



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

GABRIEL BOUEZ PINHEIRO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO USO DE URINA HUMANA COMO FONTE DE NITROGÊNIO NA
COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS**

VITÓRIA

2019

GABRIEL BOUEZ PINHEIRO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO USO DE URINA HUMANA COMO FONTE DE NITROGÊNIO NA
COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção de título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. D. Ing. Ricardo Franci Gonçalves.

Co-orientador: Marco Antônio de Almeida Leal

VITÓRIA

2019

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os professores, sejam do meio acadêmico ou os professores que a vida nos traz, que possibilitaram com toda a sua dedicação e esforço em transmitir seus conhecimentos que eu pudesse chegar até aqui.

“Mesmo que centenas de luas se levantem e mil sóis se despontem no céu, ainda assim haverá profunda escuridão sem a presença do professor.”

Guru Nanak Ji

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, o grande engenheiro do universo, essa energia vital que flui em tudo o que é vivo e permeia todas as esferas de nossas vidas. A porção infinita dentro de nosso ser finito e que permite que façamos coisas das quais muitas vezes considerávamos impossíveis. Agradeço a todas as bênçãos e desafios vividos, afinal é superando-os que obtemos nossas maiores vitórias e crescimento.

À minha família que sempre me incentivou a seguir meus sonhos e sempre me apoiaram em minhas decisões.

Aos meus pais, Sonia e José Tarcizo, que nunca mediram esforços para garantir que a mim nada faltasse, que sempre priorizaram a minha educação e fizeram de tudo para que pudesse ter a melhor possível, sou imensamente grato, me sinto extremamente privilegiado e torço para que todos possam um dia também ter as oportunidades que tive.

Às minhas irmãs, Tania e Thaís, que sempre cuidaram de mim e sempre foram minha maior fonte de inspiração e incentivo para que seguisse os caminhos pelos quais segui. Aos meus cunhados, Manga e Thiago que chegaram em minha vida quando ainda era um “menino” e que contribuíram para o meu crescimento e amadurecimento. Aos meus sobrinhos João, Arthur, Olivia e Maria Luiza, por trazerem tantos momentos de alegria e carinho.

Aos meus padrinhos, Denise e João Marcos por também sempre estarem ao meu lado nos momentos mais importantes de minha vida. À minha “prima” Júlia que também fez parte destes momentos e de muitos outros.

À minha família alemã, que me hospedaram em sua casa por um ano inteiro e tanto me ensinaram neste período, e também em todos os outros reencontros que tivemos ao longo dos anos. Aos meus pais Claudia e Rüdiger e aos meus irmãos Florian, Ann-Kathrin e Sebastian. Vielen dank!

Ao meu “mozão”, Larissa que chegou à minha vida de maneira arrebatadora há pouco mais um ano, mas que parece que já faz anos, quiçá séculos, tamanha é a conexão de nossas almas. Agradeço por todos os momentos vividos desde então, por todo o suporte, por toda a alegria e leveza que trouxe à minha vida.

Ao professor, orientador Ricardo Franci que desde que cheguei como voluntário ao Núcleo Água me acolheu de braços abertos e me deu total confiança e liberdade para que pudesse realizar minhas experiências, principalmente aquelas voltadas à agroecologia que vem mudando a cara do núcleo e que pode vir a mudar também a vida de muitas pessoas por meio da educação ambiental.

Ao co-orientador Marco Antônio Leal, pesquisador da Embrapa, que conheci por meio de um curso EAD sobre compostagem e que me ofereceu todo o suporte e orientação para que este trabalho pudesse ser realizado da melhor maneira possível.

Ao professor Sérgio Túlio e a Renate Wanke que compuseram a banca e aceitaram o desafio de em tão curto prazo avaliar este trabalho.

A todos os meus colegas do Núcleo Água, que viraram uma família para mim, uma vez que o próprio núcleo se tornou uma segunda casa, já que em muitos momentos estive mais presente nele do que em minha própria casa. Agradeço a toda convivência com esses pesquisadores incríveis que me inspiraram e tanto me ensinaram sobre a arte de fazer pesquisa. Em especial àqueles que participaram dos projetos Estruvita e Supercomposto, foram muitos desafios enfrentados e muitas conquistas também, e só conseguimos superar os desafios por meio da força do grupo.

Ao LABSAN, Laboratório de Saneamento da UFES, e todos o seus técnicos e apoiadores, por me darem todo o suporte e permitirem que as análises necessárias a esta pesquisa fossem realizadas.

À UFES, que apesar das dificuldades pôde me proporcionar um ensino público de altíssima qualidade. Agradeço também a todos os servidores e terceirizados que fazem com que a universidade funcione, e também a toda população brasileira que

contribui para que as universidades públicas existam e possam oferecer todo o potencial que elas possuem de maneira que isso possa ter um retorno positivo para a sociedade.

.À FAPES, Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo, pela bolsa na modalidade ICT – Iniciação Científica e Tecnológica, do Edital FAPES/SEAG Nº 06/2015 – PPE AGROPECUÁRIA, e por ter tornado esse trabalho possível, por meio do financiamento e apoio de nossos projetos. Que continue investindo na pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias tão importantes para o desenvolvimento de nossa sociedade.

Aos meus professores, desde aqueles da creche, passando pelo ensino infantil, fundamental, médio e superior. Cada um teve sua parcela de contribuição para a minha formação e para que pudesse chegar até aqui e ser quem eu sou. Inclui-se também na lista de professores todos aqueles que de alguma maneira puderam compartilhar de alguma forma seu conhecimento.

Aos meus colegas da engenharia ambiental, foram muitos períodos que pareciam intermináveis e intransponíveis, mas a ajuda mútua para superar esses desafios foi essencial. Aos momentos de diversão e alegria também, afinal nem só de prova final vive o estudante de engenharia.

Aos meus amigos que cultivei ao longo dos anos, aqueles do Monteiro, do AFS (em especial a galera do Anchita), da Toca e de todas as conexões inesperadas que a vida nos traz.

Um agradecimento especial também aos meus professores de Kundalini Yoga que fizeram chegar a mim esta tecnologia tão revolucionária que promoveu uma grande transformação na minha vida e segue em constante processo de mudança e superação.

Aos meus colegas/professores do curso de formação em KY de Belo Horizonte, que me acolheram tão bem e que ao longo de um ano muito intenso tivemos a oportunidade de vivenciar muitos momentos especiais e desafiadores de mudança.

Agradeço também a toda Sangat de BH. Sat Nam!

E por fim, a todos aqueles que de alguma maneira contribuíram na minha vida, para minha formação e desenvolvimento pessoal e profissional.

RESUMO

A demanda por alimento, a geração de resíduos e o uso de fertilizantes agrícolas estão intimamente ligados, são diretamente proporcionais e tendem a aumentar juntamente com o crescimento populacional que ocorre no mundo. A compostagem de resíduos orgânicos, embora seja uma tecnologia simples de ser implantada e que já vem sendo estudada há décadas, quando realizada de maneira adequada se mostra altamente eficiente, transformando a matéria orgânica em um composto estável e rico em macronutrientes com características bastante desejadas ao uso agrícola. Além disso, esta é uma alternativa mais sustentável aos fertilizantes químicos, uma vez que a compostagem integra um sistema de reaproveitamento de nutrientes de resíduos de forma a disponibilizá-los novamente ao solo. Por ser um processo de natureza biológica, a correta manutenção dos parâmetros que o regem para que este ocorra de maneira ótima e eficiente é imprescindível. Um dos principais parâmetros é a relação do carbono com o nitrogênio, conhecida com relação C/N, a qual muitos autores consideram 30/1 como sendo a ideal. Diante deste cenário, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o uso de urina humana como fonte de nitrogênio na compostagem de resíduos orgânicos, por meio da realização de experimentos comparativos. Os experimentos foram conduzidos em um pátio de compostagem construído no Núcleo Água dentro do *campus* da UFES e os resíduos utilizados foram todos coletados na própria universidade. Utilizou-se de resíduos orgânicos do restaurante universitário e resíduos de poda de árvores e aparas de grama. Foram montadas duas leiras com estes resíduos, sendo que a uma delas se adicionou a urina humana no início do processo, a fim de se corrigir a relação C/N. Os experimentos foram monitorados por 120 dias e tiveram suas características aferidas. Os resultados indicaram que o uso da urina humana significou uma redução na relação C/N inicial como esperado e o comportamento de ambas as leiras de compostagem foram bem semelhantes, de maneira que a urina não trouxe prejuízos ao processo e pode ser considerado viável o seu uso como fonte de nitrogênio inicial no processo.

Palavras-chave: Resíduos orgânicos. Compostagem. Urina humana.

ABSTRACT

Food demand, waste generation and fertilizers use are connected, directly proportional and tend to increase as the world population grows. Although organic waste composting is a simple technology to be implemented and has been studied for decades, when the process is correctly made it can be highly effective in its proposal, which is to transform organic matter into a stable and rich in macronutrients compost with desirable characteristics for agricultural use. Composting is a sustainable alternative for the use of chemical fertilizers, once it integrates a system of nutrient recovery from wastes as a way to make them available to the soil. Due to its biological nature, the proper maintenance of some parameters that rule the process of composting is essential to an optimal and efficient process. One of the most important parameters is the relationship between carbon and nitrogen, known as C/N ratio, which many authors consider the 30/1 ratio as the ideal. Considering these aspects, this present work had as a goal to evaluate the use of human urine as a nitrogen source in an organic waste composting process by the execution of comparative experiments. The experiments were made in a constructed composting yard in Núcleo Água inside UFES's campus and the wastes used were collected in the university. Wastes from the university's restaurant and from tree pruned and grass trim were collected. Two rows were assembled, in one of them human urine was added in the beginning of the process so that the C/N ratio could be adjusted. The experiments were monitored through 120 days and had their characteristics checked. The results showed that the use of human urine produced a decrease in the initial C/N ratio as expected and the behavior of both rows were very similar, in a manner that the use of urine hasn't represented prejudice to the process, and can be considered feasible its use to an initial source of nitrogen.

Keywords: Organic waste. Composting. Human urine.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos resíduos sólidos segundo o artigo 13 da Lei 12.305/2010	27
Figura 2 - Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (T/dia)	28
Figura 3 - Gráfico da variação da temperatura na pilha em função do tempo de compostagem.....	32
Figura 4 - Caçamba contendo os resíduos gerados pelo restaurante universitário...39	
Figura 5 - Local na UFES de Goiabeiras de disposição de resíduos triturados de poda de árvore (esquerda) e resíduos de limpeza e manutenção do campus (direita)	39
Figura 6 - Área do Núcleo Água destinada à construção do pátio de compostagem	41
Figura 7 - Pátio de compostagem construído.....	41
Figura 8 - Croqui esquemático do projeto para o pátio de compostagem em área do Núcleo Água.....	42
Figura 9 – Coleta (esquerda) e transporte (direita) dos resíduos do restaurante universitário	43
Figura 10 - Resíduos não orgânicos retirados durante o processo de triagem	44
Figura 11 - Pesagem dos resíduos coletados (esquerda) e posterior trituração (direita)	45
Figura 12 - Resíduos orgânicos do restaurante universitário depois de triturados....	45
Figura 13 - Resíduo triturado de poda de árvores (RPA) (esquerda) e resíduo de aparas de grama (RAG) (direita)	46

Figura 14 - Disponibilização dos resíduos triturados de poda árvore pela prefeitura universitária em área do Núcleo Água	47
Figura 15 - Mictório seco masculino (esquerda) e cartaz informativo a cerca do uso dos mictórios secos (direita).....	48
Figura 16 - Mictório seco feminino (esquerda) e seu reservatório para coleta da urina (direita)	48
Figura 17 - Bombona de 20 litros utilizada no transporte da urina (esquerda) e bombona de 200 litros utilizado para o armazenamento da urina coletada (direita) .	49
Figura 18 - Resíduos orgânicos coletados em sacos separados por tipo de resíduos	50
Figura 19 - Amostra de resíduo misturada após o descongelamento (esquerda) e quarteamento inicial para retirada de amostra representativa (direita)	51
Figura 20 - Montagem intercalada de resíduos com cobertura final de apra de grama	53
Figura 21 - L1 após a montagem inicial e cobertura com resíduos de apra de grama	54
Figura 22 - Pote identificado e fechado contendo a amostra composta retirada da leira durante o revolvimento	57
Figura 23 - Esquema das atividades realizadas no dia de revolvimento das leiras...	57
Figura 24 - Peneira granulométrica com abertura de 0,5 mm (esquerda) e amostras secas após trituração e peneiramento (direita)	60
Figura 25 - "Teste da mão": Material com umidade adequada (esquerda) e material com baixo teor de umidade (direita)	61
Figura 26 - Bloco microdigestor com controle de temperatura (esquerda) e destiladora para análise de NTK (direita)	65

Figura 27 - Balões volumétricos contendo diferentes concentrações de fósforo em reação com a solução vanadomolibdica para a curva de calibração	67
Figura 28 - Pote de incubação contendo a amostra, um recipiente com a solução de NaOH e outro com a solução indicadora de ácido bórico (esquerda) e o mesmo pote de incubação tampado, identificado e vedado com filme plástico (direita).....	69
Figura 29 - Cartela Quanti-tray analisada sob luz ultravioleta	71
Figura 30 - Logomarca do projeto Revolução dos Baldinhos (esquerda) e Bombona de 50 litros utilizada em um ponto de entrega voluntária de resíduos orgânicos (direita)	75
Figura 31 - Gráfico da variação da temperatura de L1 ao longo do processo de compostagem.....	89
Figura 32 - Gráfico da variação da temperatura de L2 ao longo do processo de compostagem.....	89
Figura 33 – Gráfico da variação da umidade em L1 e da umidade relativa do ar em função do tempo.....	91
Figura 34 - Gráfico da variação da umidade em L2 e da umidade relativa do ar em função do tempo.....	91
Figura 35 - Gráfico da umidade relativa do ar durante o período de compostagem..	92
Figura 36 – Gráfico da precipitação média diária no período dos experimentos.....	93
Figura 37 - L2 com um rastro de líquido deixado pela lixiviação após fortes chuvas	94
Figura 38 - Interior de L1 durante o primeiro revolvimento (a) e close no material coberto com uma camada esbranquiçada	95
Figura 39 - Material aglomerado aos 30 dias de compostagem de L1 (esquerda) e material aglomerado com dimensões reduzidas aos 45 dias de compostagem de L1 (direita)	95

