



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JULIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

POTENCIAL DE COMPOSTAGEM DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS GERADOS EM ESTABELECIMENTOS DE HORTIFRUTI NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO - SP

Gabriel Alves

Prof. Dr. Marcus Cesar Avezum Alves de Castro

Rio Claro (SP)
2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

GABRIEL ALVES

**POTENCIAL DE COMPOSTAGEM DOS RESÍDUOS
ORGÂNICOS GERADOS EM ESTABELECIMENTOS DE
HORTIFRUTI NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO - SP**

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP

2024

A474p

Alves, Gabriel

Potencial de compostagem dos resíduos orgânicos gerados em estabelecimentos de hortifruti no município de Rio Claro - SP / Gabriel Alves. -- Rio Claro, 2024

71 f. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Marcus César Avezum Alves de Castro

1. Hortifrutigranjeiros. 2. Resíduos orgânicos. 3. Compostagem. 4. Parâmetros de compostagem. 5. Gerenciamento de resíduos

orgânicos.. I. Título.

GABRIEL ALVES

POTENCIAL DE COMPOSTAGEM DOS RESÍDUOS
ORGÂNICOS GERADOS EM ESTABELECIMENTOS DE
HORTIFRUTI NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO - SP

Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências
Exatas - Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de
Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Marcus Cesar Avezum Alves de Castro (orientador)

Marcos André de Oliveira

Ademir Abdala Prata Junior

Rio Claro, 27 de novembro de 2024.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que sempre estiveram ao meu lado, com minhas escolhas e decisões dentro do curso e que sempre me apoiaram. Minha mãe, sempre me dando amparo e apoio e meu pai que sempre me proporcionou o melhor para poder viver fora de casa.

Aos meus irmãos que me ajudaram em todos os momentos, com dicas e conselhos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcus César Avezum Alves de Castro, ao longo do desenvolvimento deste trabalho, me orientando e ajudando sempre que necessário, seja de forma mais rígida para sempre buscar o meu melhor, quanto com elogios.

Ao meu avô, que faleceu em 2021 e sempre fez tudo pela família, mas que não vai me ver formando.

Ao PROEC que possibilitou o desenvolvimento dessa pesquisa e trabalho dentro da universidade.

À toda equipe do RU que auxiliaram com as coletas semanais e paciência para ajudar na gestão do projeto.

À Eleni, por auxiliar no uso dos laboratórios e equipamentos no CEA, para realizar as amostras.

À toda equipe do CEA, que sempre estiveram dispostos a ajudar com o espaço e utilização do material para a compostagem

Ao Bruno da Ciclo Vida, que ajudou com todo o conhecimento sobre compostagem, gestão e transporte dos tambores do RU, para que pudéssemos realizar o projeto.

À Anita e o Leo, que estavam presentes no projeto de extensão e ajudaram em toda coleta de dados, medições, análises e gerenciamento da leira. Juntamente com elaboração de gráficos e tabelas para estudo.

A todos os meus amigos que estiveram presentes em toda minha jornada desde o começo da faculdade e aos que conheci no caminho, que são pessoas especiais e que gostaria de

compartilhar esse momento e souberam de todos os desafios, loucuras e problemas que enfrentei para me formar.

Ao Garga, que esteve comigo desde o início da graduação, morando juntos e sempre me ajudando em todos os momentos, escutando desabafos, minhas loucuras e problemas.

Ao meu grupo de amigos “Desamados”, que fizeram da graduação um período mais leve em meio a tantas loucuras e surtos, sempre arrancando risadas mesmo que estivéssemos na pior.

RESUMO

Com a crescente urbanização e, conseqüentemente, o aumento da população, a produção de resíduos sólidos é um problema enfrentado pela sociedade, constituindo uma relevante questão ambiental e social, que requer soluções sustentáveis e eficazes. A geração pelo ser humano ao longo da vida inclui resíduos orgânicos, como restos de alimentos; recicláveis e não-recicláveis, que necessitam de uma destinação correta. Este trabalho visa analisar o potencial de compostagem dos resíduos orgânicos gerados em estabelecimentos de hortifruti no município de Rio Claro – SP através de sua quantificação e práticas de gestão dos resíduos. Em paralelo foi desenvolvida a compostagem dos resíduos orgânicos provenientes do Restaurante Universitário da UNESP campus de Rio Claro, por meio do método de leiras estáticas, a fim de obter dados práticos para subsidiar a implantação do programa municipal de compostagem. As leiras foram compostas pelos resíduos orgânicos do Restaurante Universitário e poda e capina gerada no próprio campus, monitorando diariamente os parâmetros de compostagem, além de análises do teor umidade e teores de sólidos fixos e voláteis. Os resultados revelam que 60% dos estabelecimentos geram grandes volumes de resíduos orgânicos com 5112,72 l/dia e 81% separam os resíduos orgânicos e não orgânicos. A geração de resíduos orgânicos no Restaurante Universitário foi de 23,2 kg/dia, dos quais 46% são da devolução das bandejas. A temperatura durante o processo de compostagem manteve-se por aproximadamente 80 dias na fase termofílica até a fase de maturação, atingindo picos de 65°C; o pH variou minimamente, estabilizando-se entre 7 e 7,5 no composto maturado e a condutividade manteve-se abaixo dos 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como recomendado. Com a mistura de poda e capina e resíduos orgânicos do RU, o teor de umidade estabilizou-se dentro da faixa ideal (40 a 60%), com 48,1%, de acordo com padrões normativos e o teor de sólidos teve a fração de sólidos fixos em 35,8%, diminuindo conseqüentemente os sólidos voláteis, reflexo da decomposição da matéria orgânica.

Palavras chave: Hortifrutigranjeiros; resíduos orgânicos; compostagem; parâmetros de compostagem; gerenciamento de resíduos orgânicos.

ABSTRACT

The increasing urbanization and population growth, the increased generation of solid waste has become a significant environmental and social issue, requiring sustainable and effective solutions. The human generation of organic waste, such as food scraps; recyclable and non-recyclable waste requires proper disposal. This study analyzed the composting potential of organic waste generated of fruit and vegetable establishments in Rio Claro – SP, through waste quantification and management practices. Simultaneously, the composting was also conducted using of organic waste from the University Restaurant (UR) of UNESP was developed, using the static pile method. The composting piles consisted of organic waste from the restaurant combined with grass clippings generated on campus. Daily monitoring of composting parameters was conducted, along with analyses of moisture content, fixed solids, and volatile solids. The results reveal that 60% of establishments produce large volumes of organic waste, totaling 5112.72 l/day, and 81% separate organic from non-organic waste. The organic waste generation at the UR reached 23.2 kg/day, 46% of which came from leftover food on trays. The composting process maintained thermophilic temperatures for approximately 80 days, reaching peaks of 65°C, before transitioning to the maturation phase. The pH varied slightly, stabilizing between 7 and 7.5 in the mature compost, while electrical conductivity remained below 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, as recommended. The mixture of pruning and weeding with organic waste from de UR achieved a moisture content of 48.1%, within the ideal range of 40–60%, as per normative standards. Fixed solids accounted for 35.8% of the total solids content, with a corresponding decrease in volatile solids, indicating effective decomposition of organic matter.

Key-words: Fruit and vegetable establishment; organic waste; composting; composting parameters; organic waste management.

Lista de abreviaturas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

APHA - American Public Health Association

CE - Condutividade Elétrica

CEA - Centro de Estudos Ambientais

CNAE - Classificação Nacional de Atividades Econômicas

CO₂ - Dióxido de Carbono

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

H₂CO₃ - Ácido Carbônico

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

NH₃ - Amônia

NH₄⁺ - Íon Amônio

OH⁻ - Íon Hidróxido

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

RO - Resíduos Orgânicos

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

RU - Restaurante Universitário

SIMA - Secretaria De Estado De Infraestrutura E Meio Ambiente

SNIS - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento

STF - Sólidos Totais Fixos

STV - Sólidos Totais Voláteis

TU - Teor de Umidade

UDAM - União dos Amigos de Rio Claro

UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

USP - Universidade de São Paulo

Lista de Figuras

Figura 1: Curva de temperatura durante o processo de compostagem	23
Figura 2: Registros do Pré-preparo, cozinha e devolução das bandejas em sequência	30
Figura 3: Pesagem dos tambores com resíduos na balança de plataforma	30
Figura 4: Pátio de compostagem, situada próxima ao CEA	31
Figura 5: Impermeabilização do solo com manta plástica para montagem da leira	32
Figura 6: Coleta de percolado	32
Figura 7: Montagem da leira com resíduos do RU e poda e capina	33
Figura 8: Revolvimento da leira	33
Figura 9: Pontos de monitoramento da leira	34
Figura 10: Termômetro Para Compostagem/Solo Haste 50 Cm 0 A 120 Graus	35
Figura 11: Medidor de pH Direto no Solo Groline Hanna HM	35
Figura 12: Medidor de condutividade e temperatura no solo Hanna HM	36
Figura 13A: Balança de precisão	37
Figura 13B: Estufa	37
Figura 13C: Mufla	37
Figura 13D: Dessecador	37
Figura 14: Amostra coletada para cálculo	38
Figura 15: Espacialização dos estabelecimentos de grande porte na malha urbana do município de Rio Claro	40
Figura 16: Espacialização dos estabelecimentos de médio porte na malha urbana do município de Rio Claro	41

Figura 17: Espacialização dos estabelecimentos de pequeno porte na malha urbana do município de Rio Claro	41
Figura 18: Temperatura estabilizada no final do processo após adição de água, indicando estabilização do composto	46
Figura 19: Larvas presentes no processo de compostagem	49

Lista de Tabelas

Tabela 1: Quantidade de resíduos gerados em cada setor do restaurante universitário	43
Tabela 2: Quantidade diária de resíduos gerados em cada setor de coleta na primeira semana	43
Tabela 3: Média diária de resíduos gerados por refeição (g/refeição) em cada categoria na primeira semana	44
Tabela 4: Teor de umidade médio dos Resíduos Orgânicos do RU e com mistura de poda e capina	45
Tabela 5: Porcentagem de STF e STV Resíduos Orgânicos do RU e com mistura de poda e capina	47
Tabela 6: Volume de resíduos gerados de acordo com a aceitação em participar do projeto	57

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Temperatura ao longo dos dias nas laterais e centro da leira	48
Gráfico 2: pH médio dos três pontos de medição durante o processo de compostagem	51
Gráfico 3: Condutividade média dos três pontos de medição durante o processo de compostagem	53
Gráfico 4: Tipologia de empreendimentos	54
Gráfico 5: Interesse em participar do projeto de compostagem da UNESP	55
Gráfico 6: Total de Resíduos Orgânicos gerados por dia por porte de estabelecimentos	56
Gráfico 7: Tipos de resíduos gerados e descartados semanalmente pelos estabelecimentos	58
Gráfico 8: Tipos de coletas realizadas nos estabelecimentos	59
Gráfico 9: Principais motivos para o descarte dos resíduos orgânicos gerados	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVOS.....	19
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
3.1. Processo de compostagem.....	20
3.1.1. Aspectos legais e normativos do processo de compostagem	21
3.2. Fatores que interferem no processo de compostagem	22
3.2.1. Temperatura.....	23
3.2.2. pH	24
3.2.3. Condutividade.....	25
3.2.4. Aeração.....	25
3.2.5. Umidade	26
3.3. Experiência práticas de compostagem.....	26
3.4. Atividades realizadas e Resíduos Orgânicos gerados no Restaurante Universitário.....	27
3.5. Caracterização do município de Rio Claro.....	28
4. METODOLOGIA.....	29
4.1. Coleta e caracterização dos Resíduos Orgânicos do Restaurante Universitário	29
4.2. Montagem e gerenciamento das Leiras de Compostagem	31
4.3. Monitoramento da leira e parâmetros de compostagem.....	33
4.4. Análise Laboratorial	36
4.5. Método de Identificação e Seleção dos Estabelecimentos Hortifrutigranjeiros para a Entrevista.....	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
5.1. Quantificação de Resíduos Orgânicos do Restaurante Universitário	43
5.2. Análises Laboratoriais	44
5.2.1. Teor de umidade	44

5.2.2. Teor de Sólidos Totais Fixos e Voláteis.....	46
5.3. Resultados dos Parâmetros de compostagem	48
5.3.1. Temperatura.....	48
5.3.2. pH	50
5.3.3. Condutividade.....	52
5.4. Método de Identificação e Seleção dos Estabelecimentos Hortifrutigranjeiros para a Entrevista.....	54
6. CONCLUSÕES	61
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APENDICE A – QUESTIONÁRIO SOBRE COMPOSTAGEM	68

1. INTRODUÇÃO

A crescente urbanização e o aumento da população têm gerado um incremento significativo na produção de resíduos sólidos, constituindo um desafio ambiental e social que necessita de soluções sustentáveis e eficazes. Os resíduos domiciliares são gerados pelo ser humano durante toda sua vivência e incluem restos de alimentos, garrafas de vidro, embalagens de plástico e metais, entre outras matérias orgânicas. Segundo dados do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS, 2022), aproximadamente 50% dos resíduos sólidos urbanos são compostos por matéria orgânica, responsáveis pela geração de chorume e gases de efeito estufa nos aterros e lixões. Nesse sentido, a gestão adequada desses resíduos é essencial para mitigar os impactos negativos no meio ambiente e promover a economia circular, transformando o que antes era visto como lixo em recursos valiosos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pelo decreto 7404/2010, determina que os aterros sanitários só podem receber resíduos que não podem ser reaproveitados, definidos como rejeitos.

