\_-\\_Compostagem.pdf](https://www.mpma.mp.br/arquivos/ESMP/Nota_Tecnica_-_Compostagem.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2022b.
- NAIME, R. **Resíduos de podas e limpeza urbana**. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2012/05/17/residuos-de-podas-e-limpeza-urbana-artigo-de-roberto-naime/>>. Acesso em: 18 out. 2022.
- NOVAIS, T. D. M. F. EXECUÇÃO DE UM PÁTIO DE COMPOSTAGEM EM SOLOCIMENTO ANÁLISES DE SUAS PROPRIEDADES E INFLUÊNCIA NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM. **Phys. Rev. E**, p. 24, 2011.
- OLIVEIRA, J. C. F. DE et al. Gestão de resíduos orgânicos e viabilidade financeira: um estudo de caso. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e49010212870, 2021a.
- OLIVEIRA, J. C. F. et al. Gestão de resíduos orgânicos e viabilidade financeira: um estudo de caso. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e49010212870, 25 fev. 2021b.
- OLIVEIRA, N. S.; LIMA, H. J. M.; CAJAZEIRA, J. P. Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos. **Embrapa Agroindústria Tropical**, n. 89, p. 1–17, 2004.
- OLIVEIRA, P. D. C. **Compostagem de resíduos agroindustriais em leiras com diferentes fontes de carbono**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)—Campo Mourão: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 12 fev. 2015.
- PAES, M. X.; BELLEZONI, R. A.; OLIVEIRA, J. A. P. **Manual prático para inovação em gestão dos resíduos sólidos urbanos**. 1. ed. São Paulo: FGV EAESP, 2021. v. 1
- PAIVA, E. C. R. et al. Avaliação da compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e de leiras estáticas aeradas. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 5, p. 961–970, 2012.
- PAULA, L. G. A.; CEZAR, V. R. S. Compostagem de resíduos orgânicos da área verde do campus Marechal Deodoro – IFAL em função do número de revolvimentos. **Engenharia Ambiental: pesquisa e tecnologia**, v. 8, n. 4, p. 155–163, 2011a.
- PAULA, L. G. A.; CEZAR, V. R. S. Compostagem de resíduos orgânicos da área verde do campus Marechal Deodoro – IFAL em função do número de revolvimentos. **Engenharia Ambiental: pesquisa e tecnologia**, v. 8, n. 4, p. 155–163, 2011b.
- PAVI, S. et al. Biogas production from co-digestion of organic fraction of municipal solid waste and fruit and vegetable waste. **Bioresource technology**, v. 228, p. 362–367, mar. 2017.
- PEDROSA, T. D. et al. Monitoramento dos Parâmetros Físico-Químicos na Compostagem de Resíduos Agroindustriais. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 44–48, 30 nov. 2013.
- PEREIRA NETO, J. T. **Manual de Compostagem**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2007. v. 1
- PEREIRA, R. A. et al. Maturação de compostos orgânicos de resíduos agroindustriais Maturation of organic compounds from agro-industrial residues. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, p. 264–268, 2013.
- ROBERTO, A. et al. COMPOSTAGEM DE LIXO ORGÂNICO DA FACULDADE CIÊNCIAS DA VIDA. p. 1–5, 2002.
- ROCHA, E. A. et al. Compostagem dos resíduos sólidos orgânicos de restaurante por leiras estáticas aeradas. **Sustentare**, v. 4, n. 1, 2020.