Figura 40 - Gráfico da variação do pH de L1 e L2 em relação ao tempo de compostagem.....	96
Figura 41 - Gráfico da variação da CE de L1 e L2 em relação ao tempo de compostagem.....	97
Figura 42 - Gráfico da perda de massa seca de L1 e L2 em relação ao tempo de compostagem.....	98
Figura 43 - Gráfico da variação do volume de L1 e L2 em relação ao tempo de compostagem.....	98
Figura 44 - Gráfico da variação da densidade seca de L1 e L2 em relação ao tempo de compostagem.....	100
Figura 45 - Gráfico da variação dos SVT de L1 e L2 em relação ao tempo de compostagem.....	101
Figura 46 - Gráfico da variação da emissão de CO ₂ de L1 e L2 em relação ao tempo de compostagem.....	102
Figura 47 - Gráfico da variação da emissão de NH ₃ de L1 e L2 em relação ao tempo de compostagem.....	103
Figura 48 - Amostra inicial do material de L1 (esquerda) e amostra final do composto obtido de L1 (direita)	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Parâmetros avaliados, frequência de análise e metodologias utilizadas.59

Quadro 2 – Caracterização físico-química dos ROA utilizados em L179

Quadro 3 – Caracterização físico-química dos ROA utilizados em L280

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de resíduos coletados e suas quantidades totais	76
Tabela 2 – Caracterização inicial dos resíduos	77
Tabela 3 – Tipos de resíduos utilizados em L1 e suas quantidades	81
Tabela 4 – Teores de C, N e relação C/N da mistura RPA + RAG (30%-70%) e ROA	82
Tabela 5 - Proporções de resíduos utilizados em L1	82
Tabela 6 - Volumes totais de resíduos em L1	82
Tabela 7 – Características físico-químicas iniciais de L1	83
Tabela 8 – Tipos de resíduos utilizados em L2 e suas quantidades	84
Tabela 9 – Parâmetros calculados para a mistura ROA + RPA + RAG e da UH	85
Tabela 10 – Proporções de resíduos utilizados em L2.....	85
Tabela 11 – Volumes totais de resíduos em L2	85
Tabela 12 - Características físico-químicas antes e após a adição de UH	87
Tabela 13 - Balanço de massa seca dos tratamentos L1 e L2.....	99
Tabela 14 - Dimensões iniciais e finais de L1 e L2	99
Tabela 15 - Características do composto de L1 no início e ao final do processo de compostagem.....	105
Tabela 16 - Características do composto de L2 no início e ao final do processo de compostagem.....	106

Tabela 17 - Parâmetros das características do composto final de L1 e L2 frente à legislação vigente.....	107
--	-----

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

APHA – American Public Health Association

CE – Condutividade Elétrica

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COT – Carbono Orgânico Total

CT – Centro Tecnológico

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

E. coli – *Escherichia coli*

EPA - U.S. Environmental Protection Agency

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IN – Instrução Normativa

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada

L1 – Leira 1

L2 – Leira 2

Labsan – Laboratório de Saneamento da UFES

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MO – Matéria Orgânica

NA - Núcleo Água

NBR – Norma Técnica

NMP – Número Mais Provável

NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl

OVH – Ovos Viáveis de Helminthos

PBS - Solução Salina Fosfatada Tamponada

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

RAG – Resíduos de Aparar de Grama

RMS – Redução de Massa Seca

ROA – Resíduos Orgânicos Alimentares

RPA – Resíduos de Poda de Árvore

RS – Resíduos Sólidos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

RU – Restaurante Universitário

SGA – Sistema de Gestão Ambiental

SVT – Sólidos Voláteis Totais

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

UTM – Universal Transversa de Mercator

UH – Urina Humana

UV - Ultravioleta

VUC - Veículo Urbano de Carga

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
2 OBJETIVO	25
2.1 OBJETIVO GERAL	25
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
3 REVISÃO DA LITERATURA	26
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS	26
3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	27
3.3 O PROCESSO DE COMPOSTAGEM	29
3.4 FATORES INTERVENIENTES NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM	31
3.1.1 Temperatura	31
3.1.2 pH.....	32
3.1.3 Umidade.....	32
3.1.4 Aeração.....	33
3.1.5 Relação Carbono/Nitrogênio	34
3.1.6 As diferentes formas de compostagem.....	35
3.5 LEGISLAÇÃO	35
3.6 A URINA HUMANA.....	36
3.1.7 Uso da urina na agricultura	37

3.1.8 Uso da urina na compostagem.....	37
3.7 A SITUAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NA UFES	38
4 MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1 CONSTRUÇÃO DO PÁTIO DE COMPOSTAGEM.....	40
4.2 RESÍDUOS ORGÂNICOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO.....	43
4.3 COLETA E ARMAZENAMENTO DA URINA HUMANA.....	47
4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E DA URINA.....	49
4.5 MONTAGEM DO EXPERIMENTO	52
4.5.1 Tratamento 1 (L1).....	52
4.5.2 Tratamento 2 (L2).....	54
4.6 REVOLVIMENTO E MONITORAMENTO DAS LEIRAS.....	55
4.7 ANÁLISES LABORATORIAIS	58
4.7.1 Preparação das amostras	59
4.7.2 Análise de umidade	60
4.7.3 Análise de sólidos voláteis totais	62
4.7.4 Análise de pH e condutividade elétrica	62
4.7.5 Análise de densidade	63
4.7.6 Análise de carbono orgânico total	64
4.7.7 Análise de nitrogênio total.....	64
4.7.8 Análise de fósforo total.....	66

4.7.9	Análise de emissões potenciais de CO₂ e NH₃	68
4.7.10	Análise de coliformes termotolerantes (E. coli)	70
4.7.11	Análise de ovos viáveis de helmintos	71
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
5.1	CAMPANHA DE COLETA DE ROA	74
5.2	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS COLETADOS	75
5.2.1	Composição gravimétrica	75
5.2.2	Caracterização físico- química	77
5.3	MONTAGEM DO EXPERIMENTO	80
5.3.1	Tratamento 1: Leira 1 (L1)	80
5.3.2	Tratamento 2: Leira 2 (L2)	83
5.4	MONITORAMENTO DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM	88
5.4.1	Temperatura	88
5.4.2	Umidade	90
5.4.3	pH e condutividade elétrica	96
5.4.4	Perda de massa e volume	97
5.4.5	Densidade	99
5.4.6	Sólidos voláteis totais	100
5.4.7	Emissões potenciais de CO₂ e NH₃	101
5.4.8	Análises microbiológicas	104

5.4.9 Caracterização do composto obtido.....	105
6 CONCLUSÃO	109
SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	111
REFERÊNCIAS.....	112

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos grandes desafios no que concerne à administração pública de grandes centros urbanos é o correto e eficaz gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU). No Brasil, as observações verificadas a partir dos dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB 1989, 2000 e 2008 mostram que há um crescimento substancial da quantidade de lixo que recebe destinação final adequada, tendo alcançado, em 2008, 66,4% do lixo coletado (IBGE, 2012). Entretanto, o panorama realizado em 2008 pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), traz o valor de 55% do lixo coletado, enquanto que para o ano de 2017 a disposição final adequada de RSU teve um índice de 59,1% (ABRELPE, 2008; ABRELPE, 2017). Segundo Fagundes (2009), dentre os problemas sérios causados pela inadequada disposição dos resíduos, dadas as suas características físicas, químicas e biológicas estão, a contaminação do solo e da água (superficial e subterrânea), geração de odores, ou ainda, atração e proliferação de patógenos e vetores, caso não seja coletado, tratado e disposto de maneira adequada.

O Diagnóstico de Resíduos Sólidos publicado pelo Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA, 2012), aponta que em 2008 o Brasil coletou 183.481,5 toneladas de resíduos sólidos por dia, e que 51,4% deste total referem-se à fração de matéria orgânica, correspondendo a um total de 94.309,5 toneladas por dia, sendo que apenas 1,6% destes resíduos orgânicos são destinados para unidades de compostagem, de forma que o restante é encaminhado para outros destinos finais, como aterros controlados, sanitários e vazadouros a céu aberto.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída a partir da Lei 12.305 de 2010 estabelece a compostagem como uma reciclagem ambientalmente adequada. O composto obtido através deste processo é altamente estabilizado e rico em macronutrientes, tornando-o um excelente produto para adubação vegetal. Já a alternativa ao adubo orgânico, os fertilizantes químicos, provou-se insustentável uma vez que a principal fonte de fosfato utilizada na sua produção são rochas fosfatadas cujas reservas tendem a se esgotar futuramente (LADESMA, 2014).

A compostagem é um processo de degradação da matéria orgânica que ocorre em meio aeróbio controlado, em que há desprendimento de gás carbônico, água – na forma de vapor – e energia, realizado por uma colônia mista de microrganismos que converte os resíduos em um composto estabilizado, eliminando patógenos (LOUREIRO *et al.*, 2007; MELO, 2014).

Outra fonte importante de nutrientes presentes no saneamento básico está no efluente oriundo do esgotamento sanitário doméstico. Estudos mostram que a urina, embora represente apenas 1% do volume total de efluentes domésticos, contém aproximadamente 80% do N. Além disso, a urina apresenta, ainda, em sua composição 55% do fósforo (P) e 60% do magnésio (Mg) contidos neste tipo de efluente. Dessa forma, a urina se apresenta como excelente fonte de recuperação de nutrientes (N, P e Mg).

A utilização de resíduos do saneamento ambiental visando à fabricação de fertilizantes alternativos apresenta-se como uma grande oportunidade de geração de novos produtos, além de agregar valor a materiais geralmente considerados como rejeitos. Portanto, o desenvolvimento de novas tecnologias sustentáveis que visem à recuperação de energia, água e nutrientes por meio de processos de engenharia, é uma demanda crescente e um desafio para os tempos atuais em que a escassez dos recursos naturais está altamente em voga.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo realizar um estudo comparativo ao avaliar o uso de urina humana como fonte adicional de nitrogênio no processo de compostagem de resíduos orgânicos. O sítio de estudo consistiu no *campus* da UFES de Goiabeiras e os resíduos orgânicos provenientes do restaurante universitário e de podas e manutenção da área verde do *campus*. Por meio do monitoramento de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, ao longo de 120 dias acompanhou-se a transformação destes resíduos em um composto estável de grande valor na busca por uma agricultura mais sustentável.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a utilização de urina humana no processo de compostagem de resíduos sólidos orgânicos do *campus* da UFES por meio da realização de dois experimentos comparativos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os resíduos sólidos orgânicos e a urina humana utilizados nos experimentos de compostagem;
- Verificar o efeito da mistura de resíduos sólidos orgânicos e urina no processo de compostagem.

3 REVISÃO DA LITERATURA

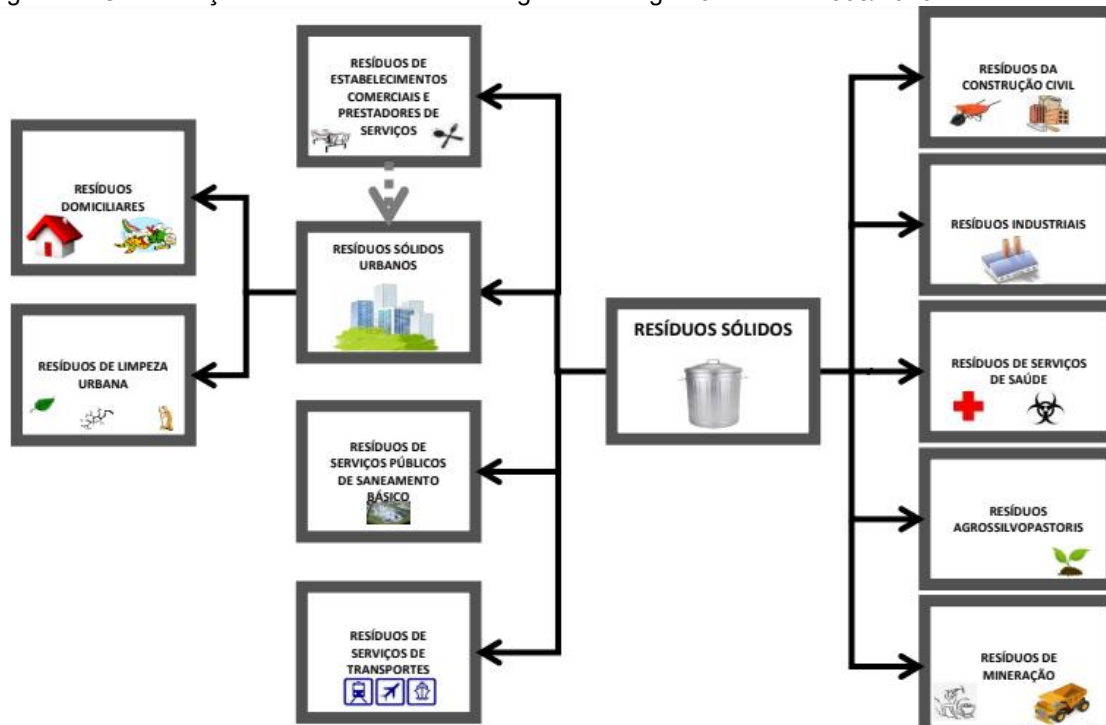
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

Em 2 de agosto de 2010 foi publicada a Lei nº 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que traz no art. 3º, inciso XVI, a seguinte definição de resíduos sólidos:

“material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;

A partir desta definição é possível observar que há uma grande diversidade e complexidade dentro da temática de resíduos sólidos. Os resíduos sólidos (RS) são classificados no art. 13º, inciso I da PNRS quanto a sua origem e periculosidade. Em relação à origem, os RS são classificados em: resíduos domiciliares, resíduos de limpeza urbana, resíduos sólidos urbanos, resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, resíduos dos serviços públicos de saneamento básico, resíduos industriais, resíduos de serviço de saúde, resíduos da construção civil, resíduos agrosilvopastoris, resíduos de serviço de transportes e resíduos de mineração. Já em relação à periculosidade são classificados como perigosos e não perigosos, sendo que os resíduos perigosos são aqueles que apresentam certo grau de risco à qualidade ambiental ou à saúde pública devido às suas características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade.

Figura 1 - Classificação dos resíduos sólidos segundo o artigo 13 da Lei 12.305/2010



Fonte: Schalch (2013) *apud* Guermandi (2015).