A fração orgânica dos resíduos domiciliares, quando é separada da fonte de geração, possui um grande potencial para ser usada no processo de compostagem. O produto final, denominado composto, pode ser usado como condicionador do solo (LI et al., 2013), fornecendo nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio e melhorando a atividade microbiana no solo. Desta forma, fica claro que os resíduos orgânicos não podem ser considerados rejeitos, e portanto, destinados a aterros sanitários.

No Brasil, são gerados em torno de 65,63 milhões de toneladas por ano de resíduos sólidos urbanos (RSU), em média 0,99 kg/hab.dia. A recuperação desses resíduos dá-se de forma que 1,7% são resíduos reciclados em 1.726 unidades de triagem e apenas 0,6% de resíduos orgânicos são reciclados em 77 unidades de compostagem. Em relação a disposição final no solo: 73,3% em aterros sanitários, 11,8% em aterros controlados e 15% em lixões. (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO - SNIS, 2022).

Dessa forma, o conhecimento sobre a gestão municipal dos resíduos orgânicos, gerados em hortifrutigranjeiros e a prática da compostagem, contribui para o planejamento de ações adequadas

para o gerenciamento desses resíduos e seu tratamento, evitando a sua disposição em aterros sanitários, aumentando sua vida útil.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar o potencial de compostagem de resíduos orgânicos gerados em estabelecimentos de hortifruti no município de Rio Claro – SP.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar as práticas de gestão de Resíduos Orgânicos gerados em hortifrutigranjeiros do município;
- Desenvolver projeto piloto de compostagem dos resíduos orgânicos gerados no restaurante universitário do Campus da UNESP de Rio Claro para subsidiar com dados práticos o projeto de compostagem municipal;
- Avaliar o comportamento de temperatura, pH, condutividade, teor de umidade e teor de sólidos (fixos e voláteis) no processo de compostagem com poda e capina.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Processo de compostagem

De acordo com Fernandes e Silva (1999), compostagem é o processo aeróbio de biooxidação exotérmica da matéria orgânica, do qual resulta gás carbônico (CO₂), água (H₂O) e um material orgânico estável e rico em nutrientes, denominado composto.

Kiehl (1985), define a compostagem como a decomposição microbiana, controlada e aumento de temperaturas, na qual a oxidação de uma massa heterogênea de matéria orgânica, de composição e origens diversas, é responsável por gerar calor, CO e vapor d'água. O produto gerado é o composto, um condicionador de solo, rico em matéria orgânica e nutrientes.

Resolução CONAMA nº 481/2017 estabelece a compostagem como processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem. Esse processo é realizado por microorganismos, como bactérias, fungos e actinomicetos, que sintetizam a matéria orgânica como fonte de energia, decompondo-a. O processo pode ser dividido em três fases principais: mesófila, termófila e de maturação.

Na fase mesófila, que ocorre no início do processo, a temperatura do material orgânico permanece entre 20°C e 40°C. Nesta etapa, microorganismos mesófilos, que prosperam em temperaturas moderadas, começam a decompor compostos facilmente degradáveis, como açúcares e proteínas simples (DIAS, 2011). Em seguida, ocorre a fase termófila, com o aumento da temperatura entre 40°C e 70°C, favorecendo a atuação de microorganismos que decompõem materiais mais complexos, como celulose e lignina (SILVA, 2008). Essa fase é crucial, pois promove a sanitização do composto ao eliminar materiais que podem causar problema ao processo de compostagem, como larvas e outros patógenos (BROWN et al., 2013).

Na fase de maturação, o composto está na fase final, onde a temperatura começa a diminuir gradualmente até se estabilizar próximo a temperatura ambiente, permitindo o estabelecimento de microorganismos mesófilos novamente. Nessa etapa, há uma estabilização da matéria orgânica,

com a formação de compostos húmicos que podem ser utilizados para melhorar a qualidade do solo (SOUZA et al., 2012).

3.1.1. Aspectos legais e normativos do processo de compostagem

No Brasil, o processo de compostagem é regulamentado por instrumentos legais que visam assegurar a qualidade ambiental e a saúde pública. Pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabelece diretrizes para o gerenciamento e o tratamento de resíduos sólidos, incluindo a compostagem. De acordo com a PNRS, os resíduos orgânicos devem ser priorizados para compostagem.

A ABNT NBR 13591:1996 define os termos empregados exclusivamente em relação à compostagem de resíduos sólidos domiciliares, estabelecendo conceitos fundamentais para o entendimento do processo de compostagem, como os tipos de resíduos orgânicos adequados, às condições de operação, e as características do composto final. Esta norma também orienta quanto às etapas do processo, que vão desde a coleta e segregação dos resíduos orgânicos até a disposição e aplicação do composto resultante. Além disso, a NBR 13591 visa garantir a padronização terminológica e técnica no setor, promovendo a segurança e a eficiência do tratamento dos resíduos sólidos domiciliares por meio da compostagem, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e a gestão adequada de resíduos orgânicos no ambiente urbano.

A Resolução CONAMA nº 481/2017 define critérios e procedimentos das Disposições Preliminares, da Qualidade Ambiental do Processo, do Controle Ambiental e das Disposições Finais. O Art. 1º estabelece critérios e procedimentos que devem ser seguidos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, visando à proteção do meio ambiente e buscando restabelecer o ciclo natural da matéria orgânica e seu papel natural de fertilizar os solos. Conforme a Seção II e III aponta, o processo de compostagem deve garantir que tenha o período termofílico mínimo necessário para redução de agentes patogênicos, além do controle de líquidos lixiviados gerados. Para que os parâmetros de qualidade que o composto final deve atender, como a ausência de contaminantes, pH adequado e níveis de nutrientes essenciais sejam cumpridos. Estes marcos legais reforçam a importância de práticas sustentáveis na gestão de resíduos, incentivando a compostagem como uma solução eficiente.

Resolução SIMA N° 69/2020 estabelece critérios para a dispensa do licenciamento ambiental de atividades de compostagem e vermicompostagem de resíduos orgânicos compostáveis, de baixo impacto ambiental, nos termos do disposto nos § 1° e § 2°, do artigo 1°, da Resolução CONAMA n° 481, de 03 de outubro de 2017. As diretrizes para realização dessas atividades sem a necessidade de licenciamento ambiental de acordo com a Resolução abordam a geração de no máximo 500 kg de resíduos/dia, bem como a segregação na fonte geradora como aqueles provenientes da coleta seletiva ou outra forma de separação na origem, isentos de despejos e contaminações seja ela independente sua origem, mantendo medidas de proteção ambiental adequadas em todas as etapas do processo

A Instrução normativa MAPA N° 61/2020 estabelece critérios e requisitos técnicos para a produção e o controle de qualidade de fertilizantes, corretivos e substratos para plantas, regulamentando o processo de compostagem no Brasil, visando garantir a segurança ambiental e eficácia do material orgânico produzido. A Normativa, define que para o composto final possa ser utilizado como condicionador do solo, o processo deve manter os parâmetros de temperatura acima de 55°C por, no mínimo, 15 dias durante a fase termofílica, para garantir a higienização do composto, além de o pH final entre 5,5 e 8,5, para que o material esteja suficientemente estabilizado e a umidade mantida entre 40% e 60% permitindo atividade microbiana adequada sem causar excesso de compactação ou anaerobiose.

3.2. Fatores que interferem no processo de compostagem

Kiehl (1985), indica que a transformação da matéria orgânica em húmus é causada por ação de microrganismos - bactérias, actinomicetos e fungos. A taxa de decomposição desse material pelos microrganismos é afetada por fatores como umidade, aeração, relação C/N, pH, temperatura e também pela condutividade elétrica.

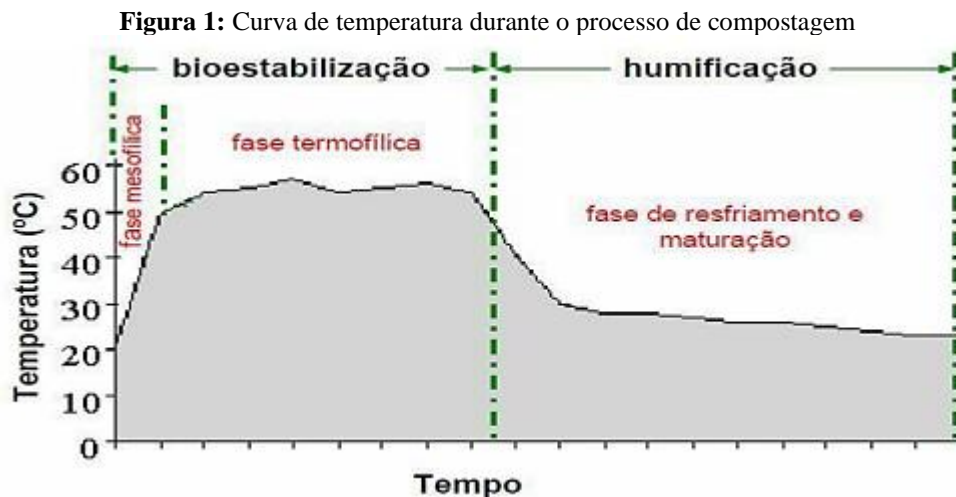
Pereira Neto (2007), afirma que a intensidade da atividade microbiana na compostagem está diretamente relacionada à variedade e quantidade de nutrientes. A população de microrganismos é um fator determinante para o processo, sendo sua atividade dependente dos nutrientes presentes e das condições físicas do ambiente (COTTA et al., 2015).

3.2.1. Temperatura

A temperatura é um outro parâmetro bastante importante, uma vez que a mesma mantém vínculo direto com as fases da compostagem. De acordo com Valente et al. (2009), a atividade microbiana resulta em aumento da temperatura na fase mesofílica, com até 40°C, onde, predominam microrganismos bacterianos que promovem a degradação inicial da matéria orgânica com a consequente liberação de calor à massa de compostagem. Com o aumento da temperatura para a faixa de 50 a 65°C, os microrganismos mesófilos morrem e começam a se multiplicar os termofílicos, responsáveis pela decomposição acelerada da matéria orgânica

Conforme Trautmann e Krasny (1997), o processo de compostagem pode ser dividido em três fases distintas: a primeira, denominada de fase mesofílica, caracterizada por temperaturas moderadas, onde a leira chega até 40°C, e dura alguns dias. Na sequência, a fase termofílica, o local ultrapassa 40°C, e a temperatura se mantém elevada em até 70° C, onde perdura por dias até meses, dependendo do sistema e do material orgânico em decomposição. Esta é a fase mais intensa, enquanto a alta temperatura favorece os microrganismos. Por fim, há a fase de maturação, que a temperatura gradativamente se aproxima da condição ambiente, o que sinaliza a estabilização do composto.

Na Figura 1, a seguir, é possível analisar as fases do processo de compostagem conforme a temperatura em relação ao tempo em que ocorre.



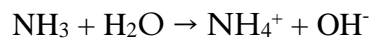
3.2.2. pH

O pH é outro fator importante, assim como a temperatura para indicar o desempenho do processo de compostagem, pois influencia diretamente a atividade microbiana. Nos estágios iniciais da compostagem, o pH tende a ser mais ácido devido à formação de ácidos orgânicos voláteis. No entanto, à medida que o processo avança, o pH se torna mais alcalino, estabilizando-se em torno de 6,5 a 8,0, considerado ideal (KIEHL, 1979). Valores de pH fora do intervalo 6,0 e 8,5 pode inibir a atividade dos microrganismos, reduzindo a velocidade de decomposição e comprometendo a qualidade do composto final.

Durante o processo, em sua fase termofílica de maior atividade microbiana, a temperatura aumenta. Durante essa fase, 2 processos contribuem para a alteração do pH. a elevada atividade aeróbia desta fase promove a geração de CO₂, que em contato com a água geram ácido carbônico (H₂CO₃), um ácido fraco, mas que pode acidificar o meio. já a presença de matéria orgânica com elevada quantidade de proteínas libera elevadas quantidades de amônia (NH₃), que tende a elevar o pH para valores entre 8 e 9 (SILVA, 2008). A decomposição de proteínas pode ser descrita pela reação:



O aumento do pH ocorre devido à liberação de amônia, QUE dissolvida na água presente na leira forma íons amônio NH₄⁺, o que contribui para a alcalinidade do meio (RICHARD & WALKER, 2012):



Essa elevação no pH é fundamental para a higienização do composto, pois inibe o desenvolvimento de patógenos e ajuda na decomposição de substâncias mais complexas, como a lignina e a celulose (HASSAN et al., 2015). Na fase de maturação, o pH começa a diminuir gradualmente, estabilizando-se em torno de 6,5 a 8, intervalo ideal para a maioria das plantas. Nesse estágio, ocorre a formação de ácidos húmicos e fúlvicos, compostos orgânicos mais complexos e estáveis, resultantes da decomposição avançada da matéria orgânica. A formação desses ácidos ocorre através de reações de polimerização e condensação dos produtos da decomposição (KIEHL, 1985)

A redução acentuada do pH, atingindo valores próximos a 4,14, é atribuída ao sistema de ácidos orgânicos, especialmente pelo acúmulo de ácido lático e acético. Esse fenômeno pode sinalizar o início de condições anaeróbicas, causadas pela insuficiência de oxigênio no material. Para restabelecer o ambiente aeróbico, é recomendável promover uma aeração adequada da leira, favorecendo a oxigenação do sistema (TRAUTMANN & KRASNY, 1997; WEAST et al., 1989-1990, apud SUNDBERG, 2005).