- SILVA, A. S. Avaliação do processo de compostagem com diferentes proporções de resíduos de limpeza urbana e restos de alimentos. p. 48, 2016.
- SILVA, C. V.; SILVA, L. B. E. A participação de movimentos sociais na problemática da gestão dos resíduos orgânicos em Belo Horizonte – MG. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 65, 29 maio 2020.
- SILVA, G. V. et al. Política Nacional de Resíduos Sólidos e sua implementação no município de rio Pomba/MG. **HOLOS**, v. 1, p. 202, 15 fev. 2016.
- SILVA, T. C. et al. Biogas production using biomass from tree branches and sewage sludge in the municipality of Recife (PE). **Revista em Agronegocio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 1, p. 217–228, 2021a.
- SILVA, T. C. et al. Produção de biogás utilizando biomassa de poda e lodo de esgoto no Município de Recife (PE). **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 1, p. e007840, 31 jan. 2021b.
- SNIS. **Diagnóstico Temático: Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - Infraestrutura**. SET/2022 ed. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional - Secretaria Nacional de Saneamento, 2022. v. 1
- SOARES, L. M. et al. Avaliação De Diferentes Técnicas De Compostagem Para Aproveitamento De Resíduos Orgânicos No Ifba Campus De Salvador: Uma Abordagem Multi-Critérios. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 74, 2018.
- SOUZA, L. A. et al. Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n. 3, p. 194–212, 2020.
- SOUZA, L. A.; CARMO, D. F.; SILVA, F. C. Uso de microrganismos eficazes em compostagem de resíduos sólidos orgânicos de feira e restaurante. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, v. 2, n. 2, p. 42–54, 2019.
- STEFANUTTI, R. **III-198-COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DE ALIMENTOS E PODAS DE ÁRVORES TRITURADAS EM LEIRAS ESTÁTICAS COM AERAÇÃO PASSIVA COM REDUÇÃO DE GEE**. [s.l: s.n.].
- TEIXEIRA, D. L.; MATOS, A. T. DE; MELO, E. D. C. ALTERAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO MATERIAL ORGÂNICO SUBMETIDO AO PROCESSO DE COMPOSTAGEM. **REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA - REVENG**, v. 24, n. 1, p. 41–49, 4 maio 2016.
- TEIXEIRA, L. B. et al. Processo de compostagem, a partir de lixo orgânico urbano, em leira estática com ventilação natural. **Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento.**, v. 33, 2004.
- UI GREENMETRIC. **UI GreenMetric World University Ranking 2020**. Disponível em: <<https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2020>>. Acesso em: 27 fev. 2024.
- UI GREENMETRIC. **UI GreenMetric World University Ranking 2021**. Disponível em: <<https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2021>>. Acesso em: 27 fev. 2024.
- UI GREENMETRIC. **UI GreenMetric World University Ranking 2022**. Disponível em: <<https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2022>>. Acesso em: 27 fev. 2024.
- UI GREENMETRIC. **UI GreenMetric Guidelines 2023**. 13. ed. Baru: Universitas Indonesia, 2023a. v. 1
- UI GREENMETRIC. **UI GreenMetric World University Ranking 2023**. Disponível em: <<https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2023>>. Acesso em: 27 fev. 2024b.

- VALENTE, B.S.1, 3 et al. **Study of the social network's impact on college students purchasing behavior**. 7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM 2011. **Anais...2011**.
- VAN DER WURFF, A. W. G. et al. **Handbook for composting and compost use in organic horticulture**. 1. ed. Netherlands: BioGreenhouse, 2016. v. 1
- VERAS, R. N. DOS S. et al. Desempenho da alface Vanda em relação ao uso de adubo químico e composto orgânico. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 1, p. e3581618, 2019.
- VERAS, R. S. **UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CENTRO DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL (RECURSOS HÍDRICOS) ROANI SIMÕES VERAS COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DE ALIMENTOS E PODAS TRITURADAS DE ÁRVORES EM LEIRAS ESTÁTICAS COMO MECANISMO DE REDUÇÃO DE GEE FORTALEZA 2018**. [s.l: s.n.].
- VILELA, N. M. S. **COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE COMPOSTAGEM POR LEIRAS ESTÁTICAS AERADAS E POR REVIRAMENTO NO TRATAMENTO DA FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**. [s.l: s.n.].
- ZAGÓ, V. C. P.; BARROS, R. T. DE V. Management of solid organic waste in brazil: From legal ordinance to reality. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 219–228, 2019.

## ANEXO A – RESUMO EXPANDIDO EM CONGRESSO INTERNACIONAL

**SEVEN**  
publicações acadêmicas

**DECLARAÇÃO DE PUBLICAÇÃO**

A Seven Publicações Ltda., registrada sob o CNPJ 43.789.355/0001-04 em parceria com o IEMS - Polo Itupeva - Uniasselvi, declara que o artigo “**PÁTIO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS EM ESCALA PILOTO: UM ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA**” foi publicado no **V SEVEN INTERNATIONAL MULTIDISCIPLINARY CONGRESS**.