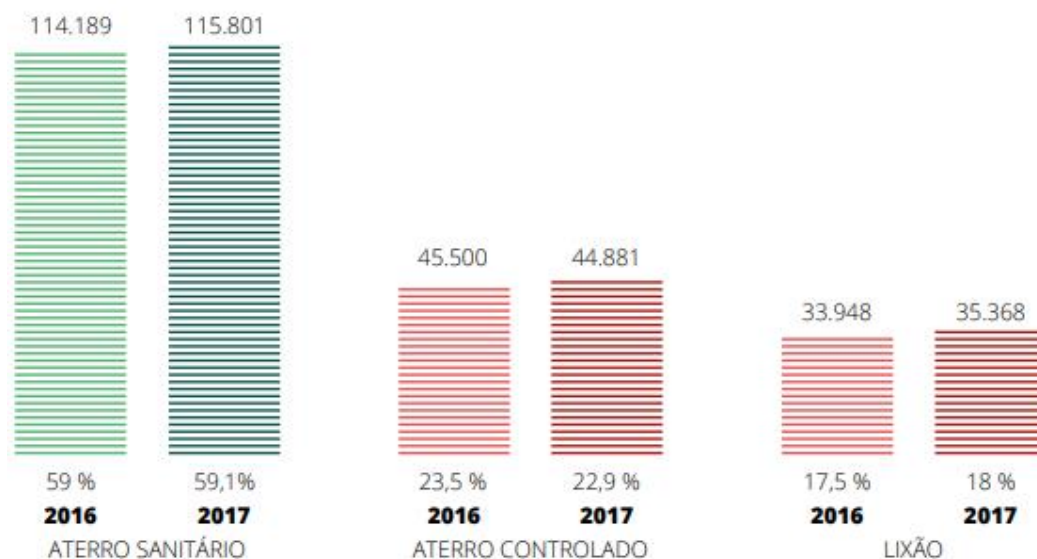
3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Conforme descrito pela PNRS, os resíduos sólidos urbanos (RSU) são compreendidos por resíduos de: origem domiciliar, atividades domésticas em residências urbanas, limpeza urbana originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, e demais serviços de limpeza urbana.

Segundo ABRELPE (2017), foi gerado um total anual de 78,4 milhões de toneladas de RSU no país em 2017, sendo que o montante coletado neste mesmo ano foi de 71,6 milhões de toneladas, registrando um índice de cobertura de 91,2%, evidenciando que 6,9 milhões de toneladas de resíduos não foram objeto de coleta e, conseqüentemente, tiveram destino impróprio. Além disso, apenas 42,3 milhões de toneladas, ou 59,1% do total coletado, foram dispostos em aterros sanitários, de maneira que os 40,9% restante dos resíduos coletados foram despejados em locais inadequados por 3.352 municípios brasileiros, totalizando mais de 29 milhões de

toneladas de resíduos em lixões ou aterros controlados, conforme observado na Figura 2. Esta situação provoca grandes riscos sociais, ambientais e à saúde da população, uma vez que estes locais não possuem medidas e sistemas de controle ambiental, ao contrário dos aterros sanitários que segundo, Perreira Neto (2007), devem apresentar cuidados especiais neste sentido, como drenagem de águas pluviais, tratamento de chorume, drenagem e tratamento dos gases originários de um rígido controle operacional e monitoramento do processo das emissões líquidas, gasosas e dos possíveis impactos ambientais, a fim de evitar danos ao meio ambiente e prejuízos à saúde pública.

Figura 2 - Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (T/dia)



Fonte: ABRELPE (2017).

Segundo Pereira Neto (2014), estes resíduos tem uma composição bastante variada, em função, principalmente, das características ambientais e socioeconômicas da população que os gera. O autor destaca que para a caracterização destes resíduos um parâmetro importante é a composição gravimétrica, que significa o peso e o valor percentual de cada componente da massa de resíduos, sendo que para o Brasil essa composição gravimétrica média de resíduos gerados pode ser dividida em 2% de plástico rígido, 1,5% de vidro, 2,7% de plástico-filme, 5% de papelão, 8,5% de papel, 1,5% de metais, 14,8% de resíduos diversos como couro, trapo, cerâmica, osso, madeira, etc. e 64% de matéria

orgânica. Dessa maneira, é possível observar que mais da metade dos resíduos sólidos urbanos gerados no país é composta por matéria orgânica.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) previu, no art. 36, inciso V, a compostagem como uma forma de tratamento adequada para a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. Este processo é entendido como reciclagem, no art. 3, incisos XIV e XV, desta mesma Lei, uma vez que a compostagem promove a transformação de resíduos orgânicos em adubos e fertilizantes, de maneira que estes resíduos não devem ser considerados indiscriminadamente como rejeitos (BRASIL, 2010).

3.3 O PROCESSO DE COMPOSTAGEM

O processo de compostagem apresenta diversas vantagens ambientais, podendo-se destacar o aumento da vida útil do aterro sanitário, a redução na emissão do gás metano e na geração do lixiviado, em contrapartida, podemos citar como impactos negativos a possibilidade de produção de maus odores e o escoamento de chumbo (MASSUKADO, 2008). Entretanto, Massukado (2008), ressalta que a adoção de cuidados essenciais permite reduzir ou até mesmo, evitar esses impactos negativos.

Durante a compostagem várias são as espécies de microrganismos que atuam no processo de degradação da matéria orgânica, dentre estes se destacam as bactérias, fungos, protozoários e actinomicetos (PEREIRA NETO, 2014). Estes grupos de microrganismos podem ser classificados de acordo com a temperatura em que atuam em: psicrófilos (temperaturas de 10-20°C), mesófilos (de 20-45°C) ou termófilos (de 45-65°C).

O processo de compostagem ocorre em quatro fases, sendo estas: inicial, termofílica, mesofílica e maturação e estão ligadas diretamente entre outros fatores à temperatura no interior da leira ou pilha de compostagem. Estas podem, também, ser divididas em duas fases principais, sendo a primeira fase principal a de oxidação, também chamada de degradação ativa ou bioestabilização e que engloba as fases inicial, termofílica e mesofílica, e a segunda fase principal que é a própria fase de maturação ou humificação, na qual o composto passa por um processo de

estabilização da sua fração húmica. O composto obtido através deste processo é altamente estabilizado e rico em macronutrientes, tornando-o um excelente produto para adubação vegetal. (KIEHL, 2012; MMA, 2017; PEREIRA NETO, 2014).

Segundo documento do Ministério do Meio Ambiente (MMA) (BRASIL, 2017), a fase de degradação ativa pode ser caracterizada por uma decomposição rápida de polissacarídeos e proteínas, transformados em açúcares simples e aminoácidos, respectivamente e pelas reações bioquímicas de oxirredução. Este documento ressalta ainda que é justamente nesta fase que ocorre a maior redução de volume e peso da leira de compostagem, devido à liberação de gás carbônico (CO₂), calor e água. Já a fase de maturação ocorre ao final da fase mesofílica e é quando ocorre a decomposição de ácidos orgânicos e de substâncias como a celulose e a lignina, presentes nas partículas maiores e mais resistentes à degradação. Esta fase é o estágio final do processo de degradação da matéria orgânica, quando o composto produzido adquire as qualidades desejadas para seu uso na agricultura. Dentre as propriedades físico-químicas pode-se citar a neutralização do pH, redução da relação carbono/ nitrogênio e aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), que é a medida da capacidade do composto de disponibilizar cátions para as plantas (KIEHL, 2012; BRASIL, 2017).

Como a compostagem é um processo biológico, este dependente da ação de microrganismos, o que torna necessário que alguns parâmetros sejam atendidos de maneira a se criar um ambiente propício ao crescimento e desenvolvimento destes agentes decompositores. Souza (2014), cita como sendo os fatores mais importantes a serem monitorados: temperatura, pH, umidade, aeração e a relação dos nutrientes carbono/nitrogênio (relação C/N) . Por ser um tema que já vem sendo intensivamente estudado ao longo dos anos, a literatura traz essas condições ideais bem descritas.

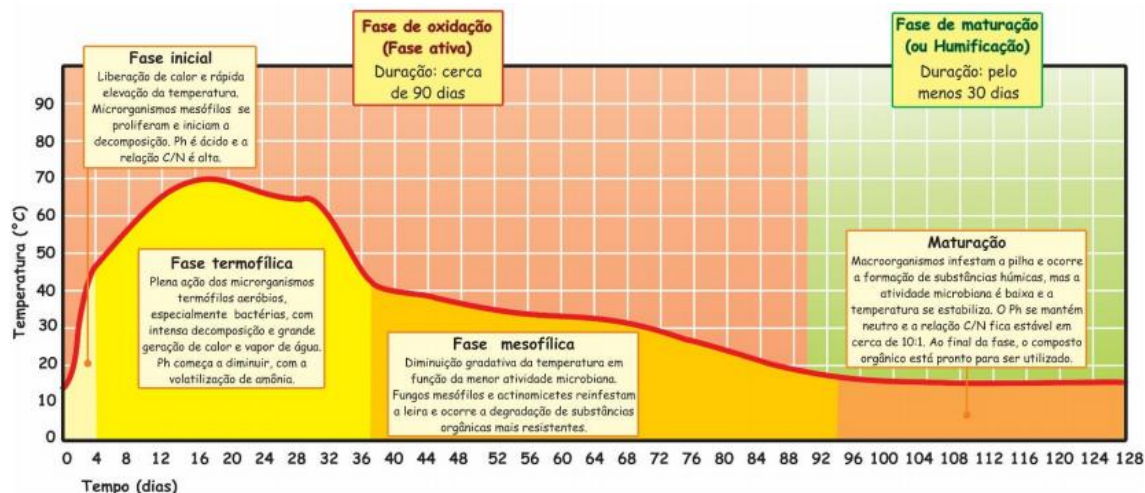
3.4 FATORES INTERVENIENTES NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

3.1.1 Temperatura

A elevação da temperatura do substrato é o primeiro indicativo de que o processo de compostagem teve início. Segundo Kiehl (2012), logo após a montagem da leira, a temperatura desta pode ser menor do que a do ambiente, devido ao resfriamento provocado pela evaporação da água presente na decomposição da massa, sendo esta fase denominada de psicrófila. Passado este período, a atividade microbiológica de decomposição provoca o aumento da temperatura, atingindo inicialmente a fase mesófila e posteriormente a fase de temperaturas mais elevadas, denominada termofílica e retorna à fase mesofílica ao final do processo de degradação ativa. Segundo o *Institute for Solid Wastes of American Public Works Association*, 1970, a fase mesofílica compreende as temperaturas entre 15 a 43°C, sendo a faixa ótima estando entre 25-40°C e as temperaturas da fase termofílica na faixa de 25-85°C e a faixa ótima compreendida entre 50-55°C. Observa-se que nessas faixas de temperatura ocorre uma sobreposição entre os grupos de bactérias mesófilas e termófilas, ressalta-se que os valores para cada uma das faixas variam um pouco de acordo com os diferentes autores. Ao se manter a temperatura termofílica (45 °C a 65 °C) o sistema de compostagem pode funcionar de maneira plena, além de garantir a eliminação dos microrganismos patogênicos e inativação de sementes (PEREIRA NETO, 2014).

Em um processo controlado no qual as condições próximas as ideais são mantidas, a posterior queda de temperatura pode ser o indicativo de que o processo de decomposição inicial, compreendida pela fase de degradação ativa chegou ao final e temperaturas próximas ao do ambiente serão mantidas durante a fase de maturação. Quedas de temperaturas durante a fase de decomposição podem indicar inatividade dos microrganismos devido a condições ambientais desfavoráveis. O controle de temperatura pode ser feito mediante revolvimentos, umectação e adequação do formato da leira ou pilha de compostagem. O comportamento da temperatura ao longo do processo de compostagem pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 - Gráfico da variação da temperatura na pilha em função do tempo de compostagem



Fonte: BRASIL (2017).

3.1.2 pH

A reação da matéria orgânica produz um meio de característica ácida, de forma que inicialmente uma leira de compostagem deve apresentar um pH mais baixo devido à esta reação ácida. Com a compostagem há formação de ácidos húmicos que também reagem com elementos químicos básicos, formando humatos alcalinos (KIEHL, 2012). Desta maneira, ao longo do processo de compostagem a tendência é que ocorra uma elevação no valor do pH, alcançando valores superiores a 8,0 ao final do processo.

3.1.3 Umidade

A umidade é outro parâmetro de fundamental importância para que as condições sejam propícias para a atividade microbiana, uma vez que a presença de água é imprescindível para as necessidades fisiológicas destes organismos. Segundo Kiehl (2012), caso a umidade esteja abaixo de 40% haverá decomposição aeróbia, entretanto, esta ocorrerá de maneira muito lenta. No entanto, se a umidade estiver acima de 60% o material estará muito molhado ou encharcado, de forma que a água ocupa os interstícios antes ocupados de ar, ocasionando, portanto uma decomposição com partes anaeróbias, podendo resultar na produção de odores desagradáveis. Sendo assim, o valor ótimo de umidade a ser mantido é de 55%,

conforme observado por Snell (1957) que avaliou o consumo de oxigênio em relação ao teor de umidade.

3.1.4 Aeração

Como a compostagem é um processo aeróbio, que segundo Kiehl (2012), é caracterizado pela alta temperatura desenvolvida no composto, pela ausência de maus odores, pelo tempo menor de degradação da matéria orgânica e pelas reações de oxidação e oxigenação. Dessa forma, a presença de oxigênio livre é fundamental para o desenvolvimento dos organismos aeróbios, de tal maneira que a aeração se torna um dos fatores mais importantes a ser considerado na prática da compostagem.

A aeração das leiras de compostagem é dependente da granulometria do material. Outrossim, de acordo com Fialho et al. (2005), partículas muito pequenas tendem a ocupar espaços vazios da massa de compostagem e comprometem a oxigenação e a atividade aeróbia dos microrganismos decompositores. Segundo Fialho *et al.* (2005), a granulometria das partículas deve estar na faixa de 20 a 70 mm, enquanto Pereira Neto (2014) afirma que a faixa ótima está em torno de 10 a 50 mm. Apesar de a literatura apontar faixas distintas, levar em consideração o tamanho das partículas se justifica pois, além da aeração, a granulometria influencia no tempo de decomposição, uma vez que quanto menor a dimensão da partícula, maior a superfície de contato a ser degradada pelos microrganismos, promovendo, assim, uma decomposição mais acelerada.

Existem mecanismos capazes de promover a aeração, podendo elas serem mecânicas por meio da insuflação de ar por bombas ou manuais com o revolvimento das leiras. O revolvimento é um mecanismo importante a ser considerado, uma vez que além de promover a aeração do composto, também promove a homogeneização do material, permitindo a uniformidade do tratamento e contribuindo para um maior controle sanitário, uma vez que favorece o contato de uma maior parte de material com temperaturas mais elevadas (KIEHL, 2012).

3.1.5 Relação Carbono/Nitrogênio

Outro fator muito importante a ser considerado para se considerar nos processos de compostagem é a relação carbono/nitrogênio (C/N) inicial. Diversos autores já estudaram os valores ideais desta relação, sendo estes na faixa de 25/1-35/1, sendo o valor teórico mais favorável o de 30/1, pois os microrganismos sempre absorvem o carbono e o nitrogênio nesta proporção, independente da relação que a matéria-prima possua (KIEHL, 2012). Sendo assim, ao se montar a leira de compostagem deve-se calcular a mistura de materiais ricos em nitrogênio com materiais ricos em carbono, de forma a se obter uma relação C/N próximo ao ideal teórico de 30/1. Kiehl (2012) traz como exemplo o emprego do fertilizante ureia (rico em nitrogênio) na compostagem de cascas de pinus (rico em carbono), de maneira a reduzir a relação C/N desta matéria-prima. O autor ainda cita que a recomendação deste exemplo pode ser aplicada a outros materiais, desde que seja economicamente viável.