3.2.3. Condutividade

A condutividade elétrica indica a concentração de sais no composto, e um nível excessivo pode ser prejudicial para as plantas, pois dificulta a absorção de água e nutrientes. Durante o processo de compostagem, é importante monitorar a condutividade para garantir que o composto seja adequado para o uso agrícola, evitando a salinização do solo (RODRIGUEZ et al., 2014). Níveis ideais de condutividade são geralmente inferiores a 2 mS/cm, o que é seguro para a atividade microbiana e para a saúde do solo.

3.2.4. Aeração

A compostagem aeróbica requer uma oxigenação adequada, pois os microrganismos responsáveis pela decomposição dependem de oxigênio para realizar seu metabolismo. A falta de aeração leva à formação de áreas anaeróbicas, onde gases como metano e sulfeto de hidrogênio são produzidos, causando odores desagradáveis e reduzindo a eficiência do processo (COTTA et al., 2015). O revolvimento periódico da leira é uma técnica comum para garantir uma boa aeração, promovendo a homogeneidade e evitando a compactação do material.

No estágio inicial da compostagem, ocorre intensa atividade microbiana, o que gera uma demanda elevada por oxigênio, tornando a aeração essencial nesta fase. Por outro lado, na fase de maturação, a atividade dos microrganismos diminui, reduzindo também a necessidade de oxigenação (FERNANDES & DA SILVA, 1999).

3.2.5. Umidade

A umidade é um fator crítico para o desenvolvimento da atividade microbiana, mas deve ser mantida em um nível equilibrado, geralmente entre 40% e 60%. Muita umidade reduz a utilização de oxigênio e leva a condições anaeróbicas, enquanto umidade insuficiente limita o crescimento microbiano. A manutenção adequada da umidade é essencial para garantir a decomposição eficiente e a formação de compostos de alta qualidade (EMBRAPA, 2005).

Quando o teor de umidade do material utilizado para compostagem for superior a 60%, recomenda-se misturá-lo com outros materiais que possam absorver o excesso de umidade, como folhas secas, grama ou capim. Por outro lado, se a matéria-prima estiver seca, o teor de umidade pode ser ajustado adicionando água (FERNANDES & DA SILVA, 1999; PEREIRA NETO, 2007).

3.3. Experiência práticas de compostagem

Experiências de compostagem em larga escala têm demonstrado a viabilidade da utilização de resíduos orgânicos provenientes de restaurantes e outras fontes institucionais. Em um estudo realizado por Li et al. (2013), foi implementado um sistema de compostagem em leiras estáticas utilizando resíduos de restaurantes em Pequim, com resultados que demonstraram a eficácia do processo na redução de resíduos e na produção de composto de alta qualidade. O estudo destacou a importância de uma boa relação carbono-nitrogênio (C/N) e de uma aeração adequada para otimizar o processo.

No Brasil, a compostagem tem sido explorada em várias universidades como uma alternativa para a gestão de resíduos sólidos. Um exemplo relevante é o projeto de compostagem da Universidade de São Paulo (USP), que utiliza resíduos orgânicos gerados nos restaurantes universitários para produção de composto destinado às áreas verdes da instituição (PINTO et al., 2019).

Outro estudo realizado por Takeda, C (2015), em que abordou em seu projeto a compostagem dos resíduos orgânicos gerados no restaurante universitário da UNESP do campus de Rio Claro, avaliando sua viabilidade com a mistura de proporções de poda e capina que

apresentam o melhor desempenho durante o processo de compostagem e assim fornecer parâmetros ideais para a prática.

3.4. Atividades realizadas e Resíduos Orgânicos gerados no Restaurante Universitário

No estudo de Picciafuoco (2013), o restaurante universitário pode ser dividido em três setores: pré-preparo, cozinha e de devolução das bandejas. Em cada uma das áreas são gerados resíduos específicos das operações realizadas, os quais são acondicionados separadamente em cada ponto de geração até o dia da coleta.

Ainda pelo estudo, identifica-se que na fase do pré-preparo, é realizado o recebimento, corte e higienização para preparação das verduras e legumes. Os resíduos orgânicos gerados, que são provenientes dessa etapa são exclusivamente vegetais, talos, cascas e folhas acondicionados em recipientes de aço inoxidável (90L) de aproximadamente 8kg. Os resíduos gerados são em sua grande maioria orgânicos, isentos de contato com outros materiais (carnes e embalagens), e possuem alta biodegradabilidade, apresentando boas condições para a compostagem.

Na cozinha, ocorre o cozimento dos alimentos já preparados na etapa anterior e o preparo de carnes, arroz e feijão e as sobras armazenadas dentro dos recipientes de aço inoxidável. Os resíduos orgânicos dessa etapa são compostos por gorduras e retalhos de carne, os quais são destinados ao processo de compostagem, apesar do lento processo de degradação (baixa degradabilidade).

A devolução das bandejas, é composto pela limpeza das bandejas utilizadas para as refeições em raspagem com bucha umedecida e água para remoção dos restos de comida previamente à disposição das bandejas na máquina lava louças industrial para limpeza total. Os restos de alimentos juntamente com a água utilizada na limpeza são recolhidos em um recipiente de aço inoxidável. Tal procedimento aumenta o volume e o peso do resíduo gerado na devolução.

3.5. Caracterização do município de Rio Claro

Rio Claro está localizado no interior do estado de São Paulo, e possui uma população de aproximadamente 200 mil habitantes, de acordo com o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). O município conta com um setor agroindustrial significativo e é conhecido pela produção agrícola diversificada, incluindo cana-de-açúcar, citros e hortaliças.

Em termos de gestão de resíduos, Rio Claro adotou um sistema de coleta seletiva desde o início dos anos 2000, abrangendo tanto resíduos recicláveis quanto orgânicos. Contudo, grande parte dos resíduos orgânicos ainda é enviada para aterros sanitários, o que reforça a necessidade de iniciativas como a compostagem para reduzir o impacto ambiental e promover a economia circular (PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO, 2021). A implantação de um sistema de compostagem no Restaurante Universitário da UNESP campus Rio Claro é uma contribuição importante para a sustentabilidade local, aproveitando os resíduos orgânicos gerados diariamente e transformando-os em recursos valiosos para o solo.

4. METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em duas etapas principais. Primeiramente, a realização de um projeto experimental de compostagem utilizando resíduos orgânicos provenientes do Restaurante Universitário da UNESP/RC, aplicando-se em leiras estáticas, com monitoramento periódico dos principais parâmetros de compostagem de acordo com a literatura (temperatura, pH e condutividade elétrica), a fim de obter dados práticos para subsidiar a implantação do programa municipal de compostagem. Nesse sentido, foram contabilizados a quantidade de material gerado no restaurante universitário e a material compostado (restos de alimentos e poda e capina) dentro do período de estudo. Em paralelo realizou-se o diagnóstico, via entrevistas e visitas técnicas, das práticas de gestão de resíduos orgânicos em estabelecimentos de hortifrúti no município de Rio Claro – SP. Essa abordagem visa integrar a análise prática e teórica, fornecendo subsídios para a implementação de práticas sustentáveis de gestão de resíduos orgânicos na região.

4.1. Coleta e caracterização dos Resíduos Orgânicos do Restaurante Universitário

Primeiramente, foi realizada uma reunião com o nutricionista responsável pelo restaurante universitário para levantamento das atividades rotineiras realizadas no RU. Em seguida, foi orientado os funcionários para que auxiliassem na segregação dos resíduos orgânicos.

Os resíduos foram separados e caracterizados em diferentes categorias de acordo com sua origem: Pré-preparo, Cozinha e Devolução das bandejas (Figura 2). Os resíduos foram transportados para o local de compostagem dentro dos tambores com o auxílio da caminhonete Strada. A coleta dos resíduos orgânicos (RO) foi realizada durante sete semanas no RU, sendo que na primeira semana a coleta foi diária, para análise, separação e quantificação de cada origem gerada por dia, a fim de obter os valores por dia e calcular a média final da primeira semana. Nas semanas subsequentes, os resíduos foram coletados todas as sextas-feiras após fim do horário de funcionamento do refeitório, continuando com a separação dos resíduos por origem.

Figura 2: registros do Pré-preparo, cozinha e devolução das bandejas em sequência



Fonte: Elaborado pelo Autor

Os resíduos foram pesados e registrados diariamente na balança de plataforma dentro do Restaurante Universitário (Figura 3) seguindo o padrão da coleta, permitindo o cálculo da quantidade total de matéria orgânica processada e gerada durante o período de 7 semanas de estudo, com média de 335 refeições por dia.

Figura 3: Pesagem na balança de plataforma



Fonte: Elaborado pelo Autor

4.2. Montagem e gerenciamento das Leiras de Compostagem

A montagem das leiras de compostagem foi realizada em uma área no Campus da UNESP de Rio Claro, próxima ao CEA (Centro de Estudos Ambientais). O pátio de compostagem (Figura 4), apresenta uma área de 954,7 m² reservada às leiras e aos resíduos de poda e capina, resultante dos serviços de capinação do campus.

Figura 4: Pátio de compostagem, situada próxima ao CEA



Fonte: Elaborado pelo Autor



Pátio de Compostagem.

A leira de compostagem montada teve as dimensões: 1,20m de comprimento x 1,80m de largura x 0,50 m de altura. para realizar a coleta do percolado, eventualmente gerado com a disposição de resíduos, foi realizado um canal de drenagem, que posteriormente foi impermeabilizado com manta plástica para não contaminar o solo (Figura 5).

Figura 5: Impermeabilização do solo com manta plástica para montagem da leira



Fonte: Elaborado pelo Autor

As leiras foram cercadas com bambus para melhorar a estrutura e evitar animais invasores que poderiam interferir no processo.

O percolado gerado durante o processo, foi coletado dentro de caixa de 50 litros (Figura 6) e utilizado na recirculação no processo de compostagem da leira.

Figura 6: Coleta de percolado



Fonte: Elaborado pelo Autor

A leira foi construída utilizando os resíduos orgânicos coletados do Restaurante Universitário (RU), num total de 944,1 kg devidamente misturados com os resíduos de poda e capina para base e cobertura, num total de 42,2 kg (Figura 7), para assegurar o equilíbrio ideal da relação carbono/nitrogênio (C/N) e essencial para o processo de decomposição.

Figura 7: Montagem da leira com resíduos do RU e poda e capina



Fonte: Elaborado pelo Autor

Durante o processo, realizou-se o revolvimento da leira para manter a aeração (Figura 8). Inicialmente, realizou-se duas vezes por semana, para prevenir o desenvolvimento de ambiente anaeróbio. No momento do revolvimento, foi realizada a adição de água, a fim de controlar o teor de umidade dentro dos parâmetros. Nas fases finais de compostagem, esse processo foi realizado a cada 15 dias, até que chegasse na fase de maturação do composto.

Figura 8: Revolvimento da leira

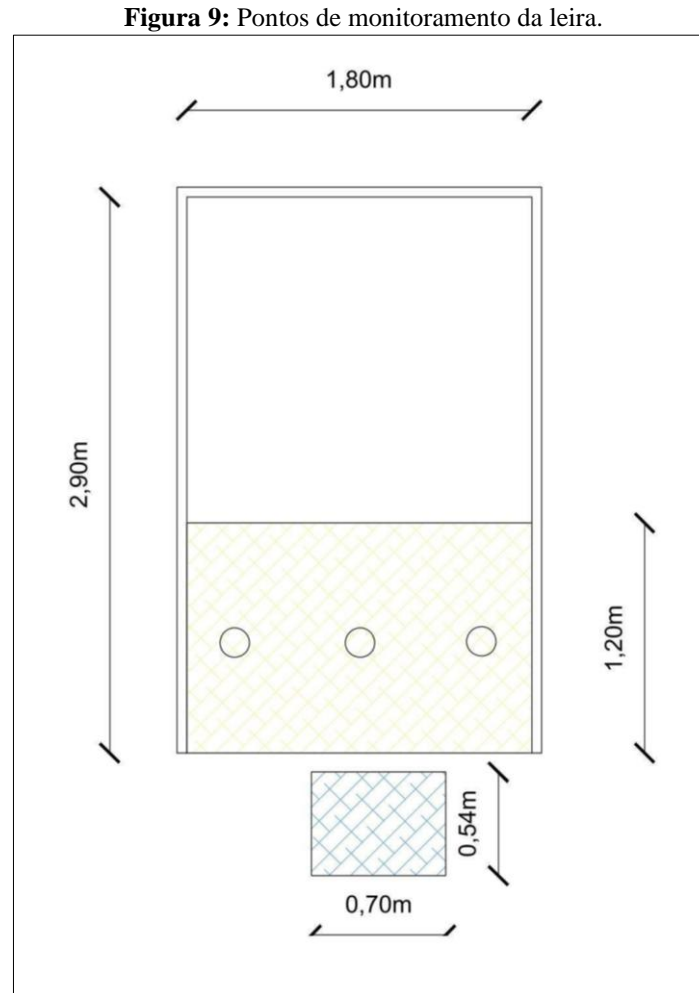


Fonte: Elaborado pelo Autor

4.3. Monitoramento da leira e parâmetros de compostagem

Após a montagem, a leira foi monitorada diariamente, avaliando parâmetros de temperatura, pH e condutividade, para observar as mudanças no material em decomposição. O

processo de medição foi realizado em 3 pontos distintos: nas laterais (esquerda e direita) e no meio (Figura 9).



Fonte: Leonardo Dos Santos Segantin

O monitoramento incluiu o registro de dados relacionados à temperatura utilizando um “Termômetro Para Compostagem/Solo Haste 50 Cm 0 A 120 Graus” (figura 10).