**Registro de ISBN: 978-65-6109-007-0**

*Autores que fizeram a composição da obra:* Vanderson Urbaiti Gimenez, Jacira Lima da Graça, Maria Aparecida Lopes da Costa, Dawilson Menna Junior, José Martins de Oliveira Júnior, Valquíria Miwa Hanai-Yoshida..

*Link da publicação:* <https://sevenpublicacoes.com.br/index.php/anais7/article/view/3904>

*DOI:* <https://doi.org/10.56238/sevenVmulti2024-054>

Em verdade, assino esta declaração.

São José dos Pinhais, Brasil

28 de março, 2024.



Nathan Albano Valente  
Organizador do evento

EM PARCERIA COM:

POLO ITUPEVA  
**IEMS**  
Instituto Educacional Marilí Siqueira

  
**UNIASSELVI**  
GRADUAÇÃO E PÓS  
POLO ITUPEVA

## ANEXO B – ARTIGO PUBLICADO NA REVISTA RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT

Research, Society and Development, v. 13, n. 3, e1113345195, 2024  
(CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v13i3.45195>

### Compostagem em escala piloto para resíduos sólidos orgânicos gerando biofertilizantes sólidos e líquidos e material de forração

Pilot-scale composting for organic solid waste generating solid and liquid biofertilizers and bedding material

Compostaje a escala piloto de residuos sólidos orgánicos generando biofertilizantes sólidos y líquidos y material de cama

Recebido: 24/03/2024 | Revisado: 05/03/2024 | Aceitado: 04/03/2024 | Publicado: 07/03/2024

**Vanderson Urbaiti Gimenez**  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6084-7780>  
Universidade de Sorocaba, Brasil  
E-mail: [vanderson.gimenez@uniso.br](mailto:vanderson.gimenez@uniso.br)

**Jacira Lima da Graça**  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6811-6297>  
Universidade de Sorocaba, Brasil  
E-mail: [jacira.graca@prof.uniso.br](mailto:jacira.graca@prof.uniso.br)

**Maria Aparecida Lopes da Costa**  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5808-0821>  
Universidade de Sorocaba, Brasil  
E-mail: [maria.costa@prof.uniso.br](mailto:maria.costa@prof.uniso.br)

**Davilson Menna Junior**  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4064-3581>  
Fundação Dom Agostinho, Brasil  
E-mail: [davilson.menna@fda.com.br](mailto:davilson.menna@fda.com.br)

**José Martins de Oliveira Júnior**  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6435-1988>  
Universidade de Sorocaba, Brasil  
E-mail: [jose.oliveira@prof.uniso.br](mailto:jose.oliveira@prof.uniso.br)

**Valquíria Mírcia Hanni-Yoshida**  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2022-4482>  
Universidade de Sorocaba, Brasil  
E-mail: [valquiria.yoshida@prof.uniso.br](mailto:valquiria.yoshida@prof.uniso.br)

#### Resumo

O objetivo desta investigação foi desenvolver e executar um projeto, em escala piloto, de um pátio de compostagem de resíduos sólidos orgânicos. Para tanto, três tipos de leiras de compostagem (n=3) — especificamente, sem impermeabilização de solo e com impermeabilização com lama ou alvenaria — foram construídas e resíduos sólidos domiciliares úmidos (RSDU) e resíduos públicos (RPU) foram nelas dispostos. Os dados obtidos para a umidade, nitrogênio e carbono orgânico total (COT) foram de 48±3% e 89±3%; 1,01±0,05% e 0,93±0,04%; e 52,8±0,5% e 45,3±4,7% para RSDU e RPU, respectivamente. Os valores da temperatura central nas pilhas foram semelhantes nos diferentes tempos de amostragem. Um pátio piloto de compostagem foi implantado na Universidade de Sorocaba, comprovando a viabilidade de dar destinação adequada a parte dos resíduos sólidos gerados no Campus. Apesar do tempo e da temperatura de compostagem serem semelhantes nos três tipos de leiras, as leiras com estrutura em alvenaria apresentaram vantagem quanto à captação de biofertilizante líquido. Na manutenção do teor de umidade nas leiras, a rega com água foi desnecessária devido às temperaturas do processo de compostagem promoverem a liberação da água dos resíduos. Na prática, estabelecer a periodicidade da aeração das leiras mostrou-se essencial na promoção do processo de compostagem. Além disso, observou-se que mesmo a baixa frequência das trocas realizadas para manter a oxigenação de meio foi suficiente para manter a temperatura e a umidade ideais para a microbiota até a fase de maturação do composto.