Uma vez humificado, o composto terá uma relação C/N próximo a 10/1. Uma relação C/N elevada, por exemplo, 60/1 implicará em um tempo de compostagem maior, uma vez que irá faltar nitrogênio para os microrganismos, que será reciclado entre as células microbianas até degradação total da matéria orgânica, por outro lado, o excesso de carbono é eliminado na forma de gás carbônico. (KIEHL, 2012). Kiehl (2012) traz, ainda, que se por outro lado a relação C/N baixa 6/1, por exemplo, o excesso de nitrogênio será eliminado pelos microrganismos na forma de amônia, até que a relação chegue a 30/1.

Em suma, a relação C/N além de ser um parâmetro importante para o dimensionamento inicial da compostagem é um indicativo do grau de maturidade do composto, uma vez que independente da relação inicial esta será adequada para 30/1 e posteriormente ao longo do processo haverá uma redução nesta até atingir um valor próximo a 10/1 que indica um composto humificado. O uso preferencial do material após sua transformação pelo processo de compostagem se justifica pelo fato deste já estar estabilizado e disponível às plantas, enquanto um composto com baixa relação C/N aplicado diretamente ao solo provocará um desprendimento de

amônia que é danoso à plantas, por outro lado o uso de materiais com esta relação elevada irá provocar o consumo de nitrogênio do solo pelos microrganismos, causando deficiência temporária às plantas.

3.1.6 As diferentes formas de compostagem

A compostagem pode ser realizada utilizando-se diversos métodos, sendo os mais comuns os métodos de leira estática, leira aerada mecanicamente, leira aerada por revolvimento, compostagem em reatores, vermicompostagem (com o uso de minhocas) e compostagem laminar. Cada um destes métodos tem suas vantagens, desvantagens que variam de acordo com sua aplicação. (KIEHL, 2012; PEREIRA NETO, 2014)

Para o método da compostagem em leiras as formas mais comumente utilizadas são as pilhas para menores volumes e as leiras que podem ter o formato triangular ou trapezoidal. Sendo que a leira de formato triangular reduz a infiltração de águas de chuva, sendo assim indicada para períodos de maior pluviometria, enquanto a leira de formato trapezoidal permite uma maior infiltração e é indicada para épocas mais secas do ano. (NUNES, 2009)

3.5 LEGISLAÇÃO

Resolução N° 481 do CONAMA (CONAMA, 2017) estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e para a proteção do meio ambiente e o reestabelecimento do ciclo natural da matéria orgânica e seu papel natural de fertilizar os solos. Embora esta resolução não se aplique a processo de compostagem de baixo impacto ambiental (definido segundo alguns critérios), a resolução traz uma série de requisitos a serem cumpridos durante a realização do processo de compostagem, visando à produção e obtenção de um composto seguro e de qualidade. Existem também outras normas na legislação brasileira que regulamentam a utilização agrícola do composto orgânico.

A Instrução Normativa SDA/MAPA N° 25 do MAPA (MAPA, 2009) 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 biofertilizante destinados à agricultura.

A Instrução Normativa N° 5 do MAPA (MAPA, 2016) estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura.

Já a Instrução Normativa SDA/MAPA N° 27 do MAPA (MAPA, 2016b) trata dos limites dos contaminantes, com suas concentrações máximas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas para a produção, importação ou comercialização de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes.

Pode-se citar ainda a Lei nº 10.831 de 23 de dezembro de 2003 que dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências, e é conhecida como “Lei dos Orgânicos”. Esta lei traz em seu artigo 1º, parágrafo 1º, inciso VI que a finalidade de um sistema de produção orgânico é a reciclagem de resíduos de origem orgânica, reduzindo ao mínimo o emprego de recursos não-renováveis. Desta maneira, é possível identificar na compostagem, um processo apto a ser utilizado no sistema de produção orgânica.

3.6 A URINA HUMANA

Uma importante fonte de nutrientes presentes no saneamento básico está no efluente oriundo do esgotamento sanitário doméstico. Estudos mostram que a urina, embora represente apenas 1% do volume total de efluentes domésticos, é a fração que contém aproximadamente 80% do N, de tal maneira que a urina pode ser uma excelente fonte de recuperação de N. Além disso, a urina apresenta, ainda, em sua composição 55% do fósforo (P) e 60% do magnésio (Mg) contidos neste tipo de efluente, sendo esta, portanto, uma importante fonte destes outros macronutrientes.

O uso da urina na agricultura embora apresente grande capacidade de fertilizar os solos, além de proporcionar economia considerável de água, pois não é mais necessário o transporte hídrico, ainda é um insumo de difícil aceitação pública uma vez que há o risco de contaminação por microorganismos patogênicos (vírus, bactérias, protozoários e helmintos). Apesar de que a urina no interior de humanos saudáveis é praticamente livre de patógenos (GONÇALVES *et al.*, 2006)

A elevada incidência de patógenos em amostras de urina humana frescas (homens e mulheres) foi observada por Zancheta (2007), que estava em torno de $1,0E+11$ NMP 100mL^{-1} de coliformes termotolerantes. A inativação completa desses microorganismos foi verificada em apenas duas semanas de higienização, apresentado valores abaixo de $1,0E+00$ NMP 100mL^{-1} . A higienização da urina é feita por meio do processo de estocagem, no qual ocorre a elevação de pH e consequente inativação de patógenos. Botto (2013) observou que um período de 36 dias foi suficiente para promover a inativação de coliformes termotolerantes. Bená Filho (2019) concluiu em seu estudo que a estocagem da urina é um método de higienização de baixo custo.

3.6.1 Uso da urina na agricultura

O uso mais comumente realizado da urina na agricultura é por meio da utilização desta de forma diluída na fertirrigação como fertilizante nos cultivos agrícolas. Diversos estudos apontam como sendo favorável seu uso como fonte de nutriente para os vegetais por meio da avaliação de seu uso em várias culturas, analisando, principalmente, as características agrônômicas e o teor de nutrientes nas plantas e no solo (ARAUJO *et al.*, 2014; MOTA *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2015).

3.6.2 Uso da urina na compostagem

Apesar do uso da urina humana diretamente como fertilizante na agricultura já estar sendo estudado por diversos autores, seu uso ainda é um pouco limitado e a busca por novas maneiras de aproveitar seus nutrientes se torna uma oportunidade do desenvolvimento de novas abordagens. Guedes (2016) destaca que a urina humana pode ser incluída no processo de compostagem como fonte de nutrientes,

especialmente o nitrogênio, sendo este um elemento de vital importância à atividade microbiológica envolvida no processo. Embora ainda haja muitos poucos estudos na literatura que utilizem a urina na compostagem, sendo um destes o estudo realizado por Guedes (2016) que concluiu que o uso da urina pode ser utilizado como insumo para a compostagem, servindo tanto como fonte de nutrientes como para controle de umidade das pilhas.

3.7 A SITUAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NA UFES

Atualmente a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) não conta com um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) em vigência, de tal maneira que não há um plano de gerenciamento para os resíduos sólidos gerados nos *campi* da universidade, ou seja, a segregação dos diversos tipos de resíduos não é uma prática institucionalizada, apesar de haver pontos de coleta seletiva no *campus* de Goiabeiras e de um local de transbordo para os resíduos recicláveis. A falta de um sistema de gestão para os resíduos implica em práticas pouco sustentáveis no que concerne no aproveitamento destes, bem como na sua destinação adequada.

Dentre os tipos de resíduos gerados na UFES, destacam-se os de origem orgânica, uma vez que dentro do *campus* de Goiabeiras funcionam dois restaurantes e diversas cantinas espalhadas dentro de sua propriedade, sendo que destes, o restaurante universitário (RU) pode ser considerado o maior gerador de resíduos orgânicos alimentares (ROA), tendo em vista que segundo informações da Diretora do Departamento de Gestão dos Restaurantes/Pró-Reitoria de Gestão de Pessoas da UFES, em 2018, serviu-se uma média de 8.210 refeições diariamente nos cinco *campi* da universidade. O *campus* de Goiabeiras foi responsável por quase metade deste total, tendo sido servido neste, uma média de 4.080 refeições por dia. Este número é, portanto, um indicativo da quantidade de resíduos gerados pelo RU diariamente, sendo boa parte destes de origem orgânica. Estes resíduos são depositados em caçamba (Figura 4) para coleta da prefeitura de Vitória a fim de dar sua destinação final em um aterro sanitário.

Figura 4 - Caçamba contendo os resíduos gerados pelo restaurante universitário



Fonte: Autoria própria (2019).

Outros tipos de resíduos orgânicos gerados em grandes quantidades são aqueles provenientes da manutenção do *campus*, dentre os quais se podem citar os de limpeza e varrição (composto principalmente por folhas de árvores), e os de poda de árvore e apara de grama, resultantes da manutenção das áreas verdes da UFES. Os resíduos de poda de árvore são triturados e dispostos em pilhas em uma área do *campus*, já os de limpeza e apara de grama são, em sua maioria, colocados dentro de sacos plásticos e despejados em local próximo ao das pilhas de material triturado. A Figura 5 mostra o local de despejo destes.

Figura 5 - Local na UFES de Goiabeiras de disposição de resíduos triturados de poda de árvore (esquerda) e resíduos de limpeza e manutenção do campus (direita)



Fonte: Autoria própria (2019).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CONSTRUÇÃO DO PÁTIO DE COMPOSTAGEM

A fim de se realizar o experimento foi feita a adequação do espaço físico em uma área do núcleo água com a construção de um pátio de compostagem. Para a construção deste foi considerada a área total disponível e a área total necessária tanto para a montagem do experimento quanto para operações futuras que possam vir a serem realizadas no espaço. No Brasil ainda não há uma legislação ou Norma Brasileira (NBR) segundo a ABNT que traga orientações técnicas a cerca da construção de um pátio de compostagem. No desenvolvimento do projeto foram consideradas as recomendações dadas no documento da Agência de Proteção Ambiental estadunidense, EPA (1994). O pátio foi construído em piso impermeabilizado, com declividade de 2-4% (RYNK, 1992 apud EPA, 1994) e sistema de drenagem e coleta do lixiviado e das águas pluviais. A fim de se evitar a entrada de águas pluviais advindas de áreas externas ao pátio, foi construída uma mureta de 40 cm no perímetro do pátio. Construiu-se, também, uma mureta no centro do pátio de maneira a dividi-lo em duas seções com sistemas de drenagem segregados, possibilitando que seja feita a coleta dos líquidos lixiviados de maneira distinta, anteriormente ao tratamento destes. Duas rampas de acesso foram incluídas no projeto.

As fotos da área destinada à construção do pátio de compostagem e a mesma posteriormente com o pátio pronto, podem ser vistas nas Figura 6 e Figura 7, respectivamente. Para a execução do projeto foi desenhado um croqui esquemático deste (Figura 8).

Figura 6 - Área do Núcleo Água destinada à construção do pátio de compostagem



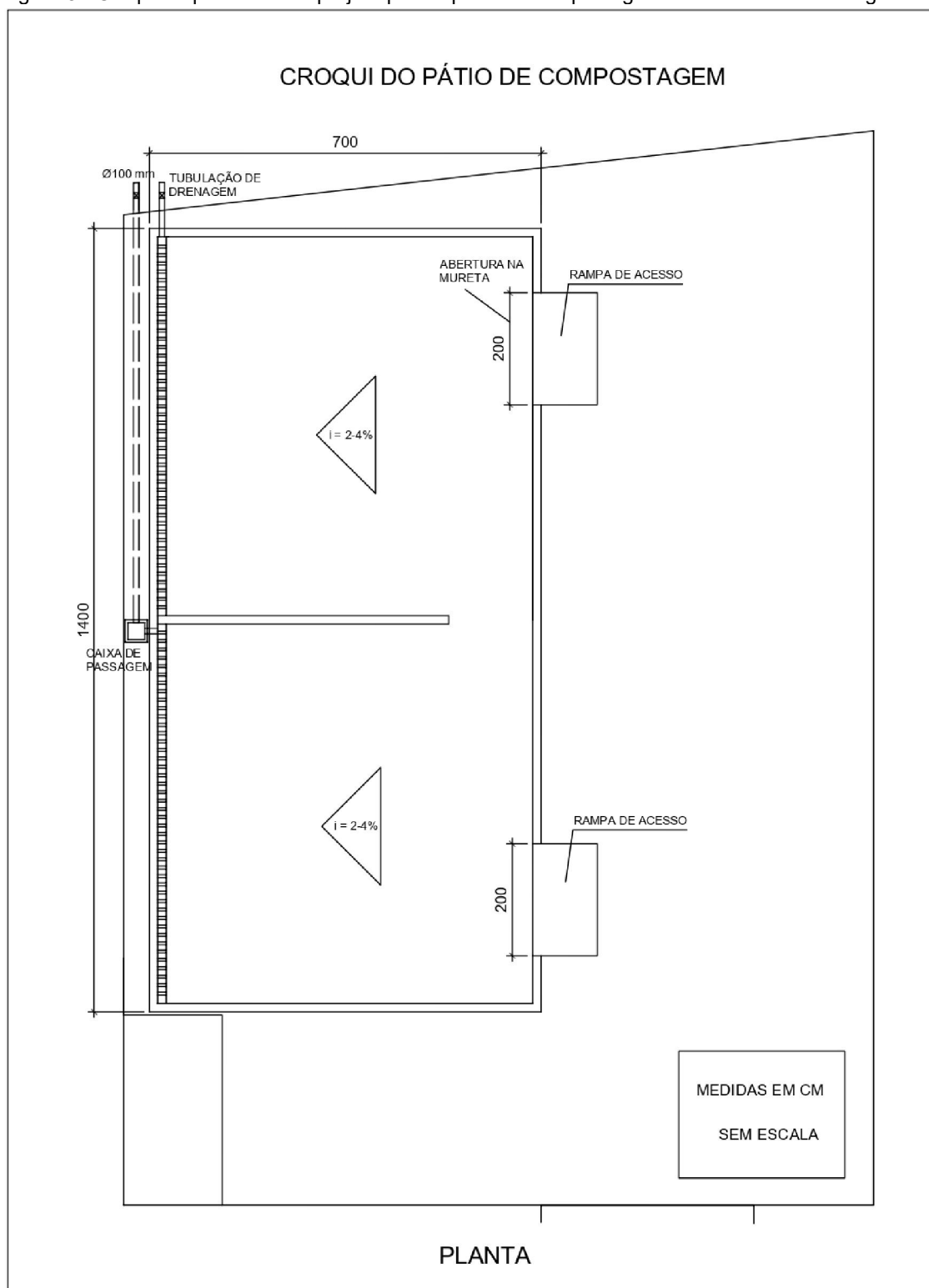
Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 7 - Pátio de compostagem construído



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 8 - Croqui esquemático do projeto para o pátio de compostagem em área do Núcleo Água



Fonte: Autoria própria (2019).