Figura 10: Termômetro Para Compostagem/Solo Haste 50 Cm 0 A 120 Graus



Fonte: Elaborado pelo Autor

Juntamente com a temperatura, os índices de pH foram medidos diariamente, com o phmetro “Medidor de pH Direto no Solo Groline Hanna HM” (Figura 11), para a manter e controlar dentro dos parâmetros a saúde microbiana responsável pela decomposição de matéria orgânica.

Figura 11: Medidor de pH Direto no Solo Groline Hanna HM



Fonte: Hanna Instruments

Enquanto a condutividade elétrica foi medida para avaliar a concentração de sais solúveis no material, através do condutivímetro “Medidor de condutividade e temperatura no solo Hanna HM” (Figura 12).

Figura 12: Medidor de condutividade e temperatura no solo Hanna HM



Fonte: Hanna Instruments

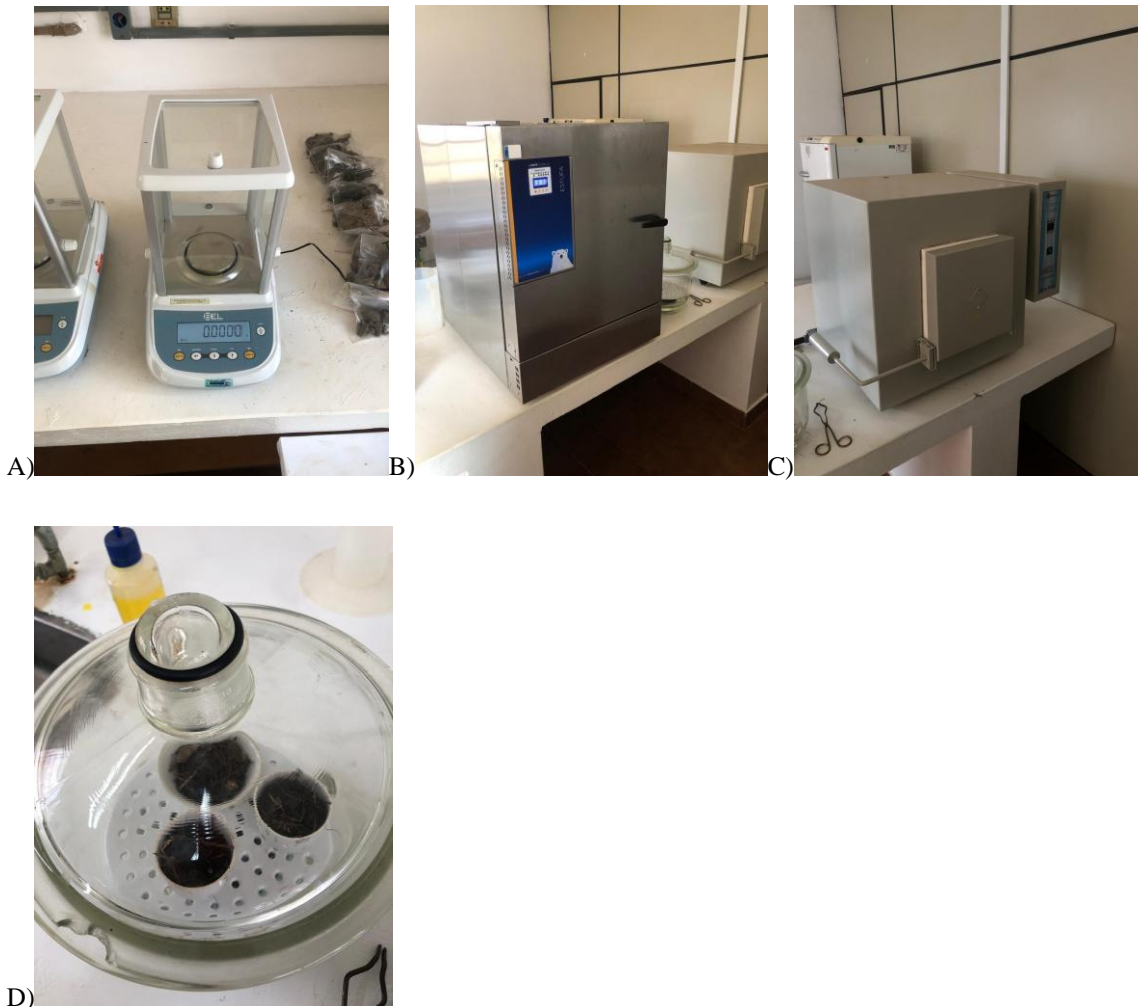
Antes do início das medições de pH e condutividade, os aparelhos utilizados foram calibrados com soluções fornecidas pela fabricante a fim de obter resultados acurados.

4.4. Análise Laboratorial

As análises laboratoriais tiveram como objetivo analisar o teor de umidade, sólidos totais fixos e voláteis, seguindo a metodologia descrita pelas diretrizes da APHA (American Public Health Association) para a determinação de sólidos em amostras de solos e compostagem, detalhadas no método 2540G. Realizadas no Centro de Estudos Ambientais (CEA) - UNESP, no campus Rio Claro.

Os materiais utilizados para as análises de sólidos fixos e voláteis foram cadinhos de cerâmica, balança de precisão (Figura 13a), estufa (Figura 13b), mufla (Figura 13c) e dessecador (Figura 13d). Estes materiais foram utilizados para realizar calcinação em mufla e pesagem para cálculo de sólidos totais.

Figura 13: A- Balança de precisão. B- Estufa. C- Mufla. D- Dessecador



Fonte: Elaborado pelo Autor

Previamente ao processo, os cadinhos foram lavados, secos e calcinados, posteriormente sendo resfriados em dessecador até alcançar a temperatura ambiente.

No total foram realizadas em 3 (triplicata) amostras de aproximadamente 20g (Figura 14), coletadas em 4 fases distintas do processo: resíduos “in natura” coletados no restaurante universitário, outra coleta após 1 semana de disposição da leira, outra em processo de compostagem com a mistura de poda e capina após 90 dias do início e a última no final do processo.

Figura 14: Amostra coletada para cálculo



Fonte: Elaborado pelo Autor

Para o cálculo do teor de umidade, o processo envolveu a pesagem das amostras antes e após, secagem em estufa a 105° C por 72 horas, aferimento das amostras e retorno à estufa por mais 2 horas. A diferença entre o peso da amostra inicial e após secagem corresponde ao peso de água presente na amostra, enquanto o peso restante no cadinho representa a massa seca da amostra.

Equação 1: Cálculo do teor de umidade

$$H(\%) = \frac{(Mu - Ms)}{Mu} * 100$$

Onde:

H: Teor de umidade (%)

Mu: Massa úmida da amostra

Ms: Massa seca da amostra

Após a secagem das amostras e obtenção dos pesos secos, foi realizado o processo de calcinação, colocando as amostras no dessecador para resfriar. Após esse processo, colocou-se as amostras em mufla a 550° C por 30 minutos, resfriadas novamente em dessecador até alcançar temperatura ambiente e então pesados para cálculo de sólidos totais. A diferença entre o peso após secagem e do processo antes de calcinação em mufla corresponde aos sólidos voláteis (STV), enquanto o peso restante nos cadinhos são os sólidos fixos (STF).

Equação 2: Cálculo do teor de sólidos fixos

$$Tf(\%) = \frac{Mc}{Ms} * 100$$

Onde:

Tf: Teor de sólidos fixos (%)

Mc: Massa remanescente após a queima (sólidos fixos)

Ms: Massa da amostra seca (sólidos totais)

Equação 3: Cálculo do teor de sólidos voláteis

$$Tv(\%) = \frac{(Ms - Mc)}{Ms} * 100$$

Onde:

Tv: Teor de sólidos voláteis (%)

Mc: Massa remanescente após a queima (sólidos fixos)

Ms: Massa da amostra seca (sólidos totais)

4.5. Método de Identificação e Seleção dos Estabelecimentos Hortifrutigranjeiros para a Entrevista

A metodologia para seleção dos estabelecimentos abordou etapas desde a identificação, até a espacialização, divisão por porte e a elaboração de questionário a fim de compreender características de cada hortifrutigranjeiro.

Inicialmente, realizou-se uma consulta com a prefeitura municipal, a fim de avaliar os empreendimentos dentre os comércios varejistas de hortifrutigranjeiros descritos dentro do código 4724-5/00 CNAE do IBGE no município de Rio Claro. A solicitação foi realizada via protocolo de uma carta, com os objetivos do estudo e quais seriam as utilidades desses dados.

Após o fornecimento pela prefeitura de Rio Claro da lista de comércios, presentes dentro do código citado, verificou-se quais estavam ativos por meio de visita aos endereços, a fim de selecionar apenas os que pudessem ter geração de resíduos e otimizar o processo de entrevistas. Neste momento foi realizada uma classificação por porte baseado na área do estabelecimento e no número de funcionários, obtidos mediante a observação “in loco” e nas respostas do questionário.

Após a identificação dos estabelecimentos, realizou-se a espacialização dentro do município de Rio Claro (Figura 15 a 17) com auxílio do Google Earth Pro. Após esta etapa foi realizada a visita e a aplicação de questionários.

Figura 15: Espacialização dos estabelecimentos de grande porte na malha urbana do município de Rio Claro



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 16: Espacialização dos estabelecimentos de médio porte na malha urbana do município de Rio Claro



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 17: Espacialização dos estabelecimentos de pequeno porte na malha urbana do município de Rio Claro



Fonte: Elaborado pelo Autor

Após a seleção de estabelecimentos e espacialização, foram realizadas 34 entrevistas por meio de questionário com questões abertas e fechadas, a fim de conhecer os produtos comercializados, conhecimento sobre compostagem e os resíduos gerados. Sendo adicionado ao longo do processo de coleta de dados mais 5 estabelecimentos, devido a falta de respostas e aceitação no preenchimento do formulário, totalizando 39.

A coleta de dados foi realizada por meio de entrevistas presenciais com proprietários e gestores desses estabelecimentos, visando avaliar o conhecimento sobre compostagem, o interesse em participar do projeto da UNESP e a disposição para colaborar fornecendo resíduos orgânicos, juntamente com a quantidade gerada.

O processo de coleta indagou aos entrevistados o conhecimento sobre compostagem e seu interesse sobre o tema. Além disso, questionou-se a disponibilidade de fornecer os resíduos orgânicos para o projeto de compostagem aplicado na UNESP, juntamente com a divulgação dessa prática no estabelecimento. A escolha dessas questões buscou identificar as barreiras quanto às oportunidades de engajamento dos estabelecimentos com práticas mais sustentáveis, em parceria com a universidade.

Outros pontos importantes das entrevistas abordaram questões em relação à geração, descarte e destinação dos resíduos. O questionário apresentou perguntas estruturadas e semi-estruturadas visando obter informações detalhadas sobre a quantidade, segregação, armazenamento, coleta, destino final dos resíduos, entre outros aspectos relacionados à gestão ambiental desses estabelecimentos. Foram relacionados também, ao tipo de resíduo gerado, para identificação das principais categorias (hortifruti, laticínios, açougue, restaurante e padaria) dentro de cada estabelecimento e a porcentagem de resíduos orgânicos. Além disso, o questionário explorou o manejo de resíduos, as dificuldades enfrentadas pelos estabelecimentos em relação à coleta e armazenamento, e a participação na coleta seletiva municipal. As perguntas sobre a destinação final dos resíduos visam entender quais estabelecimentos destinavam seus resíduos para compostagem, quais os enviavam para aterros sanitários e quais contribuíram para projetos sociais ou para a alimentação animal. Dessa forma, buscou-se traçar um panorama abrangente da gestão de resíduos sólidos orgânicos nos estabelecimentos de Rio Claro.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Quantificação de Resíduos Orgânicos do Restaurante Universitário

Na Tabela 1 a seguir são descritas as quantidades dos resíduos orgânicos gerados nos setores do restaurante universitário, os quais foram coletados e utilizados no processo de montagem da leira, durante as 7 semanas de estudo.

Tabela 1: Quantidade de resíduos gerados em cada setor do restaurante universitário

Origem	Pré-preparo	Cozinha	Devolução das bandejas	Total
Quantidade (kg)	272,6	203,6	467,9	944,1
Porcentagem (%)	28,9%	21,5%	49,6%	100%

Fonte: Elaborado pelo Autor

Percebe-se que a maioria dos resíduos é advindo da devolução das bandejas. Essa quantidade mostra que praticamente metade (49,6%) dos resíduos gerados dentro do Restaurante Universitário são restos das refeições servidas, alertando para um possível desperdício de alimentos.

A Tabela 2 mostra a quantidade gerada de resíduos orgânicos em cada etapa, na primeira semana de coleta, totalizando quanto cada categoria gera por dia.

Tabela 2: Quantidade diária de resíduos gerados em cada setor de coleta na primeira semana

Data	Pré-preparo (kg)	Cozinha (kg)	Devolução das bandejas (kg)	Total (kg)
25/3 - Segunda	8,2	2,8	15,2	26,2
26/3 - Terça	2,1	2,8	11,0	15,9
27/3 - Quarta	19,2	11,0	10,8	41,0
28/3 - Quinta	7,0	3,6	9,0	19,6
01/4 - Segunda	3,2	5,8	10,0	19,0
Total	39,7	26	56,0	121,7
Média diária do período	7,9	4,1	11,2	23,2
Porcentagem (%)	32,6	21,4	46,0	100

Fonte: Elaborado pelo Autor

Nota-se que a devolução das bandejas, realizando a análise diária mantém a maior porcentagem de desperdício e descarte por dia, com 11,2 kg/dia, totalizando 46,02% do que é descartado diariamente. Entretanto, uma parte do que é descartado são cascas de frutas, ossos e outros resíduos orgânicos que variam de acordo com o cardápio do dia.