**Palavras-chave:** Compostagem; Resíduos sólidos; Política nacional do meio ambiente.

#### Abstract

This investigation aimed to develop and execute a pilot-scale project for an organic solid waste composting yard. To this end, three types of composting windrows (n=3) — specifically, without soil waterproofing and with waterproofing with curbs or masonry — were constructed, and wet household solid waste (RSDU) and public waste (RPU) were disposed of in them. The humidity, nitrogen, and TOC data were 48±3% and 89±3%; 0.93±0.04% and 1.01±0.05%; and 45.3±4.7% and 52.8±0.04% for RSDU and RPU, respectively. The core temperature values in the

APÊNDICE A – DEMONSTRAÇÃO DOS CÁLCULO PARA DETERMINAÇÃO DE UMIDADE NOS RESÍDUOS SÓLIDOS BRUTOS – RPU E RR

Cálculo de umidade da amostra 1 do Resíduo Público Urbano (RPU)

$$Umidade = \frac{(3,2182 - 1,6985)}{3,2182} \times 100$$

$$Umidade \% = 47,22$$

Cálculo de umidade da amostra 2 do Resíduo Público Urbano (RPU)

$$Umidade = \frac{(2,8506 - 1,537)}{2,8506} \times 100$$

$$Umidade \% = 46,08$$

Cálculo de umidade da amostra 3 do Resíduo Público Urbano (RPU)

$$Umidade = \frac{(2,4359 - 1,1751)}{2,4359} \times 100$$

$$Umidade \% = 51,75$$

Cálculo de umidade da amostra 4 do Resíduo de Restaurante (RR)

$$Umidade = \frac{(2,4881 - 0,2326)}{2,4881} \times 100$$

$$Umidade \% = 90,65$$

Cálculo de umidade da amostra 5 do Resíduo de Restaurante (RR)

$$Umidade = \frac{(2,5464 - 0,245)}{2,5464} \times 100$$

$$Umidade \% = 90,37$$

Cálculo de umidade da amostra 6 do Resíduo de Restaurante (RR)

$$Umidade = \frac{(2,407 - 0,3251)}{2,407} \times 100$$

$$Umidade \% = 86,4$$

APÊNDICE B – DEMONSTRAÇÃO DOS CÁLCULO PARA DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DE MASSA SECA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS BRUTOS – RPU E RR

Cálculo da massa seca da amostra 1 do Resíduo Público Urbano (RPU)

$$\text{Massa seca \%} = 100 - 47,22$$

$$\text{Massa seca \%} = 52,78$$

Cálculo da massa seca da amostra 2 do Resíduo Público Urbano (RPU)

$$\text{Massa seca \%} = 100 - 46,08$$

$$\text{Massa seca \%} = 53,92$$

Cálculo da massa seca da amostra 3 do Resíduo Público Urbano (RPU)

$$\text{Massa seca \%} = 100 - 51,75$$

$$\text{Massa seca \%} = 48,25$$

Cálculo da massa seca da amostra 4 do Resíduo de Restaurante (RR)

$$\text{Massa seca \%} = 100 - 90,65$$

$$\text{Massa seca \%} = 9,35$$

Cálculo da massa seca da amostra 5 do Resíduo de Restaurante (RR)

$$\text{Massa seca \%} = 100 - 90,37$$

$$\text{Massa seca \%} = 9,63$$

Cálculo da massa seca da amostra 6 do Resíduo de Restaurante (RR)