4.2 RESÍDUOS ORGÂNICOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO

Para a montagem das leiras de compostagem foram utilizados resíduos orgânicos alimentares (ROA) compostos por restos de frutas, legumes, verduras e cascas de ovo descartados no processo de preparo das refeições de almoço e janta servidos no Restaurante Universitário (RU) da UFES no *campus* de Goiabeiras. Os resíduos já acondicionados em sacos plásticos foram coletados em dois contentores de 700 litros e transportados por um Veículo Urbano de Carga (VUC) até o Núcleo Água, conforme visto na Figura 9.

Figura 9 – Coleta (esquerda) e transporte (direita) dos resíduos do restaurante universitário



Fonte: Autoria própria (2019).

Após o transporte dos resíduos até o NA, foi feita a triagem, esta etapa é de suma importância uma vez que materiais não compostáveis podem estar presentes misturados com os resíduos orgânicos. Foram encontradas luvas, máscaras, panos e embalagens plásticas conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Resíduos não orgânicos retirados durante o processo de triagem



Fonte: Autoria própria (2019).

Feita a triagem, os resíduos foram, então, pesados e triturados em triturador de resíduos orgânicos (Figura 11) os resíduos depois de triturados podem ser vistos na Figura 12. As coletas ocorreram durante a semana nos dias de funcionamento do RU, sempre a partir das 16h de maneira a contemplar os resíduos do almoço e da janta.

Figura 11 - Pesagem dos resíduos coletados (esquerda) e posterior trituração (direita)



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 12 - Resíduos orgânicos do restaurante universitário depois de triturados



Fonte: Autoria própria (2019).

A fim de se obter uma relação C/N de 30, considerada ótima pela literatura, utilizou-se também material rico em carbono composto por resíduos de poda de árvores (RPA) previamente triturados e os resíduos de aparas de grama (RAG) podem ser vistos na Figura 13.

Figura 13 - Resíduo triturado de poda de árvores (RPA) (esquerda) e resíduo de aparas de grama (RAG) (direita)



Fonte: Autoria própria (2019).

Estes resíduos provenientes do processo de manutenção das áreas verdes do *campus* da UFES de Goiabeiras foram disponibilizados pela Prefeitura Universitária diretamente em um pátio localizado dentro do Núcleo Água Figura 14.

Figura 14 - Disponibilização dos resíduos triturados de poda árvore pela prefeitura universitária em área do Núcleo Água



Fonte: Autoria própria (2019).

4.3 COLETA E ARMAZENAMENTO DA URINA HUMANA

A urina utilizada no experimento foi coletada em mictórios secos masculinos (Figura 15) e femininos (Figura 16) instalados nos banheiros do prédio do CT-I e do Núcleo Água. Estes foram os mesmo modelos de mictório utilizados nos estudos de Memelli (2019) e Bená Filho (2019), sendo que este último concluiu em sua pesquisa que houve aceitação por parte da população pesquisada quanto ao uso destes modelos de mictório seco.

Figura 15 - Mictório seco masculino (esquerda) e cartaz informativo a cerca do uso dos mictórios secos (direita)



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 16 - Mictório seco feminino (esquerda) e seu reservatório para coleta da urina (direita)



Fonte: Autoria própria (2019).

O transporte da urina foi realizado em bombonas plásticas de 20 litros. Posteriormente, a urina foi transferida para bombonas plásticas escuras de 200 litros onde foi armazenada (Figura 17) por um período mínimo de 30 dias a fim de garantir uma redução dos níveis de patógenos presentes na urina promovida pelo aumento do pH neste período conforme observado na literatura.

Figura 17 - Bombona de 20 litros utilizada no transporte da urina (esquerda) e bombona de 200 litros utilizado para o armazenamento da urina coletada (direita)



Fonte: Autoria própria (2019).

4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E DA URINA

Devido ao caráter heterogêneo e variação tanto em tipo quanto em quantidade dos resíduos provenientes do restaurante universitário realizou-se uma pré-caracterização destes. Para isso, foi feita uma campanha de coleta destes resíduos no período de 25/03/2019 a 06/07/2019, na qual em um primeiro momento avaliou-se apenas a quantidade de resíduos coletados, por meio da pesagem dos mesmos. Sendo que no período de 10/06/2019 a 06/07/2019 os resíduos coletados foram pesados separadamente de acordo com seus tipos, uma vez que estes foram segregados em sacos separados por tipo já na fonte geradora (Figura 18). Dessa forma, foi possível identificar um perfil dos tipos de resíduos mais gerados no

período, e suas quantidades e proporções baseadas no peso destes em relação ao peso total dos resíduos coletados.

Figura 18 - Resíduos orgânicos coletados em sacos separados por tipo de resíduos



Fonte: Autoria própria (2019).

A cada dia coletou-se amostras representativas de 1 kg destes ROA, por meio de uma composição gravimétrica proporcional ao peso total. Essas amostras foram trituradas, acondicionadas em potes plásticos e congeladas para análises laboratoriais posteriores.

As análises foram realizadas em amostras de resíduos escolhidas ao acaso de quatro dias de quatro semanas diferentes, de maneira a identificar as características médias deste tipo de resíduo, a fim de se planejar e dimensionar o experimento.

A Figura 19 mostra o processo de quarteamento da amostra, esse processo foi repetido para a mesma amostra diversas vezes até se atingir o volume desejado de amostra conforme recomendação da NBR 10.007:2004 da ABNT. Este processo é importante para a obtenção de uma amostra representativa de toda a amostra inicial

para a realização das análises. Os resíduos analisados são referentes aos dias 12/06, 17/06, 24/06 e 02/07 de 2019.

Figura 19 - Amostra de resíduo misturada após o descongelamento (esquerda) e quarteamento inicial para retirada de amostra representativa (direita)



Fonte: Autoria própria (2019).

Toda a quantidade de resíduo rico em carbono (poda de árvores + apara de grama) utilizada no experimento foi disponibilizada em uma única vez, de forma que foi possível se obter uma amostra representativa de cada um destes resíduos utilizados na montagem dos experimentos, a fim de se caracterizar o material por meio de análises laboratoriais.

A urina após armazenamento em torno de 30 dias atinge pH próximo a 10, que é quando ocorre a precipitação natural de compostos cristalinos como estruvita e hidroxihapatita, a fim de se identificar a influência destes compostos na relação C/N foram tomadas amostras do sobrenadante da urina armazenada, bem como desta após o revolvimento e mistura da mesma. Os dois tipos de amostra foram coletados em recipientes de borosilicato e levados para análises em laboratório.

4.5 MONTAGEM DO EXPERIMENTO

Os experimentos de compostagem foram realizados no pátio construído e localizado no Núcleo Água – Núcleo de bioengenharia aplicada ao saneamento da UFES no *campus* de Goiabeiras em Vitória, Espírito Santo, com coordenadas geográficas UTM 24K 363.493 m E, 7.757.870 m S. Foi feita a montagem de duas leiras de compostagem em formato trapezoidal, esse formato foi escolhido devido a melhor distribuição de temperatura no interior da leira, bem como uma melhor infiltração da água da chuva, uma vez que os experimentos foram conduzidos durante o período seco do ano, o que torna este formato mais recomendado conforme descrito por Nunes (2009). Cada leira recebeu um tipo de tratamento diferente e foi monitorada por um período de 120 dias.

5.5.1 Tratamento 1 (L1)

Para a primeira leira (L1) utilizou-se os ROA coletados do restaurante universitário em cinco dias diferentes, de segunda a sexta-feira, no período entre 08/07/2019 e 12/07/2019, os resíduos coletados e transportados para o Núcleo Água foram pesados, triturados e tiveram seus volumes medidos por meio da utilização de uma bacia de 60 litros, um balde de 30 litros e outro de 7,7 litros. Suas respectivas amostras foram separadas (analogamente ao que foi feito na pré-caracterização considerou-se as proporções com base no peso dos diferentes tipos de resíduo para a formação de uma amostra representativa), armazenadas em potes plásticos resistentes ao congelamento e congeladas para análises posteriores.

A cada dia de coleta os resíduos foram dispostos no pátio de compostagem em camadas diárias intercaladas entre ROA do dia, uma camada de resíduos de poda de árvore triturada seguida de uma cobertura de aparas de grama (Figura 20). A temperatura dessa pilha foi verificada diariamente a fim de se identificar possíveis aumentos contundentes de temperatura que indicariam o começo da fase de degradação ativa, fato não observado neste período.

Figura 20 - Montagem intercalada de resíduos com cobertura final de aparas de grama



Fonte: Autoria própria (2019).

Ao final do último dia de coleta foi possível calcular o volume complementar necessário de material rico em carbono a fim de se obter a relação C/N de 30 desejada. Para tanto, fixou-se uma proporção de 30% e 70% para os resíduos de poda de árvore e aparas de grama e capim, respectivamente, calculou-se a relação C/N da mistura e a quantidade total de cada um desses materiais demandada. Uma vez que a relação C/N é calculada com base na massa seca dos materiais foi necessário considerar a densidade seca que foi calculada a partir da densidade úmida e do teor de matéria seca dos materiais, de tal maneira que fosse possível descobrir o volume da mistura em relação ao volume de ROA. O volume complementar foi, portanto, calculado descontando o volume total necessário do volume já utilizado ao longo dos cinco dias.

O tempo 0 (zero) do experimento foi considerado no dia posterior ao quinto dia de coleta dos ROA quando adicionou-se o volume complementar de resíduos ricos em carbono e a pilha de resíduos foi, então, completamente revirada e misturada. A mistura dos materiais foi disposta em camadas de maneira a montar uma leira de formato trapezoidal que ao fim foi coberta com uma fina camada de resíduos de aparas de grama, a fim de se evitar a atração de vetores (Figura 21). O período de condução experimento de compostagem da L1 ocorreu no período de 13/07/2019 a 10/11/2019, completando, assim, os 120 dias propostos.

Figura 21 - L1 após a montagem inicial e cobertura com resíduos de aparas de grama



Fonte: Autoria própria (2019).

5.5.2 Tratamento 2 (L2)

Para a segunda leira (L2) buscou-se realizar o mesmo procedimento adotado para L1, entretanto, a coleta de resíduos do RU foi reduzido para quatro dias, uma vez que devido à baixa demanda do restaurante na semana, na sexta-feira, 19/07, não houve geração de resíduos. A coleta se deu, portanto, de segunda a quinta-feira, entre os dias 15/07/2019 e 18/07/2019, o que resultou em uma quantidade de resíduos ligeiramente menor que a utilizada no tratamento 1. De maneira análoga, os resíduos foram coletados e transportados para o NA onde passaram pelos processos de pesagem, trituração e medição de volume. Também tiveram suas amostras representativas separadas e congeladas.

Assim como para L1, os ROA foram colocados em camadas diárias alternadas com o material rico em carbono, formando uma pilha que teve sua temperatura medida diariamente. A montagem da leira seria realizada após o quinto dia, no sábado, 20/07/2019, entretanto, devido às fortes chuvas que ocorreram neste dia e no dia posterior, a montagem se deu na segunda-feira, 22/07/2019.

Para o cálculo das proporções de resíduos considerou-se o volume de ROA coletado, a partir do qual se estipulou uma relação C/N de 32 a ser atingida com a

adição dos materiais ricos em carbono (na mesma proporção de 30% e 70%), calculou-se, então, o volume a ser agregado destes materiais, descontado o volume já acrescido ao longo dos quatro dias. A fim de se atingir a relação C/N de 30 utilizou-se a urina humana previamente armazenada, que teve seu volume calculado com base nos volumes dos outros materiais.

Por fim, todos os materiais foram misturados e dispostos em camadas formando a leira no formato trapezoidal e coberta com uma camada fina de aparas de grama. O período do experimento de compostagem da L2 ocorreu no período de 22/07/2019 a 19/11/2019, completando, assim, os 120 dias propostos.

5.6 REVOLVIMENTO E MONITORAMENTO DAS LEIRAS

Com o intuito de se realizar uma melhor homogeneização, garantindo, assim, que um maior número de partículas tenha contato com o interior da leira (local onde o tratamento ocorre de maneira mais acentuada), bem como promover a aeração das leiras, a fim de se obter as condições ótimas para o desenvolvimento das bactérias aeróbias, foram feitos revolvimentos periódicos, sendo estes mais frequentes no período inicial.

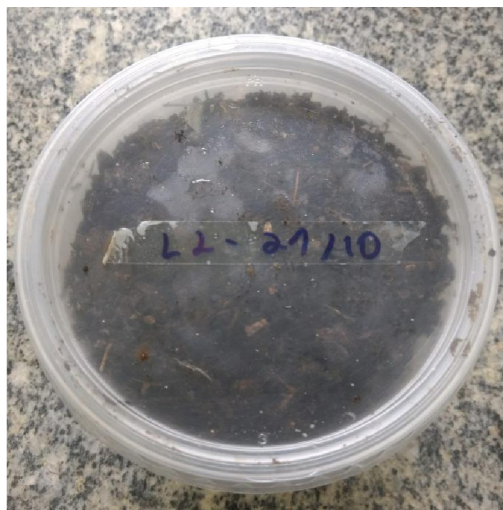
Os revolvimentos foram programados para serem realizados nos seguintes tempos de execução dos experimentos, em dias: 7, 14, 21, 30, 45, 60 e 90. Entretanto, devido às fortes chuvas que ocorreram no dia do 1º revolvimento da L1 e no dia posterior a este, o revolvimento foi realizado ao 9º dia de experimento, ao invés do 7º, o que resultou em uma adequação dos outros dias dos três revolvimentos iniciais, de maneira a se obter sete dias de distância entre estes. Sendo assim, os revolvimentos para L1 foram realizados aos 9, 16, 23, 30, 45, 60 e 90 dias de experimento.

Já para L2 foi possível seguir todos os dias previstos para os revolvimentos. Durante os 30 dias iniciais, após cada revolvimento foi adicionada uma fina camada de aparas de grama seca sobre as leiras, evitando-se assim a atração de vetores, uma vez que neste estágio a leira ainda se encontra em fase inicial de decomposição.