A Tabela 3 mostra a quantidade de resíduos orgânicos gerados por refeição após a coleta diária na primeira semana em cada categoria de separação dentro do RU.

Tabela 3: Média diária de resíduos gerados por refeição (g/refeição) em cada categoria na primeira semana

Data	Total de Resíduos gerados por refeição	Resíduos gerados por refeição - Pré-preparo	Resíduos gerados por refeição - Cozinha	Resíduos gerados por refeição - Devolução das bandejas	Nº de refeições servidas
25/3 - Segunda	77,1	24,1	8,2	44,7	340
26/3 - Terça	47,2	6,3	8,3	32,6	337
27/3 - Quarta	120,2	56,3	32,3	31,7	341
28/3 - Quinta	60,8	21,7	11,1	28,0	322
01/4 - Segunda	57,1	9,6	17,4	30,0	333
Média diária do período	72,5	23,6	15,5	33,4	335
Porcentagem (%)	100	32,7	21,3	46	-

Fonte: Elaborado pelo Autor

Dessa forma, temos que a devolução das bandejas é a principal geradora de resíduos por refeição, com uma geração de 33,4 g/refeição, sendo 46% de cada refeição. Confirmando um possível desperdício no setor de devolução das bandejas por refeição.

5.2. Análises Laboratoriais

5.2.1. Teor de umidade

A Tabela 4 apresenta os resultados do teor de umidade médio de amostras dos resíduos orgânicos em 4 períodos diferentes, desde os resíduos in natura coletados do RU até a mistura desses resíduos com poda e capina e o composto pronto.

Tabela 4: Teor de umidade médio dos Resíduos Orgânicos do RU e com mistura de poda e capina

Amostra	Teor de umidade
TU1	79,7
TU2	69,1
TU3	48,1
TU4	49,5

Fonte: Elaborado pelo Autor

TU1: Teor de umidade dos resíduos in natura coletados do RU

TU2: Teor de umidade dos Resíduos no processo de compostagem após 7 dias

TU3: Teor de umidade – mistura dos Resíduos e poda e capina no processo de compostagem após 127 dias ou 4 meses

TU4: Teor de umidade - Composto pronto (5 meses ou 158 dias)

O maior teor de umidade da amostra do RU in natura-TU1 (79,7%) foi ocasionado principalmente pelo processo de limpeza e higienização na devolução das bandejas, no qual utiliza-se água no processo de remoção dos restos de alimentos das bandejas e também pelos resíduos orgânicos provenientes da cozinha e pré-preparo liberarem água no processo de preparo da refeição. Observa-se que mesmo após uma semana dos resíduos dispostos na leira (TU2) o teor de umidade estava elevado. A pequena redução do valor deve-se à evaporação e uma pequena parcela consumida pela atividade microbológica.

A amostra TU3 apresentou valores dentro do padrão, segundo a Circular Técnica 29 apresentada pela EMBRAPA (2005), em que a umidade ideal para o desenvolvimento do processo de compostagem ideal deve permanecer na faixa de 40% e 60%, em peso. Com a mistura de poda e capina e o revolvimento periódico para incorporar esse material ao resíduo orgânico do RU, foi possível reduzir o teor de umidade. Segundo Haug (1993), com a mistura de materiais mais secos e o revolvimento frequente, é esperado a redução da umidade para os valores ideais (40% a 60%) à compostagem

No composto pronto (TU4), o teor de umidade tende a se estabilizar. O valor de 49,5% está dentro da faixa aceitável para compostos prontos para uso, para garantir a estabilidade e evitar a reativação do processo de decomposição (SMITH et al., 2017), pois diminui a atividade biológica, decorrente da degradação dos resíduos, deixando o processo mais estável, sem ativação mesmo após adição de água, como indica a Figura 18, onde a temperatura manteve-se próxima a ambiente. Esse valor, ainda está de acordo com a Instrução Normativa nº 61 de 2020, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), caso fosse comercializado como fertilizante orgânico, respeitando o limite de 50% de umidade estabelecido pelo órgão.

Figura 18: Temperatura estabilizada no final do processo após adição de água, indicando estabilização do composto.



Fonte: Elaborado pelo Autor

5.2.2. Teor de Sólidos Totais Fixos e Voláteis

A Tabela 5 a seguir apresenta a porcentagem dos valores de sólidos fixos e voláteis dos resíduos orgânicos em 4 períodos diferentes, desde os resíduos in natura coletados do RU até a mistura desses resíduos com poda e capina e o composto pronto.

Tabela 5: Porcentagem de STF e STV Resíduos Orgânicos do RU e com mistura de poda e capina

Amostra	Sólidos Fixos	Sólidos Voláteis
S1	9,7	90,3
S2	22,0	78,0
S3	35,8	64,2
S4	34,8	65,2

Fonte: Elaborado pelo Autor

S1: Teor de sólidos dos resíduos in natura do RU

S2: Teor de sólidos dos Resíduos no processo de compostagem após 7 dias

S3: Teor de sólidos – mistura dos Resíduos e poda e capina no processo de compostagem após (127 dias ou 4 meses)

S4: Teor de sólidos - Composto pronto (5 meses ou 158 dias)

A amostra inicial S1, de resíduos frescos coletados no Restaurante Universitário, têm uma alta proporção de sólidos voláteis (90,3%), que são compostos orgânicos com potencial para serem degradados por microrganismos durante o processo de compostagem.

Em S2, no início do processo de compostagem ativo, observa-se uma diminuição nos sólidos voláteis e um aumento proporcional dos sólidos fixos. Isso ocorre porque os microrganismos começam a decompor a fração volátil que inclui substâncias orgânicas facilmente degradáveis.

Enquanto S3, com a adição de poda e capina, associada ao revolvimento periódico, favorece a aeração e acelera a decomposição dos sólidos voláteis em fixos. O aumento de sólidos fixos (35,8%) está relacionado à decomposição intensificada da fração orgânica volátil, e também a presença dos materiais secos (poda e capina) adicionados possuem maior conteúdo de matéria não volátil (BARRENA et al., 2014). Essas características, contribuem para o equilíbrio entre as porções de sólidos.

No composto final (S4), o teor de sólidos fixos (34,8%) se mantém elevado, pois a fração volátil já foi amplamente degradada. Os microrganismos degradaram grande parte da matéria orgânica, restando principalmente componentes minerais e materiais não degradáveis. Este

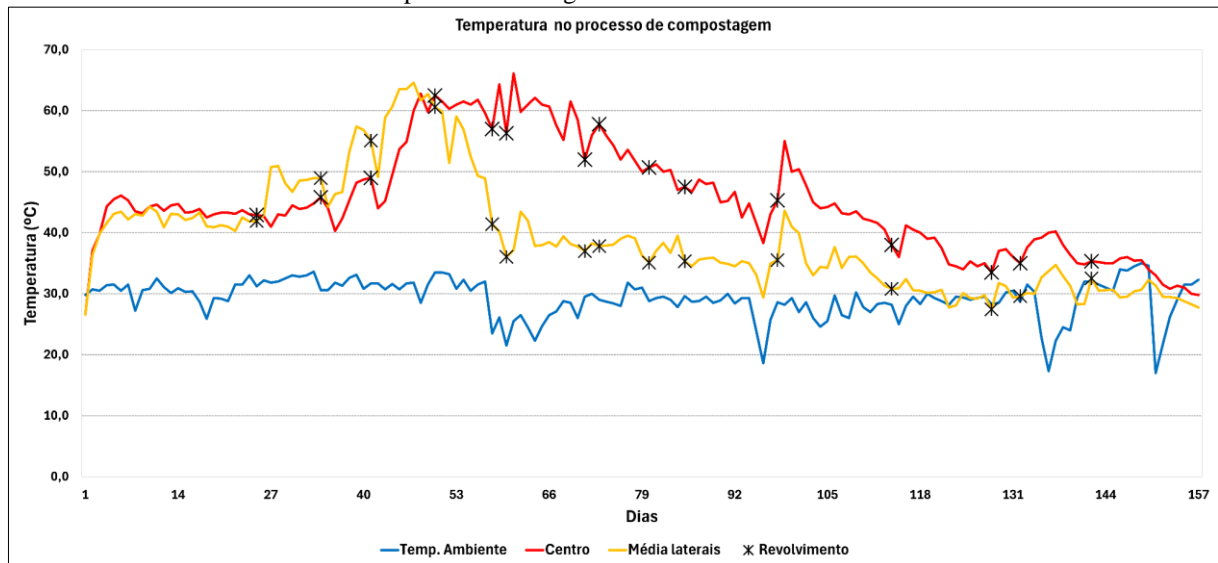
equilíbrio entre sólidos fixos e voláteis é esperado em compostos maduros, com uma concentração de STV abaixo de 65-70%, indicando que o composto está estável e pronto para uso (HAUG, 1993).

5.3. Resultados dos Parâmetros de compostagem

5.3.1. Temperatura

No Gráfico 1 são apresentados os valores de temperatura ao longo do tempo, conforme os pontos de medição escolhidos para metodologia do processo.

Gráfico 1: Temperatura ao longo dos dias nas laterais e centro da leira.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A diferença de temperatura do centro para as extremidades da leira pode ser atribuída a maior dissipação de calor para o ambiente nas extremidades, enquanto no centro a maior quantidade de material orgânico consegue maior isolamento do calor e conseqüentemente aumento da temperatura. Portanto, em processos de compostagem onde se deseja eliminar organismos patogênicos pela elevação da temperatura, é importante considerar leiras com dimensões maiores de forma a manter a temperatura elevada no centro e seu revolvimento por completo, de forma a melhorar as condições para a eliminação de patógenos.

Nos primeiros dias, há um aumento significativo de temperatura em todos os pontos, típico do início do processo de compostagem, devido a elevada atividade biológica, entretanto manteve-se constante até o primeiro revolvimento, onde as temperaturas rapidamente sobem para valores acima de 50°C, indicando que a compostagem está com a atividade microbiana menos ativa antes do revolvimento, e intensificando após o processo.

Essa constância na temperatura inicial, foi fator de parasitas e larvas (Figura 19), devido ao desenvolvimento de processos anaeróbios.

Figura 19: Larvas presentes no processo de compostagem



Fonte: Elaborado pelo Autor

A importância do revolvimento para o gerenciamento da compostagem, está relacionada a oxigenação da leira, que permite a manutenção do processo aeróbio e evita a condições anaeróbias, que resulta na formação de gases como metano e sulfeto de hidrogênio que, além de serem indesejáveis pelo viés ambiental, apresentam uma questão adicional que envolve o controle do odor.

Após cada revolvimento, as temperaturas tendem a cair brevemente, já que o revolvimento expõe parte do material ao ar e redistribui o calor, aumentando a oxigenação e estimulando a atividade microbiana aeróbia. Em seguida, as temperaturas voltam a subir, dessa forma, o

revolvimento reativa a atividade microbiana e a continuar o processo de decomposição aeróbica, facilitando a difusão de oxigênio nas camadas mais profundas da leira (HAUG, 1993).

A diferença de temperatura entre o centro e as laterais é perceptível. Observa-se que o centro da leira mantém consistentemente uma temperatura maior que as laterais durante a maior parte do processo. Segundo Pires et al. (2019) a maior concentração de material orgânico e a retenção de calor gerado pela atividade microbiana com menor contato com o ambiente externo, favorece para o aumento da temperatura no centro da leira. Os pontos laterais, mostram temperaturas mais baixas ao longo de todo o processo, a proximidade dessas regiões com o ambiente externo, ocasiona uma maior perda de calor e menor intensidade microbiana (SUNDBERG et al., 2005).

A fase termofílica da compostagem inicia-se logo nos primeiros dias do processo, com temperaturas acima de 45°C e intensificando após o primeiro revolvimento, com picos de 65°C e estendendo-se por volta do dia 80, favorecendo para eliminação de patógenos. Segundo Goyal et al. (2005), nessa fase, ocorre a maior degradação da matéria orgânica recalcitrante, pela ação de microrganismos termofílicos.