$$\text{Massa seca \%} = 100 - 86,49$$

$$\text{Massa seca \%} = 13,51$$

## APÊNDICE C – DADOS BRUTOS DA ANÁLISE ELEMENTAR DAS AMOSTRAS PELO MÉTODO CHNS

6/29/2023 11:06:40  
 Metodo-CHNS-22-06-  
 23  
 metodo-CHNS-22-06-  
 2023.mth

| Sample name | Filename    | Inj Date   | Inj Time | Type  | Weight (mg) | Humidity % | Nitrogen    | Carbon      | Hydrogen    | Sulphur     |
|-------------|-------------|------------|----------|-------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| L21-1       | L21-1       | 06/27/2023 | 16:22    | K     | 2.88        | 0          | 2,325632095 | 29,39991951 | 3,348806381 | 0,163451716 |
| L21-2       | L21-2       | 06/27/2023 | 16:34    | K     | 2.92        | 0          | 2,129621267 | 26,80558586 | 3,097456694 | 0,146036848 |
| L21-3       | L21-3       | 06/27/2023 | 16:46    | K     | 2.37        | 0          | 2,162756205 | 27,7317009  | 3,244849682 | 0,140809611 |
| Average     |             |            |          |       |             |            |             |             |             |             |
|             | 2,206003189 | 0,104918   | 4,756    | 0,011 |             |            |             |             |             |             |
|             | 27,97906876 | 1,314738   | 4,699    | 1,728 |             |            |             |             |             |             |
|             | 3,230370919 | 0,1262988  | 3,9097   | 0,016 |             |            |             |             |             |             |
|             | 0,150099392 | 0,01185514 | 7,8982   | 0,000 |             |            |             |             |             |             |

| Sample name | Filename    | Inj Date   | Inj Time | Type  | Weight (mg) | Humidity % | Nitrogen    | Carbon      | Hydrogen    | Sulphur     |
|-------------|-------------|------------|----------|-------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| L33-1       | L33-1       | 06/27/2023 | 16:58    | K     | 2.71        | 0          | 1,624378085 | 19,06728172 | 2,48587966  | 0,110962331 |
| L33-2       | L33-2       | 06/27/2023 | 17:11    | K     | 2.07        | 0          | 1,531673312 | 18,56051636 | 2,528504133 | 0,089699149 |
| L33-3       | L33-3       | 06/27/2023 | 17:23    | K     | 2.81        | 0          | 1,708828807 | 20,26159859 | 2,578660011 | 0,105384447 |
| Average     |             |            |          |       |             |            |             |             |             |             |
|             | 1,621626735 | 0,08860979 | 5,4643   | 0,007 |             |            |             |             |             |             |
|             | 19,29646556 | 0,8733923  | 4,5262   | 0,762 |             |            |             |             |             |             |
|             | 2,531014601 | 0,04644109 | 1,8349   | 0,002 |             |            |             |             |             |             |
|             | 0,102015309 | 0,0110247  | 10,8069  | 0,000 |             |            |             |             |             |             |

| Sample name | Filename    | Inj Date    | Inj Time | Type  | Weight (mg) | Humidity % | Nitrogen    | Carbon      | Hydrogen    | Sulphur     |
|-------------|-------------|-------------|----------|-------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| L31-1       | L31-1       | 06/27/2023  | 17:35    | K     | 2.04        | 0          | 1,826499343 | 20,95552444 | 2,782035828 | 0,10357967  |
| L31-2       | L31-2       | 06/27/2023  | 17:47    | K     | 2.18        | 0          | 1,843137741 | 21,60124016 | 2,796873331 | 0,122634456 |
| L31-3       | L31-3       | 06/27/2023  | 17:59    | K     | 2.33        | 0          | 1,83414948  | 21,32235336 | 2,700866699 | 0,11751435  |
| Average     |             |             |          |       |             |            |             |             |             |             |
|             | 1,834595521 | 0,008328162 | 0,454    | 0,000 |             |            |             |             |             |             |
|             | 21,29303932 | 0,3238544   | 1,5209   | 0,104 |             |            |             |             |             |             |
|             | 2,759925286 | 0,05168148  | 1,8726   | 0,002 |             |            |             |             |             |             |
|             | 0,114576158 | 0,009861335 | 8,6068   | 0,000 |             |            |             |             |             |             |