Foram realizadas amostragens dos momentos inicial e final das leiras L1 e L2 por meio da retirada de amostras simples distribuídas em diferentes regiões desta, conforme sugerido pela NBR 10.007:2004, entretanto o uso do amostrador indicado na norma foi substituído pela retirada manual, coletando-se em cada amostra simples a quantidade de material capaz de ser contida na palma da mão. As amostras simples foram misturadas em um balde para a formação da amostra composta. Já para os outros momentos do experimento foram retiradas amostras nos dias de revolvimento, quando se realizou a pesagem e medição de volume das leiras utilizando-se uma bacia de 60 litros e dois baldes de volumes distintos, sendo um de 30 litros e outro de 7,7 litros. As amostras foram obtidas tomando-se simples de cada recipiente medido, sendo tomadas seis, três, e uma amostra simples da bacia, do balde maior e do balde menor, respectivamente.

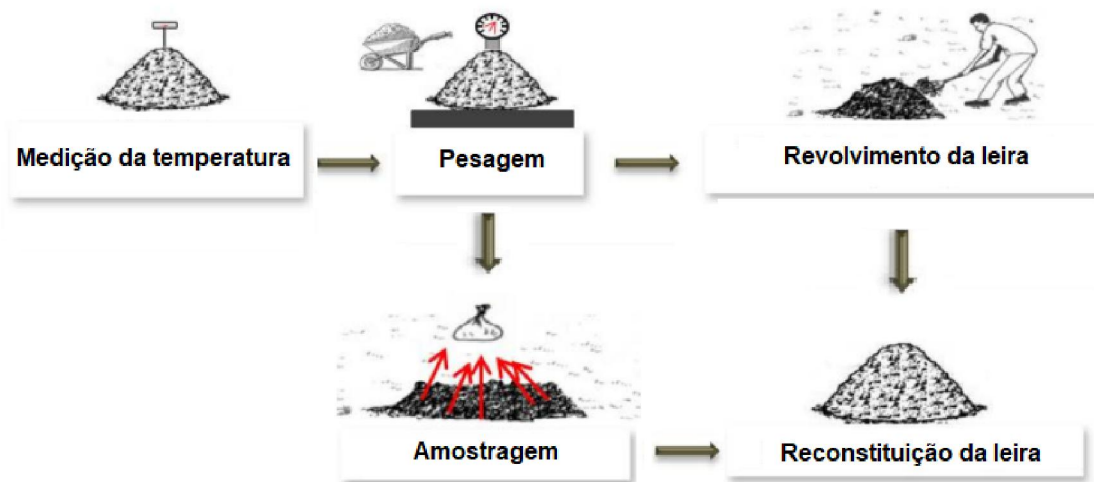
Todas as amostras representativas compostas por amostras simples passaram pelo processo de quarteamento segundo metodologia também da NBR 10007:2004, a fim de se obter o volume desejado de amostra. Este volume foi, então, acondicionado em pote plástico de boa qualidade (resistente ao congelamento) com capacidade de 500 mL. Os potes foram identificados, datados e congelados a fim de se preservar a amostra até o momento da realização das análises (Figura 22). Os materiais restantes da amostragem foram devidamente devolvidos às leiras. A cada revolvimento se buscou manter as mesmas dimensões, adotadas inicialmente (quando foi realizada montagem de cada experimento), para a largura da base e a altura das leiras, sendo feita uma variação apenas na dimensão do comprimento ao longo do tempo. As dimensões para largura da base e altura estipuladas foram de 1,5 m e 0,7 m respectivamente. Um esquema do processo de revolvimento das leiras pode ser visto na Figura 23.

Figura 22 - Pote identificado e fechado contendo a amostra composta retirada da leira durante o revolvimento



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 23 - Esquema das atividades realizadas no dia de revolvimento das leiras



Fonte: Adaptado de Guedes (2016).

A fim de se avaliar o comportamento das leiras foi feita a análise dos seguintes parâmetros físico-químicos: temperatura, umidade, massa, volume, densidade úmida, pH, condutividade elétrica (CE), sólidos voláteis totais (SVT), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total, relação C/N, fósforo total e emissões potenciais de CO₂ e NH₃. Foi feita ainda a avaliação microbiológica por meio das análises quantitativas de E. coli e ovos viáveis de helmintos (OVH).

Para o acompanhamento das variações de temperatura, tanto das leiras como do ambiente, foram realizadas medições diárias. Buscou-se realizar as medições sempre no mesmo horário do dia, ao final da tarde entre 16h-18h, a fim de se evitar os horários de maior temperatura ambiente. Para a medição das temperaturas no interior das leiras utilizou-se um termômetro digital com um sensor de temperatura termopar do tipo espeto de penetração. As medições foram realizadas em três pontos distintos distribuídos ao longo do comprimento das leiras e com três repetições em cada ponto. O sensor foi inserido na posição central das leiras, em relação à largura, a uma profundidade correspondente a $2/3$ referente à altura total das leiras, o que representou uma profundidade de aproximadamente 0,25 m em relação à superfície das leiras ou a uma altura de 0,5 m em relação ao solo, uma vez que as leiras tinham altura aproximada de 0,75 m. A medição da temperatura ambiente foi feita por meio de um termohigrômetro digital, o qual foi utilizado também para a medição da umidade relativa do ar.

5.7 ANÁLISES LABORATORIAIS

Todas as análises foram realizadas em triplicatas, com exceção da análise de coliforme termotolerantes que devido aos elevados custos das cartelas *Quanti-tray* e do reagente para o meio de cultura, optou-se por realizar esta análise em duplicata. Todos os procedimentos foram feitos no Laboratório do Núcleo Água e no Laboratório de Saneamento da UFES (Labsan). O resumo dos parâmetros avaliados, as frequências de análise, e as metodologias utilizadas estão descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros avaliados, frequência de análise e metodologias utilizadas

Parâmetro	Frequência	Metodologia	Descrição
Umidade	Nos dias de revolvimento	Silva (2009)	Secagem a 63,5 °C até peso constante
SVT	Nos dias de revolvimento	Silva (2009)	Secagem a 105°C e combustão a 550°C
pH	Nos dias de revolvimento	MAPA (2007)	Potenciométrico - extração em água na relação 1/5 (v/v)
CE	Nos dias de revolvimento	MAPA (2007)	Condutivimétrica - extração em água na relação 1/5 (v/v)
Densidade	Nos dias de revolvimento	MAPA (2007)	Relação massa úmida, volume e umidade
COT	Nos dias de revolvimento	Kiehl (1985)	Indireto - pelo método do teor de SVT
N total	Inicial e final	Silva (2009)	NTK - método da microdestilação
Relação C/N	Inicial e final	Kiehl (1985)	Cálculo entre %COT e %NTK
P total	Inicial e final	Silva (2009)	Colorimétrico do ácido molibdovanadofosfórico com leitura da absorvância em espectrofotômetro digital
Emissão de CO ₂ e NH ₃	Nos dias de revolvimento	Oliveira <i>et al.</i> (2014)	Titulação das soluções de NaOH e Ácido bórico 1% (Adaptado para incubação a 30°C)
<i>E. coli</i>	Inicial e final	APHA (2012)	Substrato cromofluorogênico com leitura em cartela <i>Quanti-tray</i> de 97 poços
OVH	Inicial e final	Meyer <i>et. al</i> (1975)	Lavagem, centrifugação, flotação, filtração, incubação e leitura em microscópio

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

5.9.1 Preparação das amostras

As amostras armazenadas em freezer foram descongeladas em geladeira apenas no momento da realização das análises, a fim de se preservar as características próximas ao momento da coleta. Para as análises de densidade, pH, CE, umidade, SVT e emissão de CO₂ e NH₃ foi utilizada a fração fresca da amostra, a outra fração foi colocada em sacolas de papel e seca em estufa a 65°C por aproximadamente 72

horas. Amostras que apresentaram pH acima de 6,5 tiveram seu pH reduzido por meio da adição de pequenas quantidades de HCl 1,0M antes da secagem, visando evitar a perda de N devido à volatilização de NH₃. Estas amostras foram acondicionadas em pote plástico de 1000 mL e a estas adicionadas de 2 a 6 mL de HCl 1,0M, dependendo do pH inicial da amostra, o pote foi tampado e chacoalhado a fim de misturar seu conteúdo que foi posteriormente levado à estufa para secagem. As amostras secas a serem utilizadas para a determinação de nitrogênio total e fósforo total foram moídas e peneiradas em peneira com abertura de 0,5 mm (ASTM 35) (Figura 24).

Figura 24 - Peneira granulométrica com abertura de 0,5 mm (esquerda) e amostras secas após trituração e peneiramento (direita)



Fonte: Autoria própria (2019).

As análises de densidade, pH e CE foram realizadas seguindo a metodologia descrita por MAPA, 2007 para análise de substratos para plantas e condicionadores de solos. E suas respectivas metodologias estão descritas a seguir.

5.9.2 Controle da umidade

A umidade da leira foi medida por meio de análises laboratoriais das amostras coletadas nos dias de revolvimento, entretanto, utilizou-se do “teste da mão” (Figura 25) para acompanhamento mais frequente, o teste consiste em tomar uma porção do composto na mão e comprimi-lo. No ponto ideal de umidade irá se formar um aglomerado firme, caso este se esfarele, a umidade está baixa, por outro lado, havendo o escorrimento de líquido é o indicativo de uma umidade excessiva.

Figura 25 - "Teste da mão": Material com umidade adequada (esquerda) e material com baixo teor de umidade (direita)



Fonte: Autoria própria (2019).

Para a determinação da umidade em laboratório utilizou-se a metodologia sugerida por Silva, 2009 por meio da secagem da amostra a 60°C-65°C. Pesou-se 10g da amostra em cadinho de porcelana calcinado e tarado e levou-se para secagem em estufa a 63,5°C até peso constante (entre 48h e 72h), após esse período retirou-se as amostras da estufa, as quais foram colocadas em dessecador para esfriarem e foram posteriormente pesadas. O cálculo da umidade na amostra é feito pela equação (1).

$$Umidade (\%) = \frac{100 \times (MU - MS)}{MU} \quad (1)$$

Onde:

MU (g) - Massa úmida;

MS (g) – Massa seca.

5.9.3 Análise de sólidos voláteis totais

A determinação de sólidos voláteis totais (SVT) foi feita seguindo a metodologia descrita por Silva (2009). As amostras secas anteriormente à 60°C-65°C foram levadas à estufa a 103°C-105°C até peso constante (cerca de 24h), quando foram retiradas da estufa, resfriadas em dessecador e pesadas. As amostras foram, então, colocadas em uma mufla a 550°C por uma hora, passado esse tempo as amostras foram retiradas da mufla, esperou-se o calor se dissipar e colocou-se estas em dessecador até esfiarem, quando foram pesadas. Repetiu-se o processo de combustão em mufla até peso constante das amostras. O teor de sólidos voláteis totais na amostra pode ser calculado segundo a equação (2).

$$SVT = \frac{100 \times (M_{105\text{ }^{\circ}\text{C}} - M_{550\text{ }^{\circ}\text{C}})}{M_{103\text{ }^{\circ}\text{C}}} \quad (2)$$

Onde:

SVT (%) – Sólidos voláteis totais;

M 105 °C (g) – Massa seca a 105 °C;

M 550 °C (g) – Massa levada a combustão a 550° C

5.9.4 Análise de pH e condutividade elétrica

A determinação do pH foi feita seguindo o método de extração em água na razão de 1:5 (v/v). Para tanto, pesou-se em balança de precisão, uma massa da amostra equivalente a uma alíquota de 40 mL (a massa equivalente foi calculada utilizando-se a densidade previamente calculada). A amostra pesada foi transferida para um frasco de borosilicato com tampa, ao frasco adicionou-se 200 mL de água destilada, tampou-se o frasco e o levou a um agitador horizontal para agitação por 1 hora. Passado este tempo, retirou-se o frasco do agitador e agitou-se a suspensão imediatamente antes da medição realizada por pHmetro de bancada calibrado.

A medição da condutividade elétrica foi realizada utilizando-se um condutímetro, a solução analisada foi a mesma preparada para a medição de pH.

5.9.5 Análise de densidade

Para a determinação da densidade fez-se a avaliação da densidade úmida, para isso preencheu-se uma proveta plástica de capacidade de 500 mL com a amostra (fração fresca) até aproximadamente a marca de 300 mL, em seguida a proveta foi deixada cair, sob a ação de sua própria massa por 10 vezes consecutivas de uma altura de 10 cm. A superfície no interior da proveta foi levemente nivelada com o auxílio de uma espátula e o volume obtido foi registrado, por fim, pesou-se o material descontando a massa da proveta. O valor da densidade úmida é obtido por meio da seguinte equação (3).

$$D. \text{úmida} = \left(\frac{MU}{V} \right) \times 1000 \quad (3)$$

Onde:

D.úmida (kg.m⁻³) – Densidade úmida;

MU (g) - Massa úmida;

V (mL) – Volume.

De posse do valor da densidade úmida e do teor de umidade da amostra é possível, então calcular o teor de densidade seca pela equação (4).

$$D. \text{seca} = D. \text{úmida} \times \left(\frac{100 - TU}{100} \right) \quad (4)$$

Onde:

D.seca (kg.m⁻³) – Densidade seca;

D.úmida (kg.m^{-3}) – Densidade úmida;

TU (%) – Teor de umidade.

5.9.6 Análise de carbono orgânico total

Para a determinação do carbono orgânico total (COT) utilizou-se a relação descrita por Kiehl (1985) na qual se determina a estimativa dos valores de COT por meio de uma relação com o teor de SVT contidos na amostra. Esta metodologia foi estudada e validada para resíduos orgânicos domiciliares por Jimenez & Garcia (1992). De forma que o teor de COT pode ser determinado pela equação (5).

$$COT = \frac{SVT}{1,8} \quad (5)$$

Onde:

COT (%) – Carbono orgânico total;

SVT (%) – Sólidos voláteis totais.