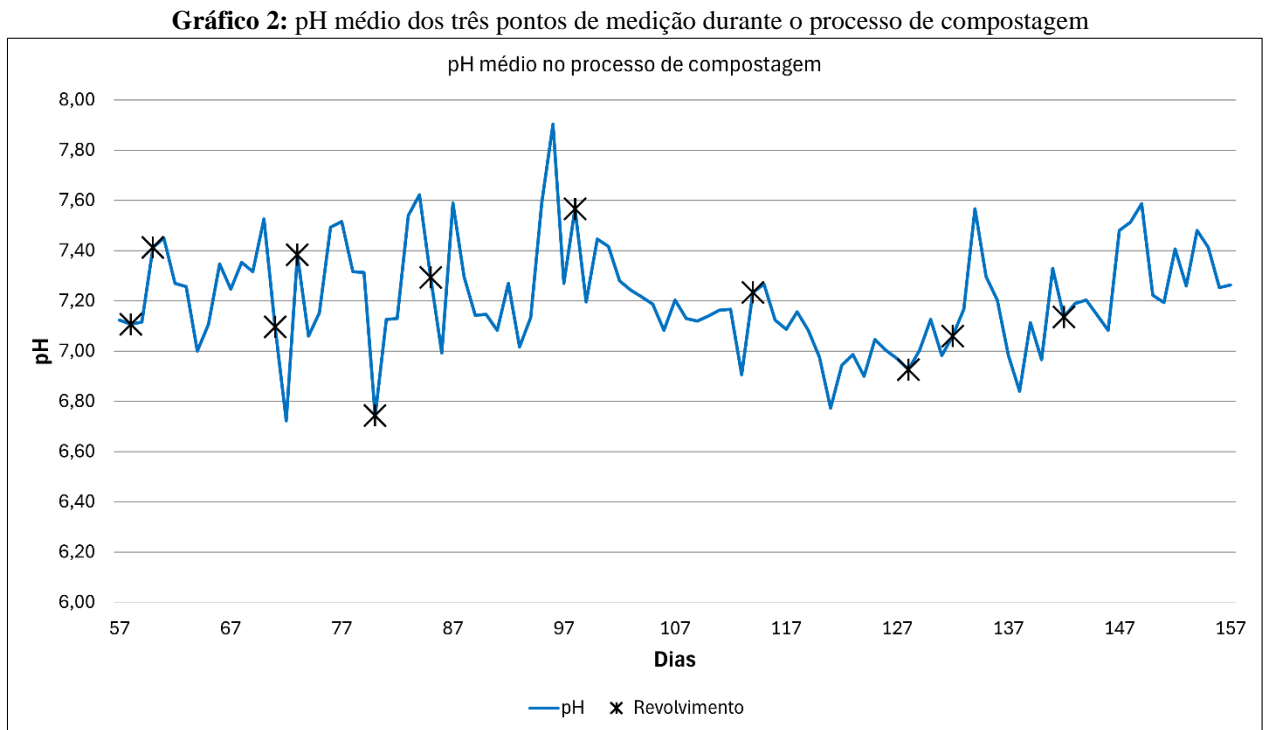
A partir do dia 80 aproximadamente, as temperaturas começam a decair gradualmente no centro e nas laterais, mesmo com o revolvimento, indicando a transição para a fase de maturação da compostagem e início da fase mesofílica. Os microrganismos atuam para a decomposição final da matéria orgânica, com temperaturas que variam de 20°C até 40°C (INSAM et al., 2015). O composto passa por um processo de maturação, e o aquecimento residual é menor devido à redução da atividade microbiológica. Com isso, no dia 98, mesmo após o revolvimento subir significativamente a temperatura, indicando atividade microbiana no processo, a queda indica o início da fase de maturação e o material orgânico sendo estabilizado.

5.3.2. pH

O pH na faixa entre 5,5 e 8,5 é considerado ótimo para o processo de compostagem (EMBRAPA, 2005). No início do estudo, não se realizou a análise deste parâmetro devido à falta

de aparelho adequado para medições, entretanto era perceptível o odor ácido na leira de compostagem, decorrente da fase ácida da digestão anaeróbia

O gráfico 2 apresenta o comportamento do pH ao longo do tempo, após o 57º dia do início de processo.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Considerando que a primeira medição ocorreu após quase dois meses do início do processo e que houve revolvimentos e adição de água anteriores é possível destacar que o pH varia entre 6,5 e 8,5, tendendo a estabilizar entre 7 e 7,5 o que indica que o processo de acidificação inicial finalizou e a matéria orgânica decompôs, juntamente com a produção de ácidos orgânicos. De acordo com Haug (1993), os resíduos, durante a compostagem, são submetidos a decomposição microbiana, o que resulta em produção ácida, especialmente de ácidos orgânicos voláteis no início do processo. Isso resulta em uma ligeira queda no pH e a geração de odor.

No estudo realizado por Takeda (2015), utilizando resíduos orgânicos do Restaurante Universitário da UNESP/RC, indicou que o pH da leira apresenta-se ácido na fase inicial devido ao excesso de umidade e ao consumo de oxigênio disponível pela atividade microbiana. A ausência

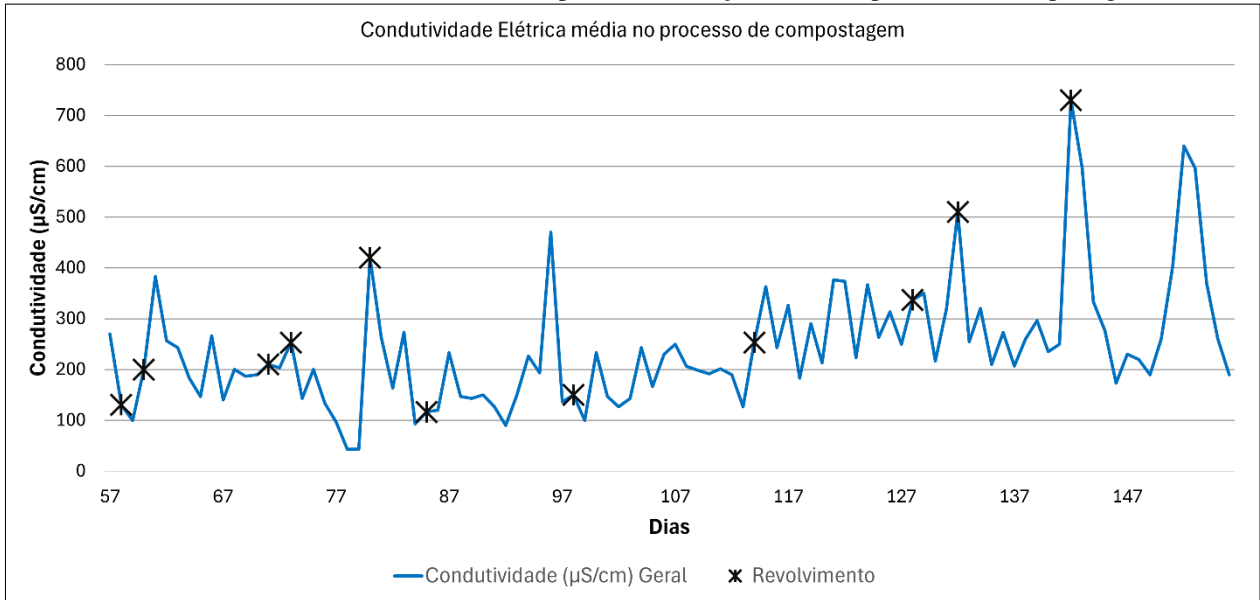
de revolvimento durante a coleta inicial do material destacado no estudo, contribuiu para que a leira atingisse uma condição anaeróbica no início do processo de compostagem, dando início a primeira fase de geração de ácidos orgânicos voláteis. Outro ponto que pode ter contribuído para a redução do pH com o início do revolvimento foi a liberação de dióxido de carbono (CO_2) que em contato com a água forma o ácido carbônico (H_2CO_3) afetando minimamente na diminuição do pH de forma temporária.

Considerando que as medições se iniciaram durante a fase termofílica, e posterior para a fase de maturação, é possível perceber que o pH tende a aumentar em alguns dias, mas que a tendência é ser mantida em níveis mais neutros, entre 7 e 7,5, à medida que a atividade microbiana é reduzida.

O processo de aumento do pH no 41º dia aproximadamente de medição, com pico próximo a 8, mostra que o processo ainda possuía ácidos orgânicos para serem degradados e compostos nitrogenados, relacionando-se com o processo da temperatura no mesmo período. Entretanto a queda e estabilização em sequência indica a maturação do composto, ou seja, os ácidos orgânicos estão sendo consumidos e há o aumento da produção de compostos nitrogenados, como amônia, que tendem a elevar o pH. Nesse período, também foi percebido a queda da temperatura e entrada na fase de maturação, correlacionando os períodos.

5.3.3. Condutividade

No Gráfico 3 é possível analisar a condutividade elétrica ao longo do tempo, após o 57º dia do início de processo.

Gráfico 3: Condutividade média dos três pontos de medição durante o processo de compostagem

Fonte: Elaborado pelo Autor

Ao analisar a condutividade elétrica ao longo do tempo pode-se identificar valores em que alteram a quantidade de nutrientes, o que pode afetar a saúde microbiológica e a eficiência do processo. Durante o processo de compostagem, deve ser mantida abaixo de 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ou 2 mS/cm) para que geralmente seja considerado seguro para o desenvolvimento microbiano. No processo houve essa normalização, tendo alteração em períodos de revolvimento em que se adicionava água ao processo ou dias de chuva no município.

A variação de condutividade elétrica, pode ser explicada pela degradação da matéria orgânica e da mineralização dos compostos nitrogenados, influenciado pelo revolvimento que redistribui os compostos solúveis e aumenta a atividade microbiana com maior oxigenação (EPSTEIN, 1997).

Segundo Bernal et al. (2009), o revolvimento influencia na manutenção da aeróbiose, promovendo a degradação de compostos orgânicos mais recalcitrantes, como a lignina, o que pode aumentar temporariamente a concentração de íons no meio, percebido com picos deste parâmetro nesses períodos. Juntamente com a adição de água, para controle da umidade, pode ocorrer a dissolução de sais e o aumento da condutividade de forma temporária tanto pela maior concentração de matéria orgânica, quanto pela maior umidade.

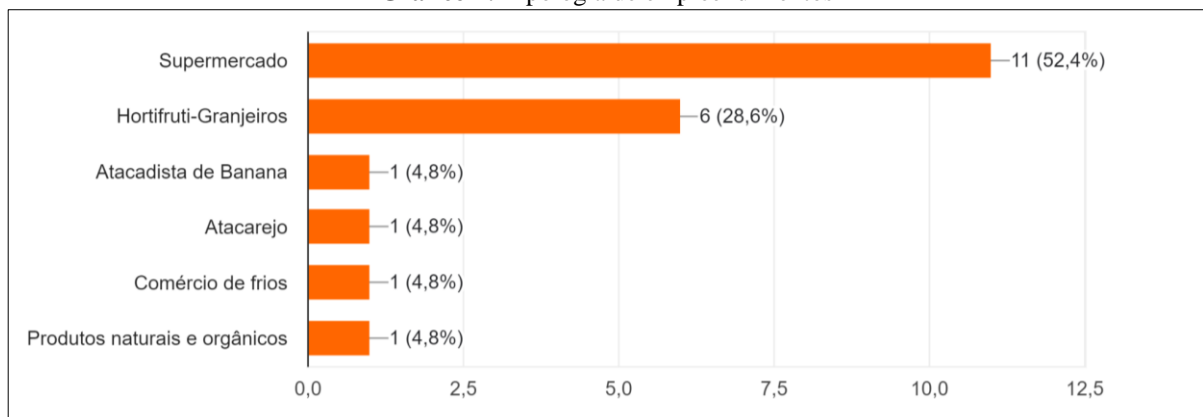
A queda acentuada na CE após o dia 90 pode estar relacionada à estabilização do material, com redução na atividade microbiológica e consequente menor liberação de íons solúveis, como descrito por Zhu (2007). Essa redução é um indicativo de que o composto está se aproximando do ponto de maturidade, uma vez que compostos facilmente solúveis já foram degradados e transformados em formas estáveis.

A queda e normalização da condutividade em torno de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na maioria das medições indica que a atividade microbiana está se estabilizando, juntamente com os sais no processo, favorecendo a um material orgânico mais uniforme.

5.4. Método de Identificação e Seleção dos Estabelecimentos Hortifrutigranjeiros para a Entrevista

Dentre os 39 estabelecimentos identificados no cadastro da prefeitura, 7 não existiam ou trocaram de endereços e, outros 11 não quiseram responder. Desta forma foram realizadas entrevistas em 21 estabelecimentos. Dentre os que aceitaram responder o questionário em sua maioria são de grande porte (52,4%), como supermercados (Gráfico 4).

Gráfico 4: Tipologia de empreendimentos



Fonte: Elaborado pelo Autor

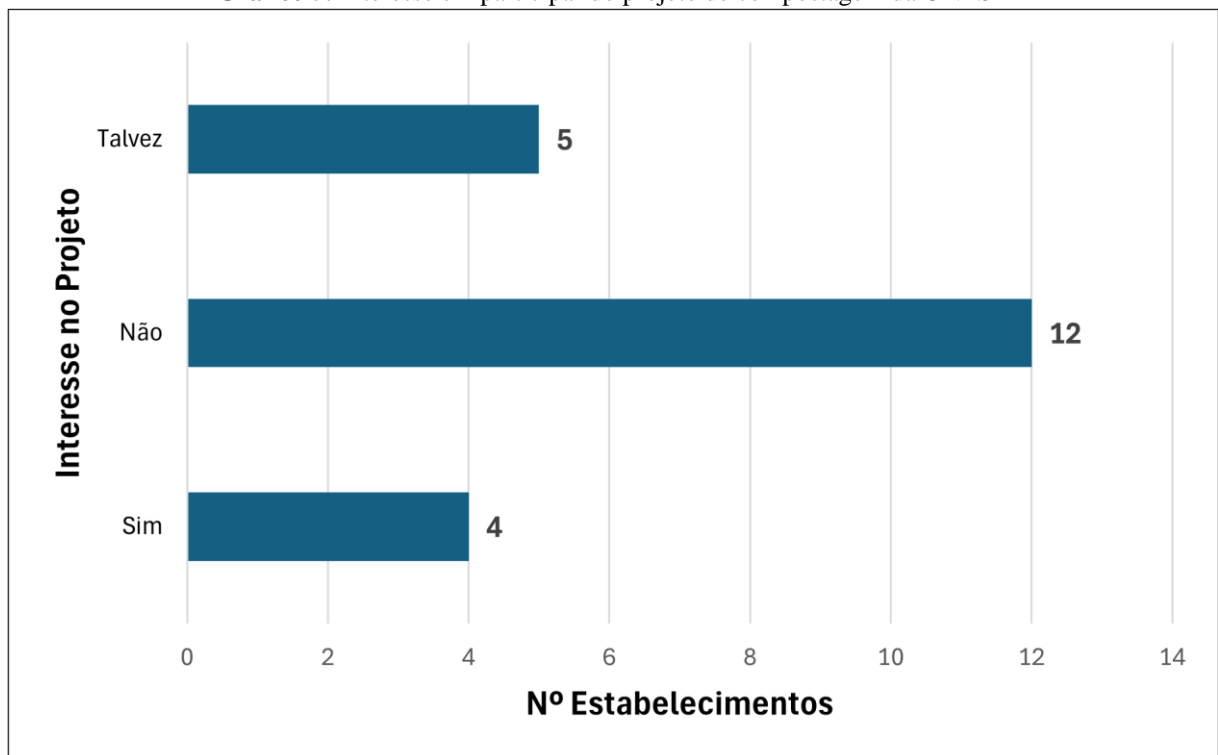
Os produtos comercializados são diversificados, principalmente em estabelecimentos de grande porte, com venda direta de produtos de diversos setores. Das 21 respostas obtidas, 19

estabelecimentos comercializam hortifrutis em, seguido de laticínios e produtos não perecíveis com 17 estabelecimentos.