| Sample name | Filename | Inj Date   | Inj Time | Type | Weight (mg) | Humidity % | Nitrogen | Carbon   | Hydrogen | Sulphur  |
|-------------|----------|------------|----------|------|-------------|------------|----------|----------|----------|----------|
| L11-1       | L11-1    | 06/27/2023 | 18:11    | K    | 2.28        | 0          | 2,228188 | 29,40011 | 3,515861 | 0,161074 |
|             |          | 06/27/2023 |          | UN   |             |            | 515      | 978      | 511      | 013      |
| L11-2       | L11-2    | 06/27/2023 | 18:23    | K    | 2.37        | 0          | 2,454135 | 31,83804 | 3,712013 | 0,145668 |
|             |          | 06/27/2023 |          | UN   |             |            | 418      | 703      | 245      | 209      |
| L11-3       | L11-3    | 06/27/2023 | 18:35    | K    | 2.42        | 0          | 2,369428 | 30,42421 | 3,591019 | 0,153159 |
|             |          |            |          | UN   |             |            | 873      | 722      | 869      | 738      |

| Average     | Std. Dev. | % Rel. S. D. | Variance |
|-------------|-----------|--------------|----------|
| 2,350584269 | 0,114146  | 1            | 4,8561   |
|             |           |              | 0,013    |
|             |           |              | 1,498    |
| 30,55412801 | 1,224145  | 4,0065       | 5        |
|             | 0,098964  |              | 0,009    |
| 3,606298208 | 37        | 2,7442       | 8        |
|             | 0,007703  |              | 0,000    |
| 0,153300653 | 869       | 5,0253       | 1        |

| Sample name | Filename | Inj Date   | Inj Time | Type | Weight (mg) | Humidity % | Nitrogen | Carbon   | Hydrogen | Sulphur  |
|-------------|----------|------------|----------|------|-------------|------------|----------|----------|----------|----------|
| L12-1       | L12-1    | 06/27/2023 | 18:47    | K    | 2.27        | 0          | 2,332864 | 29,74982 | 3,634289 | 0,111868 |
|             |          | 06/27/2023 |          | UN   |             |            | 046      | 643      | 98       | 091      |
| L12-2       | L12-2    | 06/27/2023 | 18:59    | K    | 2.4         | 0          | 2,202369 | 29,22324 | 3,412270 | 0,128647 |
|             |          | 06/27/2023 |          | UN   |             |            | 69       | 562      | 546      | 566      |
| L12-3       | L12-3    | 06/27/2023 | 19:11    | K    | 2.06        | 0          | 2,408614 | 30,65737 | 3,784909 | 0,128953 |
|             |          |            |          | UN   |             |            | 159      | 534      | 487      | 502      |

| Average     | Std. Dev. | % Rel. S. D. | Variance |
|-------------|-----------|--------------|----------|
| 2,314615965 | 0,104326  | 1            | 4,5073   |
|             |           |              | 0,010    |
|             |           |              | 9        |
| 29,8768158  | 0,725449  | 3            | 2,4281   |
|             | 0,187456  |              | 0,526    |
| 3,610490004 | 1         | 5,192        | 3        |
|             | 0,009777  |              | 0,035    |
| 0,123156386 | 147       | 7,9388       | 1        |
|             |           |              | 0,000    |

| Sample name | Filename | Inj Date   | Inj Time | Type | Weight (mg) | Humidity % | Nitrogen | Carbon   | Hydrogen | Sulphur  |
|-------------|----------|------------|----------|------|-------------|------------|----------|----------|----------|----------|
| L13-1       | L13-1    | 06/27/2023 | 19:23    | K    | 2.25        | 0          | 2,400243 | 30,63364 | 3,591422 | 0,129641 |
|             |          | 06/27/2023 |          | UN   |             |            | 282      | 983      | 319      | 876      |
| L13-2       | L13-2    | 06/27/2023 | 19:36    | K    | 2.59        | 0          | 2,384035 | 30,74102 | 3,552958 | 0,131427 |
|             |          | 06/27/2023 |          | UN   |             |            | 826      | 592      | 965      | 214      |
| L13-3       | L13-3    | 06/27/2023 | 19:48    | K    | 2.25        | 0          | 2,396960 | 30,71491 | 3,702499 | 0,146672 |
|             |          |            |          | UN   |             |            | 02       | 432      | 151      | 979      |