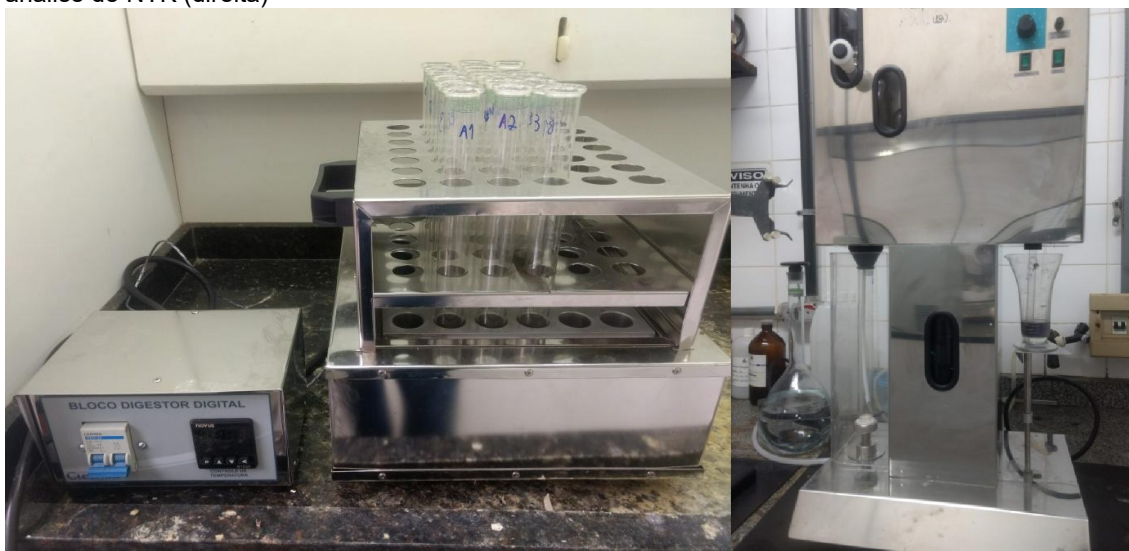
5.9.7 Análise de nitrogênio total

As análises de nitrogênio total compreendem a determinação das três formas de nitrogênio: orgânico, amoniacal e nítrico (KIEHL, 1985). Para isso utiliza-se a metodologia descrita por Kjeldahl, conhecida como nitrogênio total Kjeldahl (NTK) na qual os nitrogênios orgânico e amoniacal passam à forma de sulfato de amônio que é alcalinizado com hidróxido de sódio, produzindo amônia que é coletada em solução de ácido bórico após destilação. As análises de NTK para os resíduos sólidos e para o composto foram realizadas segundo o método do microdestilador descrito por Silva (2009). Já para a análise da urina utilizou-se a metodologia preconizada no Standard Methods for The Examination of Water and Wasterwater (APHA, 2012).

4.7.7.1 Análise dos resíduos sólidos

Neste método pesou-se 0,1 g da amostra seca a 63,5°C, moída e peneirada em peneira granulométrica de 0,500 mm (Mesh 35), transferiu-se a amostra para tubo de digestão, ao qual foram adicionados 1 g de mistura digestora, composta por sulfato de potássio (K_2SO_4) e sulfato de cobre ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), e 3 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), o tubo então foi levado a um bloco microdigestor onde foi aquecido a 360 °C por 3 horas até o conteúdo do frasco se tornar claro. A Figura 26 mostra o conjunto bloco microdigestor com controlador de temperatura e a destiladora utilizados.

Figura 26 - Bloco microdigestor com controle de temperatura (esquerda) e destiladora para análise de NTK (direita)



Fonte: Autoria própria (2019).

Após a digestão as amostras receberam 15 mL de uma solução de hidróxido de sódio (NaOH 10,0 M) e foram submetidas ao processo de destilação, o destilado foi recolhido em cálice contendo uma solução de ácido bórico e indicadores. O conteúdo do cálice foi titulado com solução padronizada de H_2SO_4 0,036 M. A concentração de nitrogênio total pode ser calculada pela equação (6).

$$NH_3 = \frac{(V_{H_2SO_4 amostra} - V_{H_2SO_4 branco}) \times F_{ácido} \times 1000}{m_{amostra}} \quad (6)$$

Onde:

NH_3 (mg.kg^{-1}) – Concentração de nitrogênio total na forma de amônia;

$V_{\text{H}_2\text{SO}_4\text{amostra}}$ (mL) – Volume da solução de ácido sulfúrico gasto na titulação da amostra;

$V_{\text{H}_2\text{SO}_4\text{branco}}$ (mL) – Volume da solução de ácido sulfúrico gasto na titulação da prova em branco;

$F_{\text{ácido}}$ (mg.N.mL^{-1} de ácido) – Fator do ácido sulfúrico;

1000 (g.kg^{-1}) – Fator de conversão de g para kg;

m_{amostra} (g) – massa da amostra.

4.7.7.2 Análise da urina humana

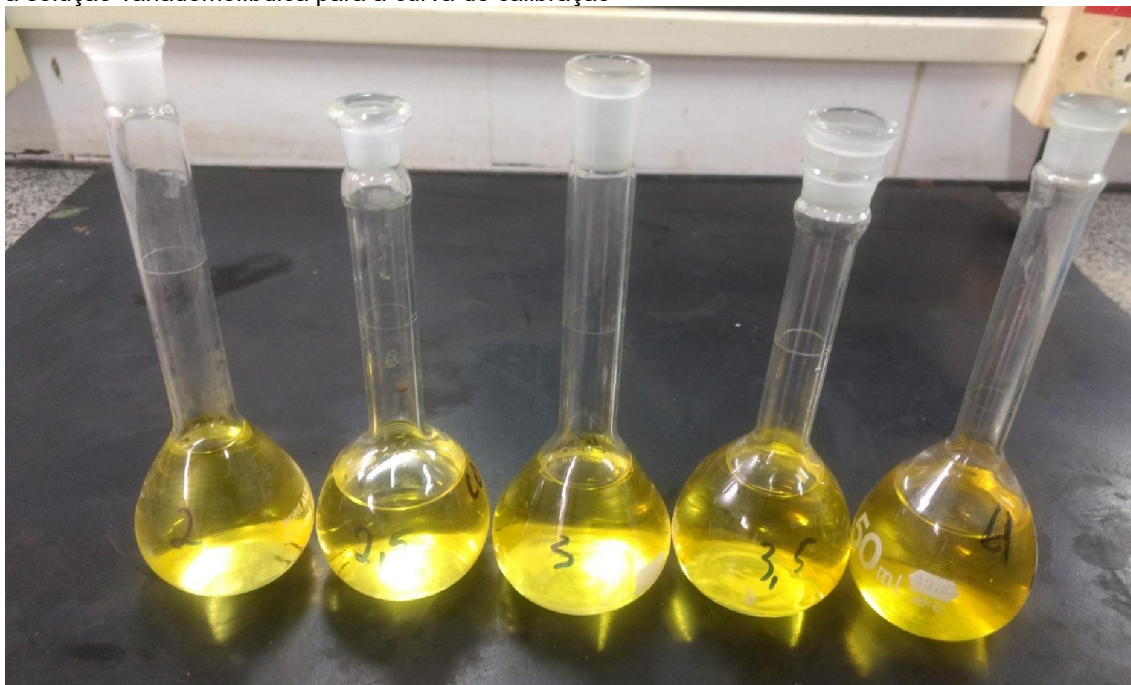
A análise da urina humana foi realizada utilizando-se a metodologia para NTK preconizada por APHA (2012) utilizando-se 50 mL de amostra de urina estocada.

5.9.8 Análise de fósforo total

A análise de fósforo total seguiu a metodologia descrita por Silva (2009) por meio do método colorimétrico do ácido molibdovanadofosfórico. Para isso, pesou-se 0,5 g da amostra e a transferiu para um erlenmeyer ao qual foram adicionados 30 mL de ácido nítrico concentrado (HNO_3) e 5 mL de ácido clorídrico concentrado (HCl), o recipiente foi levado, então, a uma chapa aquecedora a fim de se realizar a extração do fósforo total presente por meio da digestão ácida e quente. Posteriormente, o frasco contendo a amostra digerida foi retirado da chapa até esfriar, quando a ele foi adicionada uma alíquota de 50 mL de água destilada, e retornado à chapa até levantar fervura e mantido nesta condição por 5 minutos, o conteúdo do erlenmeyer foi transferido para um balão volumétrico de 250 mL cujo volume foi completado com água destilada. Em seguida, realizou-se a filtragem da solução do balão volumétrico em papel faixa branca de porosidade média, retirou-se, então, 30 mL deste extrato

que foi transferido para um balão volumétrico de 50 mL contendo 15 mL da solução vanadomolibdica, completou-se o volume com água destilada, agitou-se o balão para homogeneização do conteúdo e reservou-se em descanso. Após 10 minutos (tempo necessário para reação das soluções) o conteúdo do balão foi transferido para um tubete de vidro e fez-se a leitura da absorvância em espectrofotômetro digital na faixa de onda de 400 nm. Foi realizada também uma curva de calibração utilizando-se soluções com diferentes concentrações da solução padrão de KH_2PO_4 contendo 500 ppm de P_2O_5 (0,5g/mL) e 15 mL da solução vanadomolibdica (Figura 27).

Figura 27 - Balões volumétricos contendo diferentes concentrações de fósforo em reação com a solução vanadomolibdica para a curva de calibração



Fonte: Autoria própria (2019).

A concentração (C) de P_2O_5 (em ppm) da amostra foi calculada pela curva de calibração e a porcentagem total de P_2O_5 é dada pela equação (7).

$$P_2O_5 = \frac{2,5 \times C}{A \times G} \quad (7)$$

Onde:

P_2O_5 (%) – Porcentagem de P_2O_5 total na amostra;

C (ppm) – Concentração de P_2O_5 na alíquota analisada;

A (mL) – Alíquota tomada do extrato;

G (g). – Peso inicial da amostra.

5.9.9 Análise de emissões potenciais de CO₂ e NH₃

A fim de se verificar o grau de estabilidade do composto realizou-se a análise para a quantificação conjunta das emissões potenciais de CO₂ e NH₃, seguindo metodologia descrita por Oliveira *et al* (2014) adaptando a temperatura de incubação de 25°C do método original para 30°C, conforme realizado por Ferreira (2018), Morokawa (2017) e Vasconcelos (2019). Para tanto, utilizou-se da fração fresca da amostra do composto após descongelamento, a análise foi feita para diferentes tempos do experimento. Pesou-se aproximadamente 20 g da amostra e a transferiu para pote plástico com tampa e capacidade de 1000 mL, a amostra, então, foi umedecida até próximo à sua capacidade de campo, o pote foi tampado e levado a pré-incubação por 24h a 30°C, passado esse período, adicionou-se ao interior do pote dois recipientes plásticos abertos com capacidade de 100 mL, um deles contendo 10 mL de uma solução de ácido bórico 1% mais indicadores e o outro contendo 30 mL de solução de NaOH 1,0 M. O pote contendo a amostra e os dois recipientes foi, então, tampado e vedado com plástico filme de PVC, a fim de se garantir uma maior estanqueidade ao sistema. O pote foi levado para incubação a temperatura constante de 30°C por 72 horas, quando teve os recipientes retirados do interior do pote e foi realizada a titulação de cada uma das soluções contidas neles. Foi realizada também uma prova em branco, na qual adicionou-se um recipiente aberto contendo 30 mL NaOH em pote de 1000 mL, o pote foi vedado e colocado para incubar juntamente com a amostra (Figura 28).

Figura 28 - Pote de incubação contendo a amostra, um recipiente com a solução de NaOH e outro com a solução indicadora de ácido bórico (esquerda) e o mesmo pote de incubação tampado, identificado e vedado com filme plástico (direita)



Fonte: Autoria própria (2019).

Para a determinação da emissão de CO_2 titulou-se o conteúdo do recipiente contendo NaOH com solução padronizada de HCl 1,0 M, procedimento este realizado para a amostra e para a prova em branco. O cálculo para a determinação da quantidade de CO_2 emitida é feito pela equação (8).

$$\text{CO}_2 = ((Vb - Va) \times M \times 22) / \text{MS} / T \quad (8)$$

Onde:

CO_2 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{MS} \cdot \text{dia}^{-1}$) – Emissão pela amostra, em miligrama de CO_2 por grama de massa seca de amostra por dia

Vb (mL) – Volume da solução de ácido clorídrico gasto na titulação da prova em branco;

Va (mL) – volume da solução de ácido clorídrico gasto na titulação da amostra;

M – Molaridade exata da solução de HCl;

22 – Peso molar do CO₂ dividido por 2;

MS (g) – Massa seca da amostra;

T – Tempo de incubação da amostra, em dias.

A titulação do recipiente contendo a solução de ácido bórico 1% foi feita utilizando-se uma solução padronizada de H₂SO₄ 0,5 M a fim de se determinar a quantidade de amônia (NH₃) volatilizada durante o período de incubação, e este cálculo pode ser realizado por meio da equação (9).

$$NH_3 = ((V \times N \times 17) / MS / T) \quad (9)$$

Onde:

NH₃ (mg.g-1MS.dia-1) – Emissão pela amostra, em miligrama de NH₃ por grama de massa seca de amostra por dia;

V (ml) – Volume da solução de H₂SO₄ gasto na titulação;

N – Normalidade da solução de H₂SO₄;

17 – Peso molecular da amônia;

MS (g) – massa seca da amostra;

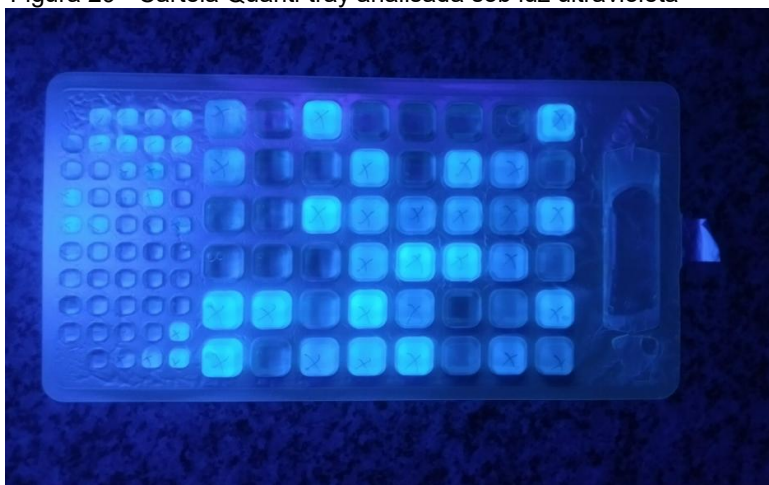
T – Tempo de incubação da amostra, em dias.

5.9.10 Análise de coliformes termotolerantes (E. coli)

A análise para quantificação de coliformes termotolerantes foi realizada utilizando-se a metodologia do substrato cromofluorogênico (APHA, 2012). Como não havia ainda informações sobre a umidade do composto no momento da coleta, considerou-se este teor como de 50%. Buscando, então, uma quantidade de cerca de 4 g de matéria seca, adicionou-se aproximadamente 8 g da amostra recém-coletada em um frasco contendo 100 mL de solução salina fosfatada tamponada (PBS) esterilizada

em autoclave, agitou-se o frasco vigorosamente e a partir deste extrato realizou-se diluições seriadas de 10^{-3} , 10^{-4} e 10^{-5} , de maneira a se obter concentrações na ordem de 1g de MS em 100 mL de PBS, 0,1 g de MS em 100 mL de PBS e 0,01 g de MS em 100 mL de PBS, respectivamente. Adicionou-se aos 100 mL de cada diluição o meio de cultura cromofluorogênico, tampou-se o frasco e misturou o seu conteúdo por meio de agitação, posteriormente transferiu-se esta solução para uma cartela do sistema Quanti-tray (com 97 poços) que foi selada e levada a incubação a uma temperatura constante de 35°C por 24h. Após esse período procedeu-se a leitura sob luz ultravioleta (UV) a fim de se identificar os poços que apresentaram reação fluorescente (Figura 29), sendo estes contados para quantificação do Número Mais Provável (NMP) seguindo a tabela de probabilidades aplicada ao método. O valor obtido pela tabela é, então, multiplicado pelo fator de diluição para a contagem de organismos de coliformes termotolerantes pelo peso em grama de amostra seca (NMP/g). O valor médio final é calculado por meio da média geométrica dos valores encontrados na tabela.