Em relação aos conhecimentos sobre o processo de compostagem, a maioria, 11 (52,4%) demonstraram conhecer sobre o assunto. Alguns demonstraram familiaridade com o processo e seus benefícios ambientais, enquanto outros revelaram ter conhecimento superficial ou nulo. A receptividade geral em aprender mais sobre foi positiva, com 11 (52,4%), com estabelecimentos que já possuem conhecimento prévio sobre o assunto, expressaram interesse em entender como a prática poderia ser implementada em seus estabelecimentos e como poderiam contribuir para iniciativas ambientalmente responsáveis.

No Gráfico 5 são apresentadas a disponibilidade dos estabelecimentos para participar do projeto, fornecendo os resíduos orgânicos gerados para o projeto.

Gráfico 5: Interesse em participar do projeto de compostagem da UNESP



Fonte: Elaborado pelo Autor

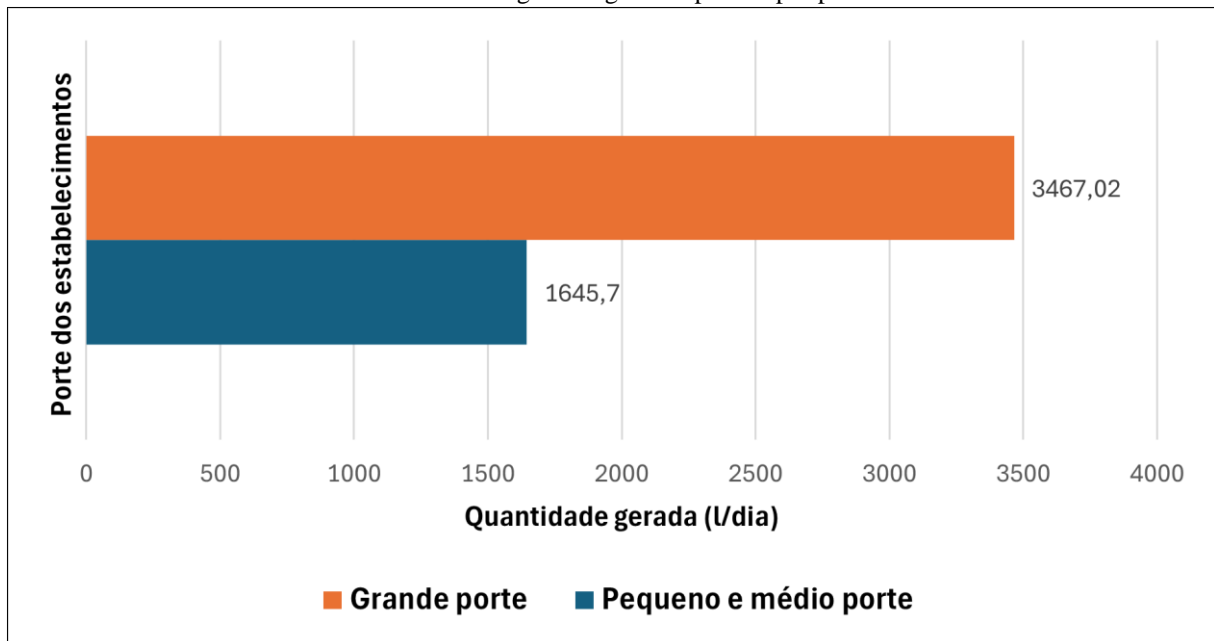
Dentre as respostas, 12 (57%) não teriam interesse em contribuir para a iniciativa, 5 talvez aceitassem contribuir com alguma parte, enquanto 4 aceitariam fornecer sem nenhum problema ou

custo adicional pela participação. As razões citadas pelo fato de não aceitarem fornecer e contribuir com o projeto estão relacionadas a alguns estabelecimentos já fornecerem os resíduos orgânicos para outros projetos, como a UDAM (União dos Amigos de Rio Claro) ou para parceiros que utilizam para alimentação animal.

Apesar da maioria não ter interesse em fornecer os resíduos para o projeto, como indica o Gráfico 5, os entrevistados foram questionados sobre sua disposição em promover a iniciativa de compostagem da UNESP em seus estabelecimentos com a instalação de um banner informativo. Essa prática foi desfavorável em 12 (57,1%) dos entrevistados, enquanto menos da metade, 9 (42,9%) aceitaram divulgar.

Um dos pontos centrais da pesquisa foi a identificação da quantidade diária de resíduos orgânicos gerados pelos estabelecimentos, estimando o volume por meio de sacos de 100 litros e obtendo o valor total, como mostra o Gráfico 6.

Gráfico 6: Total de Resíduos Orgânicos gerados por dia por porte de estabelecimentos



Fonte: Elaborado pelo Autor

Os resultados obtidos indicaram uma variação significativa na quantidade gerada em relação ao porte, 1645,7 l/dia pelos estabelecimentos de pequeno e médio porte, enquanto os de grande porte geram 3467,02 l/dia. Tal cenário sugere que estabelecimentos de maior porte não

apresentam melhor infra-estrutura para conservação dos hortifrúti, como por exemplo câmeras frias, ou ainda uma maior frequência de entrega de produtos ou melhor gerenciamento dos produtos. Assim, a maior geração é justificada pela maior quantidade comercializada pelos estabelecimentos de grande porte, que conseqüentemente ocasiona maior descarte.

Separando por aceitação em participar no projeto, é possível identificar pela Tabela 6, quanto de resíduos seria destinado ao projeto para reaproveitamento.

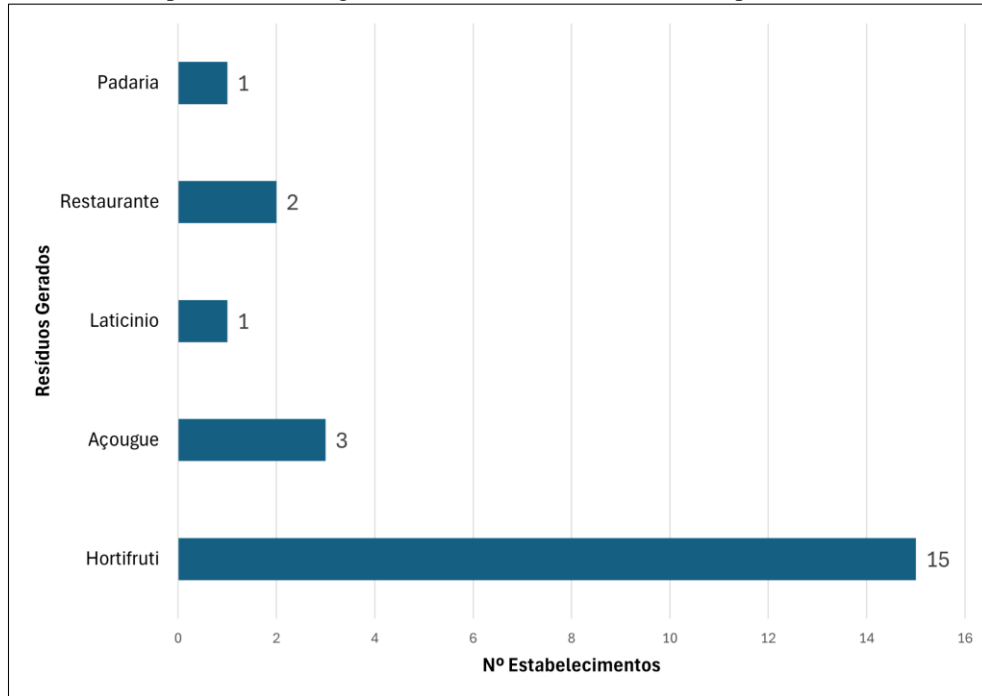
Tabela 6: Volume de resíduos gerados de acordo com a aceitação em participar do projeto

Total de resíduos gerados			
Aceitação em participar do projeto	Sim	Talvez	Não
Quantidade (l/dia)	160,0	1704,2	3248,5

Fonte: Elaborado pelo Autor

Percebe-se que a maior parte da geração dos resíduos está concentrada nos estabelecimentos que não aceitam participar do projeto, gerando 3248,5 l/dia. Enquanto os que aceitam fornecer, geram 160,0 l/dia (3,13% do total gerado).

Quanto ao tipo de resíduos gerados e descartados semanalmente pelos estabelecimentos (Gráfico 7), temos 5 categorias principais que se destacaram dentro da pesquisa: Hortifruti/Hortifrutigranjeiro, açougue, laticínio, restaurante e padaria.

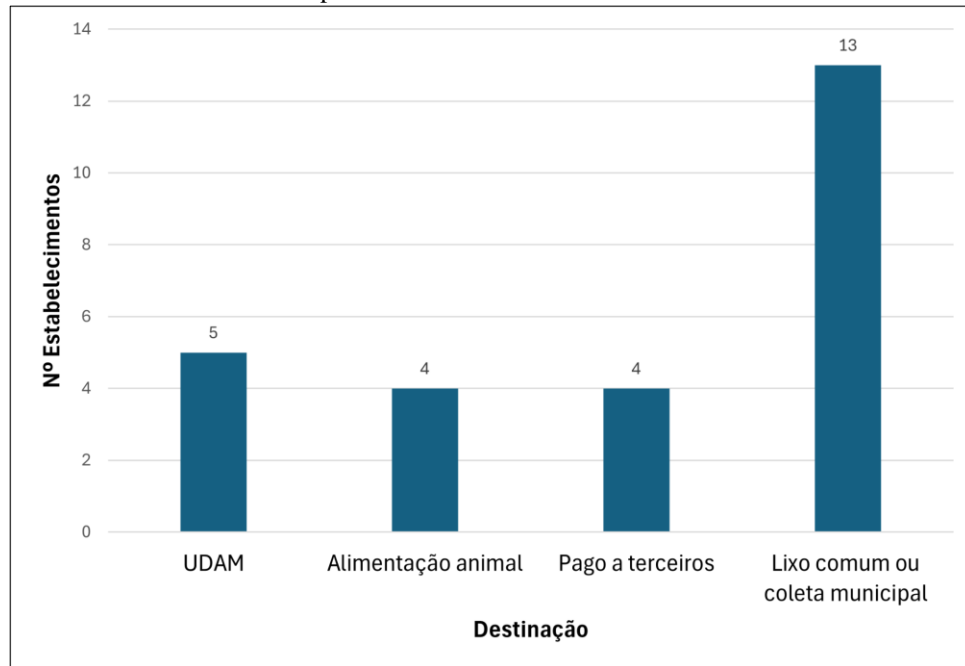
Gráfico 7: Tipos de resíduos gerados e descartados semanalmente pelos estabelecimentos

Fonte: Elaborado pelo Autor

Conforme apresentado no Gráfico 4, 60% dos estabelecimentos geram e descartam restos de hortifruti. Seguido de produtos advindos de açougue com 14% gerado.

Quanto à segregação dos resíduos, 17 estabelecimentos (81%) realizam algum tipo de separação entre orgânicos e não orgânicos. A prática mais comum é a segregação direta no local de origem, onde funcionários designados separam frutas, verduras e outros resíduos orgânicos dos demais resíduos. O armazenamento dos resíduos antes do descarte na maioria dos estabelecimentos (71,4%) é realizado em áreas específicas, variando entre depósitos ou contêineres adequados, e até mesmo em sacos comuns de lixo. Em relação aos problemas enfrentados com a gestão de resíduos, em geral, não representa um problema significativo para a maioria dos estabelecimentos entrevistados. No entanto, alguns expressaram desafios relacionados à frequência da coleta e à capacidade de armazenamento, o que pode impactar a eficiência do processo.

A coleta de resíduos orgânicos é realizada de forma variada, tendo 4 diferentes tipos de coleta (UDAM, Alimentação animal, Empresas terceirizadas e para a coleta municipal), como mostra o Gráfico 8.