| Average     | Std. Dev. | % Rel. S. D. | Variance |
|-------------|-----------|--------------|----------|
| 2,393746376 | 0,008568  | 316          | 0,3579   |
|             |           |              | 0,000    |
|             |           |              | 1        |
| 30,69653002 | 0,055999  | 0,1824       | 0,003    |
|             | 0,077652  |              | 1        |
| 3,615626812 | 81        | 2,1477       | 0,006    |
|             | 0,009360  |              | 0,000    |
| 0,135914023 | 193       | 6,8868       | 1        |

| Sample name | Filename | Inj Date   | Inj Time | Type | Weight (mg) | Humidity % | Nitrogen | Carbon   | Hydrogen | Sulphur  |
|-------------|----------|------------|----------|------|-------------|------------|----------|----------|----------|----------|
| L32-1       | L32-1    | 06/27/2023 | 20:00    | K    | 2.64        | 0          | 1,497159 | 17,13864 | 2,301050 | 0,078751 |
|             |          | 06/27/2023 |          | UN   |             |            | 004      | 899      | 425      | 773      |
| L32-2       | L32-2    | 06/27/2023 | 20:12    | K    | 2.45        | 0          | 1,559636 | 17,84709 | 2,348590 | 0,071211 |
|             |          | 06/27/2023 |          | UN   |             |            | 593      | 167      | 374      | 882      |
| L32-3       | L32-3    | 06/27/2023 | 20:24    | K    | 2.18        | 0          | 1,506181 | 16,74484 | 2,318473 |          |
|             |          |            |          | UN   |             |            | 479      | 634      | 101      | 0        |

| Average     | Std. Dev. | % Rel. S. D. | Variance |
|-------------|-----------|--------------|----------|
| 1,520992359 | 0,033769  | 2,2202       | 0,001    |
| 17,243529   | 0,558557  | 3,2392       | 0,312    |
| 2,322704633 | 0,024050  | 1,0355       | 0,000    |
| 0,049987885 | 0,043454  | 86,9303      | 0,001    |
|             | 62        |              | 9        |

| Sample name | Filename | Inj Date | Inj Time | Type | Weight (mg) | Humidity % | Nitrogen | Carbon   | Hydrogen | Sulphur  |
|-------------|----------|----------|----------|------|-------------|------------|----------|----------|----------|----------|
| L22-1       | L22-1    | 06/27/20 | 20:36    | UN   | 2.87        | 0          | 2,117030 | 26,31324 | 3,143827 | 0,089615 |
| L22-2       | L22-2    | 06/27/20 | 20:48    | UN   | 2.23        | 0          | 2,230593 | 27,64056 | 3,352317 | 0,072184 |
| L22-3       | L22-3    | 06/27/20 | 21:00    | UN   | 2           | 0          | 2,235635 | 27,47444 | 3,326991 |          |
|             |          | 23       |          | K    |             |            | 859      | 959      | 677      | 621      |
|             |          | 23       |          | K    |             |            | 92       | 969      | 572      | 831      |
|             |          | 23       |          | K    |             |            | 042      | 916      | 32       | 0        |

| Average     | Std. Dev. | % Rel. S. D. | Variance |
|-------------|-----------|--------------|----------|
| 2,19441994  | 0,067068  | 3,0563       | 0,004    |
| 27,14275614 | 0,723159  | 2,6643       | 0,523    |
| 3,274378856 | 0,113767  | 3,4745       | 0,012    |
| 0,053933484 | 0,047513  | 88,0973      | 0,002    |
|             | 93        |              | 3        |

| Sample name | Filename | Inj Date | Inj Time | Type | Weight (mg) | Humidity % | Nitrogen | Carbon   | Hydrogen | Sulphur  |
|-------------|----------|----------|----------|------|-------------|------------|----------|----------|----------|----------|
| L21-1       | L21-1    | 06/27/20 | 21:12    | UN   | 2.46        | 0          | 1,876472 | 23,28588 | 2,899359 | 0,082327 |
| L21-2       | L21-2    | 06/27/20 | 21:24    | UN   | 2.13        | 0          | 2,003435 | 23,31719 | 2,872932 |          |
| L21-3       | L21-3    | 06/27/20 | 21:36    | UN   | 2.19        | 0          | 2,072571 | 23,33240 | 2,890070 |          |
|             |          | 23       |          | K    |             |            | 831      | 295      | 226      | 15       |
|             |          | 23       |          | K    |             |            | 85       | 589      | 911      | 0        |
|             |          | 23       |          | K    |             |            | 993      | 891      | 438      | 0        |