Gráfico 8: Tipos de coletas realizadas nos estabelecimentos

Fonte: Elaborado pelo Autor

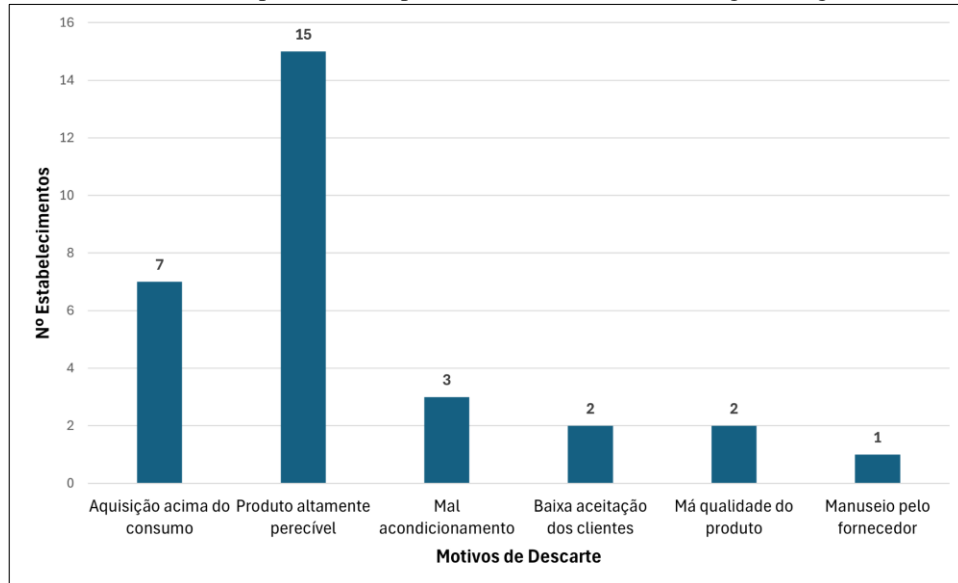
Dos estabelecimentos que disponibilizam a coleta dos resíduos sólidos orgânicos para doação, 5 destinam para UDAM (União dos Amigos de Rio Claro), uma Organização da Sociedade Civil, beneficente e sem fins lucrativos, oferecendo apoio a diversas demandas sociais na coleta dos resíduos orgânicos como frutas e alimentos que ainda podem ser reaproveitados e disponibilizam a comunidade. Enquanto outros fornecem para alimentação animal e também por empresas terceirizadas, e os dias variam entre os estabelecimentos.

Ainda em relação à coleta, 4 estabelecimentos realizam o pagamento de terceiros para a coleta dos resíduos recicláveis ou orgânicos, possivelmente por gerarem uma quantidade elevada de resíduos, 13 estabelecimentos utilizam a coleta seletiva realizada pela prefeitura ou catadores informais para os materiais recicláveis, e descartam os resíduos orgânicos no lixo comum.

A maioria dos estabelecimentos não colabora (52,4%) com a separação adequada dos resíduos recicláveis para a coleta seletiva realizada pelo município. Sendo realizada em 3 dias na semana (terça, quinta e sábado) de acordo com a região atendida pelo serviço.

Em relação aos principais motivos para o descarte dos resíduos orgânicos incluem a alta perecibilidade dos produtos, seguido por uma aquisição acima do consumo. Além de outros fatores que contribuem para o descarte (Gráfico 9).

Gráfico 9: Principais motivos para o descarte dos resíduos orgânicos gerados.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Percebe-se que 15 (71%) estabelecimentos entrevistados indicam que o descarte é realizado pela alta perecibilidade dos produtos de hortifruti, juntamente com a alta aquisição de 7 estabelecimentos, de determinados produtos que acabam não sendo vendidos e precisam ser descartados ou doados. Enquanto a maioria dos motivos atinge menos de 15% dos entrevistados.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados pode-se concluir que:

- Em relação a Quantificação de Resíduos Orgânicos do Restaurante Universitário (RU) foram identificados três pontos de geração de resíduos: Pré-preparo, cozinha e devolução das bandejas, gerando em média 7,9 kg/dia, 4,1 kg/dia e 11,2 kg/dia, respectivamente.
- Em relação a quantidade de resíduos gerados por refeição, foi obtida uma média de 72,5 g/refeição servida. A geração no setor “devolução das bandejas” corresponde a 46% (33,4 g/refeicao) do total gerado, que além da presença de cascas de frutas, sementes e ossos, pode sinalizar para um desperdício de alimentos.
- Em relação aos parâmetros de Compostagem pode se concluir que:
 - A temperatura variou de 27°C até 65°C, no pico da fase termofílica;
 - O pH se estabilizou entre 7 e 7,5 durante a fase de maturação;
 - A condutividade elétrica manteve-se abaixo do de 2000 μ S/cm durante todo o processo, elevando os valores com a adição de água no período de revolvimento e chuvas;
- Com mistura de poda e capina, a umidade estabilizou-se dentro da faixa ideal (40 a 60%) com 48,1%. E finalizando com um teor de umidade de 49,5% no composto curado;
- A porcentagem média de umidade dos resíduos orgânicos do restaurante foi de 79,7%. Já a porcentagem de sólidos voláteis e fixos foi de 90,3% e 9,7%, respectivamente.
- No início do processo de compostagem, a porcentagem de sólidos voláteis da leira foi de 90,3%, passando para 78% após 7 dias de compostagem ativa, chegando a 65,2% ao final do processo de compostagem, indicando a degradação do material orgânico e sua estabilização.

- Em relação aos estabelecimentos de hortifrúti, foram identificados 21 estabelecimentos no município, gerando aproximadamente 5.112,72 litros/dia. O processo de compostagem é pouco conhecido pelos gestores dos estabelecimentos. O destino dos resíduos orgânicos, uma parte é doada para o preparo de refeições entregues à moradores de rua, realizada por instituição de caridade. Uma pequena parte é doada para alimentação animal, e a maior parte destinada ao aterro sanitário.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23rd ed. Washington, D.C.: APHA, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13591: Compostagem de resíduos sólidos domiciliares: Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

BARRENA, R. et al. **Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review**. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444-5453. 2014.

BERNAL, M. P. et al. **Composting of organic wastes: an overview**. *Waste Management*, v. 29, n. 10, p. 2480-2492. 2009.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Política nacional de resíduos sólidos**. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 24 ago. 2024.

BROWN, K. et al. **Fundamentals of Composting: Understanding the Decomposition Process**. *Waste Management Journal*, v. 14, n. 3, p. 245-258, 2013.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 481, de 3 de outubro de 2017**. Define critérios e procedimentos para compostagem de resíduos orgânicos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2017.

COTTA, J. A. O. et al (2015). **Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem.** Eng. Sanit. Ambient.[online], vol.20, n.1.DOI. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000111864>>. Acesso em 26 set. 2024.

DIAS, B. **Compostagem e o meio ambiente.** São Paulo: Editora Ambiental, 2011.

EPSTEIN, E. **The science of composting.** New York: CRC Press. 1997.

FERNANDES, F.; DA SILVA, S. M. C. P. **Manual Prático para a compostagem de biossólidos.** Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/Livro%20Compostagem.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2024.

FIALHO, L, L. et al. EMBRAPA. **Monitoramento físico e químico do processo de compostagem de diferentes resíduos orgânicos.** São Carlos, SP, novembro, 2005.

GOYAL, S. et al. **Organic waste composting: A review of the factors affecting compost quality.** Bioresource Technology, v. 96, n. 14, p. 1574-1584. 2005.

HASSAN, M. A. et al. **Optimization of composting process: Effects of pH, temperature, and microbial diversity on the degradation of organic material.** Journal of Environmental Sciences, v. 37, p. 15-23, 2015.

HAUG, R. T. **The Practical Handbook of Compost Engineering.** CRC Press. 1993.

INSAM, H. et al. **Microbial communities in composting processes.** Composting for Sustainable Agriculture, p. 15-24. 2015.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos.** São Paulo: Ceres. Acesso em: 08 set. 2024. 1985.

KIEHL, E.J. **Preparo do Composto na Fazenda.** Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz” Universidade de São Paulo: Piracicaba. 1979.

LI, Z. et al. **Esperimental and modeling approaches for food waste composting: A review.** Chemosphere, Oxford, v. 93, n. 7, p. 1247-1257, 2013.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: Processo de baixo custo.** Viçosa, Minas Gerais: Ed. UFV, 2007. 81 p.

PICCIAFUOCO, B. F. **Avaliação Dos Resíduos Sólidos Gerados No Restaurante Universitário Da Unesp De Rio Claro: Uma Análise Do Potencial De Compostagem.** Trabalho de Conclusão de curso (engenharia ambiental). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2013.

PINTO, L. R. et al. **Projeto de compostagem da Universidade de São Paulo: gestão de resíduos orgânicos dos restaurantes universitários.** Revista Brasileira de Gestão Ambiental, v. 23, n. 1, p. 98-105, 2019.

PIRES, A. L. et al. **Temperature profile and microbiological changes during composting of organic waste: Effects of moisture content and particle size.** Waste Management & Research, v. 37, n. 6, p. 545-553. 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.** Rio Claro, 2021.

RICHARD, T. L.; WALKER, L. P. **Composting Process Control Based on pH and Temperature Fluctuations.** Compost Science & Utilization, v. 20, n. 4, p. 310-319, 2012.

RODRIGUEZ, H. et al. **Impacto da condutividade elétrica na qualidade do composto e no uso agrícola.** Revista de Ciências Ambientais, v. 19, n. 2, p. 115-124, 2014.

SILVA, F. C. **Análise Química de Compostos Orgânicos em Sistemas de Compostagem.** São Carlos: Embrapa, 2008.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos.** Brasília, DF, dezembro, 2022.

SMITH, S. R. et al. **Optimal moisture content of compost in bin and windrow systems.** Waste Management, v. 61, p. 486-495, 2017.

SOUZA, S. O. et al. **Compostagem: do lixo ao luxo.** Revista Brasileira de Compostagem, v. 15, n. 2, p. 102-115, 2012.

SUNDBERG, C. **Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting.** Bioresource Technology, v. 96, p. 145-150, 2005.

TAKEDA, C. M. **Compostagem dos resíduos orgânicos gerados no restaurante universitário do campus de Rio Claro.** Rio Claro, 2015.

TRAUTMANN, N.; KRASNY, M. **Composting in the Classroom: Scientific Inquiry for High School Students.** Ithaca: Cornell University Waste Management Institute, 1997.

VALENTE, B. S. et al. **Dinâmica da atividade microbiana no processo de compostagem: influência das condições ambientais e identificação de espécies.** Revista de Microbiologia Aplicada, v. 41, n. 4, p. 512-520, 2009.

ZHU, J. **Effects of temperature on the microbial community and their activities during the composting of organic waste.** Composting Science & Technology, v. 7, n. 3, p. 173-184. 2007.

APENDICE A – QUESTIONÁRIO SOBRE COMPOSTAGEM

1. Nome do estabelecimento
2. Endereço
3. Meio de contato
4. Qual seu cargo na empresa?
5. Qual o tipo de empreendimento?
 - Supermercado
 - Hortifrutigranjeiro
 - Outro:
6. Quais os produtos comercializados?
 - Hortifruti
 - Derivados de leite (Laticínios)
 - Açougue
 - Produtos de Limpeza
 - Produtos não perecíveis (Arroz, feijão, bebidas, enlatados, entre outros)
 - Produtos de Panificação e confeitaria
 - Restaurante
 - Paisagismo (Flores, mudas de plantas)
 - Outros:
7. Qual a quantidade de funcionários do empreendimento?
8. Qual a área do empreendimento?
9. Qual o número de caixas do empreendimento? (checkout)
10. Conhece sobre compostagem?
 - Sim
 - Não
 - Conhece Pouco
11. Se interessa pela compostagem?
 - Sim
 - Não

Talvez

12. Gostaria de participar do projeto de compostagem de resíduos orgânicos da UNESP, fornecendo os resíduos?

Sim

Não

Talvez

13. Aceitaria colocar um banner informativo do projeto no estabelecimento?

Sim

Não

14. Qual a estimativa de geração de resíduos orgânicos por semana/diária? (Em sacos de lixo, especificar o volume – 100 L)

15. É realizado algum tipo de segregação dos resíduos?

Sim

Não

16. Como é feita a segregação?

17. Existe algum armazenamento antes do descarte dos resíduos? Se sim, explique na próxima pergunta.

Sim

Não

18. Onde ficam armazenado os resíduos?

19. Quanto tempo ficam armazenados?

20. O manejo dos resíduos representa algum problema para o empreendimento?

Sim

Não

21. Como é realizada a coleta? E em quais dias da semana ela é feita?

22. O estabelecimento participa da coleta seletiva do município?

Sim

- Não

23. A coleta seletiva passa no estabelecimento? Quais os dias de coleta seletiva?

24. Qual a destinação final dos resíduos gerados?

- Aterro
- Reciclagem
- Doação como alimento para instituição de caridade
- Doação para alimentação animal

25. Há alguma doação dos resíduos? (Ex: adubação, alimentação animal, etc)

26. Quais os principais motivos para que você faça o descarte?

- Aquisição de quantidade acima do consumo
- Produto altamente perecível - curto prazo de validade
- Falta de espaço para acondicionamento sob refrigeração
- Baixa aceitação dos clientes sob determinado produto
- Má qualidade do produto
- Outro:

27. Quais os principais tipos de resíduos orgânicos gerados?

28. Há custos para a coleta ou é realizada pela prefeitura, sem custo?

29. Algum cliente já demonstrou interesse ou curiosidade a respeito do descarte dos resíduos gerados pelo estabelecimento?

30. Você acredita que a divulgação para os clientes do programa de compostagem de resíduos, poderia agradá-los ou atrair novos clientes?

- Sim
- Não
- Talvez

31. Tem interesse em fazer um Plano de Gestão Ambiental?

- Sim
- Não
- Talvez

32. Você acha que algo pode ser melhorado em relação à coleta? Como a UNESP pode ajudar?

33. Os fornecedores são da região de Rio Claro? Quais? E qual o endereço?

34. Quais os dias da semana em que há o recebimento de produtos?

35. Qual o fluxo semanal de clientes?

- 0 até 50 pessoas por semana
- 50 até 100 pessoas por semana
- 100 até 200 pessoas por semana
- 200 até 300 pessoas por semana
- Acima de 300 pessoas por semana

36. Há descarte de pilha/baterias e lâmpadas fluorescente?

- Não existe descarte
- Descarte junto aos resíduos comuns
- Entregue a coleta seletiva
- Outro