| Average     | Std. Dev. | % Rel. S. D. | Variance |
|-------------|-----------|--------------|----------|
| 1,984160225 | 0,099460  | 5,0127       | 0,009    |
| 23,31182925 | 0,023722  | 0,1018       | 0,000    |
| 2,887454192 | 0,013406  | 0,4643       | 0,000    |
| 0,027442383 | 0,047531  | 173,205      | 0,002    |
|             | 6         | 1            | 3        |

APÊNDICE D – DEMONSTRAÇÃO DOS CÁLCULO PARA DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DE NITROGÊNIO NOS RESÍDUOS SÓLIDOS BRUTOS – RPU E RR

$$\text{Nitrogênio \%} = \frac{(VA - VB) \times N \times F \times 14,007 \times 100}{m(mg)}$$

Onde:

VA = volume de HCl gasto na titulação a amostra

VB = volume de HCl gasto na titulação do branco

N = normalidade do HCl

F = fator de correção do HCl

m = massa (mg) da amostra

**Amostra 1 RSDU**

Para uma massa da amostra 1 de RSDU de 0,0737 g, temos que:

$$\text{Nitrogênio \%} = \frac{(3,4 - 0,3) \times 0,02 \times 0,84745 \times 14,007 \times 100}{73,7(mg)}$$

$$\text{Nitrogênio \%} = 0,99$$

**Amostra 2 RSDU**

Para uma massa da amostra 2 de RSDU de 0,0748 g, temos que:

$$\text{Nitrogênio \%} = \frac{(3,7 - 0,3) \times 0,02 \times 0,84745 \times 14,007 \times 100}{74,8(mg)}$$

$$\text{Nitrogênio \%} = 1,07$$

**Amostra 3 RSDU**

Para uma massa da amostra 3 de RSDU de 0,0722 g, temos que:

$$\text{Nitrogênio \%} = \frac{(3,3 - 0,3) \times 0,02 \times 0,84745 \times 14,007 \times 100}{72,2(mg)}$$

$$\text{Nitrogênio \%} = 0,98$$

**Valores obtidos com a média das amostras do RSDU**

Para a média de massa de RSDU de 0,0735 g, temos que:

$$\text{Nitrogênio \%} = \frac{(3,47 - 0,3) \times 0,02 \times 0,84745 \times 14,007 \times 100}{73,5(mg)}$$

$$\text{Nitrogênio \%} = 1,02$$

**Amostra 1 RPU**

Para uma massa da amostra 1 de RPU de 0,0770 g, temos que:

$$\text{Nitrogênio \%} = \frac{(3,3 - 0,3) \times 0,02 \times 0,84745 \times 14,007 \times 100}{77,0(\text{mg})}$$

$$\text{Nitrogênio \%} = 0,92$$

**Amostra 2 RPU**

Para uma massa da amostra 2 de RPU de 0,0709 g, temos que:

$$\text{Nitrogênio \%} = \frac{(3,2 - 0,3) \times 0,02 \times 0,84745 \times 14,007 \times 100}{70,9(\text{mg})}$$

$$\text{Nitrogênio \%} = 0,97$$

**Amostra 3 RPU**

Para uma massa da amostra 3 de RPU de 0,0735 g, temos que:

$$\text{Nitrogênio \%} = \frac{(3,1 - 0,3) \times 0,02 \times 0,84745 \times 14,007 \times 100}{73,5(\text{mg})}$$

$$\text{Nitrogênio \%} = 0,90$$

**Valores obtidos com a média das amostras do RPU**

Para a média de massa de RPU de 0,0738 g, temos que:

$$\text{Nitrogênio \%} = \frac{(3,2 - 0,3) \times 0,02 \times 0,84745 \times 14,007 \times 100}{73,8(\text{mg})}$$

$$\text{Nitrogênio \%} = 0,93$$