Figura 29 - Cartela Quanti-tray analisada sob luz ultravioleta



Fonte: Autoria própria (2019).

5.9.11 Análise de ovos viáveis de helmintos

Para a quantificação da presença de ovos viáveis de helmintos (OVH) utilizou-se a metodologia descrita por Meyer et al. (1978). E de acordo com Matos (2015), sua aplicação é recomendada para a análise de resíduos sólidos. Ressalta-se que foi

feita uma adaptação, substituindo a solução de hipoclorito de sódio 50% por uma solução contendo de 10% a 15% de cloro ativo.

Para essa análise pesou-se aproximadamente 75 g do composto recém-coletado e peneirado (peneira com malha de 2 mm), ao composto foi adicionado 100 mL de solução de hipoclorito de sódio e deixado agir por 5 minutos, a suspensão foi transferida para uma proveta de 250 mL e seu volume aferido com solução de hipoclorito de sódio até 225 mL. Agitou-se a suspensão e a transferiu para tubo de centrifuga do tipo Falcon e manteve-se o recipiente em repouso por 50 minutos. Passado esse período, centrifugou-se a mistura a 800 x g, sob temperatura de 4° C, durante 2 minutos; O sobrenadante presente no tubo foi descartado e ao tubo foram adicionados 5 mL de solução de detergente Tween 80 0,1%, completou-se o volume do tubo com água destilada, misturou-se a suspensão com bastão de vidro e submeteu-se o tubo a nova centrifugação. Este procedimento de lavagem com detergente Tween 80 foi repetido até se obter um sobrenadante clarificado, a fim de facilitar a etapa de filtração.

Uma vez terminada a etapa de lavagem, adicionou-se ao sedimento formado no tubo uma solução de $ZnSO_4$ 2,0 M até completar o volume do mesmo. O tubo foi deixado de repouso por 3 minutos a fim de garantir a flotação do ovos, decorrido este tempo o sobrenadante foi recolhido e filtrado em membrana Milipore 0,45 μm de porosidade, sob pressão negativa, com auxílio de uma bomba à vácuo. O material retido no papel-filtro foi, então, raspado com uma espátula e disposto em placa petri contendo 15 mL de solução H_2SO_4 0,1 M. A placa foi envolvida com papel-alumínio e incubada, no escuro, sob temperatura entre 25°C e 28°C por no mínimo 10 dias antes da leitura. Para a realização da leitura em microscópio com ampliação de 10x, tomou-se uma alíquota de 1 mL da amostra incubada em placa Petri e a transferiu para a câmara de Sedgewick-Rafter, que foi posteriormente levada ao microscópio para a contagem de número de ovos. O cálculo do número de ovos de helmintos por unidade de massa de sólidos totais na amostra é realizado segundo a Equação (10).

$$N = \frac{n \times V_c \times V_{pp}}{m \times ST} \quad (10)$$

Onde:

N – número de ovos viáveis de helmintos por massa de ST

n - número de ovos contados na câmara de Sedgewick-Rafter;

V_c (mL) - volume analisado na câmara de Sedgewick-Rafter (1,0 mL);

V_{pp} (mL) - volume de suspensão na placa Petri;

m (g) – massa da amostra de resíduo sólido;

ST (decimal) – sólidos totais da amostra.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CAMPANHA DE COLETA DE ROA

Foi coletada uma quantidade total de 8.149,8 kg de resíduos em 50 dias de coleta no período de 25/03/2019 a 05/07/2019. A média diária de resíduos coletados neste período foi de 148,18 kg/dia, que representa uma média semanal de 815 kg/semana. Neste período o dia de menor quantidade coletada foi igual a 33,50 kg no dia 13/06/2019, e o dia que teve a maior quantidade de resíduos coletados foi no dia 22/05/2019, sendo coletado neste dia 311,10 kg. Com base nestes valores (principalmente o da geração média diária de resíduos) foi possível realizar o pré-dimensionamento do experimento a fim de se estimar as quantidades necessárias dos outros materiais a serem agregados. Para isso, considerou-se uma possível quantidade média semanal próxima a 800 kg de ROA.

Vale ressaltar que durante o período de coleta foi recolhido um total de 702 sacos plásticos pretos com volume de 100 litros onde eram acondicionados os resíduos, o que corresponde a uma média de quase 13 sacos/dia, podendo ser gerada uma quantidade de aproximadamente 2.639 unidades em um ano letivo com 203 dias, como o de 2019. Este dado se torna relevante, principalmente, quando se considera a implantação de um sistema de compostagem dos resíduos orgânicos do restaurante universitário, uma vez que o uso desta quantidade de sacos plásticos, além de estar relacionado a um custo financeiro, também apresenta impacto ambiental, já que todo esse resíduo produzido tem sua destinação final em aterro sanitário.

A fim de tornar o processo mais sustentável, uma possibilidade seria a substituição das sacolas plásticas pela utilização de baldes plásticos reutilizáveis de até 20 litros e de bombonas de 50 litros conforme realizado no estudo de gestão comunitária de resíduos orgânicos, cujo projeto se chamou Revolução dos Baldinhos (ABREU, 2013) (Figura 30). Realizando-se a coleta em recipientes de tamanho adequado garante, ainda, um menor risco à saúde dos trabalhadores que carregam os resíduos gerados, uma vez que foi verificado durante as coletas que havia sacolas

que chegavam a pesar até 40 kg, o que representa um risco operacional para estes funcionários.

Figura 30 - Logomarca do projeto Revolução dos Baldinhos (esquerda) e Bombona de 50 litros utilizada em um ponto de entrega voluntária de resíduos orgânicos (direita)



Fonte: Abreu (2013).

6.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS COLETADOS

7.2.1 Composição gravimétrica

A avaliação da composição gravimétrica média dos ROA coletados se mostra importante, em especial, no caso de não se dispor de recursos para análises laboratoriais dos resíduos, uma vez que de posse das quantidades discriminadas destes é possível fazer uma estimativa de suas características com base na literatura. Este tipo de amostragem foi realizado apenas para o período de 10/06/2019 a 18/07/2019, e, apesar da quantificação ter sido feita para todos os dias de coleta neste período representando uma melhor visualização das tendências dos tipos de resíduos gerados diariamente, aqui neste trabalho o resultado desta avaliação será apresentado considerando os valores totais durante o período de coleta, conforme observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Tipos de resíduos coletados e suas quantidades totais

Resíduo	Peso total (kg)	Proporção (%)
Agrião	180,47	5,79
Brócolis	92,32	2,96
Beterraba	133,67	4,29
Rúcula	244,70	7,85
Ovo (casca)	97,15	3,11
Melancia (casca)	266,15	8,53
Banana (casca)	141,20	4,53
Abóbora	419,15	13,44
Repolho Roxo	105,05	3,37
Alface	119,60	3,83
Tomate	55,30	1,77
Pepino	33,65	1,08
Abacaxi	386,40	12,39
Vagem	45,70	1,47
Cará (casca)	235,10	7,54
Acelga	264,95	8,50
Rabanete	13,85	0,44
Berinjela	38,80	1,24
Cebola	21,95	0,70
Repolho	65,75	2,11
Mamão	18,85	0,60
Melão	24,30	0,78
Cenoura	13,75	0,44
Salsinha	20,70	0,66
Batata doce	13,20	0,42
Laranja	14,95	0,48
Couve (talos)	14,50	0,46
Chuchu	24,65	0,79
Batata inglesa	13,00	0,42
Total	3118,80	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Como se pode observar a abóbora representou a maior quantidade de resíduo coletado com base no peso, seguida do abacaxi e em menor proporção da melancia. Dessa forma, como alguns tipos de resíduo estão presentes em maior proporção,

deve-se considerar o efeito dos mesmos para o dimensionamento e funcionamento do experimento de compostagem.

7.2.2 Caracterização físico- química

Os resultados dos valores médios da caracterização inicial dos ROA do RU, RPA, RCG e da UH estão dispostos na Tabela 2. Ressalta-se que o único valor não caracterizado foi o da densidade úmida da urina, para este utilizou-se o valor próximo ao da água.

Tabela 2 – Caracterização inicial dos resíduos

Resíduo	Parâmetros						
	pH	CE (mS)	Umidade (%)	Densidade úmida (kg/m ³)	N total (%)	COT (%)	C/N
ROA (12/06)	6,43	2,24	89,63	943,59	2,10	49,35	24,75
ROA (17/06)	7,20	2,31	81,92	1019,35	2,24	36,06	16,18
ROA (24/06)	5,72	1,85	86,83	927,66	1,83	51,77	28,51
ROA (02/07)	6,69	2,63	89,38	985,51	2,70	35,39	13,58
Média ROA	6,51	2,26	88,10	964,55	2,17	42,71	19,70
RPA	8,58	0,34	53,15	275,00	1,02	52,09	51,28
RAG	8,31	0,39	13,86	26,09	0,99	50,23	50,80
Urina (misturada)	9,50	43,25	98,53	-	3,34	17,43	5,21
Urina (sobrenadante)	9,53	40,1	98,66	-	3,16	16,32	5,17

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Como é possível observar, os ROA apresentam pH mais baixo em relação aos outros resíduos, bem como possuem alto teor de umidade, fatores que influenciam diretamente o processo de compostagem e devem ser observados com maior cautela após a mistura dos materiais. A partir da relação dos valores de densidade úmida encontrados com a massa úmida dos resíduos é possível dimensionar o experimento com base no volume de material. Porém, o parâmetro de maior relevância, e fator determinante para o dimensionamento é a relação C/N, pois é por meio desta que é possível determinar as quantidades de materiais a serem utilizados a fim de se obter a relação C/N desejada de 30/1. Pelos resultados encontrados, a mistura de ROA com os outros resíduos permite a obtenção da relação C/N de 30/1, uma vez que estes possuem relação C/N em torno de 20/1, enquanto os materiais ricos em carbono têm essa relação próxima de 50/1. Já a urina possui uma relação C/N bastante baixa, o que possibilita seu uso para ajustes de misturas nas quais esta relação está à cima de 30/1.

Ressalta-se também que não se identificou uma diferença significativa entre os parâmetros da urina misturada e o sobrenadante desta, de tal maneira que se optou por utilizar apenas o sobrenadante. Com isso, foi possível também coletar a alíquota final da urina presente no fundo da bombona que apresentou uma coloração turva esbranquiçada devido ao material sedimentado. Acredita-se que este material seja composto por estruvita, hidroxihapatita e outras substâncias cristalinas provenientes da precipitação química espontânea que ocorre na urina quando esta atinge pH próximo a 9. Análises cristalográficas de amostras semelhantes previamente avaliadas mostraram que neste material há a presença de tais compostos. Dessa maneira, a alíquota coletada do fundo da bombona foi colocada para secagem, de forma a evaporar a porção líquida, e a massa seca de coloração branca foi removida, pesada, e armazenada para análises e usos posteriores. Para os 160 litros de urina armazenada coletou-se um total de 225 g desse material seco.

A fim de se obter informações a respeito dos resíduos utilizados na montagem das leiras, realizou-se as análises destes, mesmo que estas tenham sido feitas após o início do experimento, não servindo, portanto, como informações para o dimensionamento, mas como diagnóstico. Ressalta-se que para o cálculo dos

valores médios de cada semana, utilizou-se da média ponderada baseada nos valores diários proporcionais de volume de resíduos coletados, exceto a relação C/N que foi calculada diretamente pela relação da média de COT pela média de N total. O resultado das análises para os ROA utilizados em L1 encontram-se no Quadro 2.

Quadro 2 – Caracterização físico-química dos ROA utilizados em L1

Parâmetro	Dia de coleta					Média
	08/07	09/07	10/07	11/07	12/07	
pH	5,81	4,54	4,33	6,15	6,37	5,42
CE (mS/cm)	2,21	2,28	2,32	3,17	1,72	2,45
Umidade (%)	85,97	91,82	85	92,73	74,76	86,72
Densidade úmida (kg/m ³)	936,25	823,98	860,6	979,15	822,39	902,28
Teor de MS (%)	14,03	8,18	15	7,27	25,23	13,28
SVT (%)	90,71	85,83	92,99	60,89	50,33	78,10
N total (%)	1,87	3,83	2,4	2,81	1,42	2,40
CO Total (%)	50,40	47,68	51,66	33,83	27,96	43,39
C/N	26,95	12,44	21,53	12,05	19,69	18,06
Volume (L)	158,03	61,80	200,26	185,91	81,02	-
Proporção (%)	23,00	9,00	29,15	27,06	11,79	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

De maneira semelhante, resultados das análises para os ROA utilizados em L2 encontram-se no Quadro 3.

Quadro 3 – Caracterização físico-química dos ROA utilizados em L2

Parâmetros	Dia de coleta				Média
	15/07	16/07	17/08	18/07	
pH	5,48	5,44	5,4	5,7	5,54
CE (mS/cm)	1,81	1,85	2,24	2,62	2,20
Umidade (%)	95,39	80,23	93,24	92,73	92,00
Densidade úmida (kg/m ³)	958,14	897,78	951,11	988,24	960,62
Teor de matéria seca	4,61	19,77	6,76	8	8,13
SVT	81,33	94,12	83,29	78,06	82,05
N total (%)	3,49	1,9	2,93	1,96	2,62
CO Total (%)	45,18	52,29	46,27	43,37	45,58
C/N	26,95	12,44	21,53	12,05	17,41
Volume	158,046	61,798	101,696	189,774	-
Proporção	30,90977	12,08612	19,88915	37,11496	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

7.3 MONTAGEM DO EXPERIMENTO

Uma vez conhecidas as características esperadas para os resíduos foi possível, então, realizar a montagem do experimento realizando o dimensionamento com base no volume calculado (relação massa úmida e densidade úmida) de resíduos coletados ao longo de uma semana.

7.4.1 Tratamento 1: Leira 1 (L1)

Os ROA coletados para a montagem da L1 e suas respectivas quantidades encontram-se descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Tipos de resíduos utilizados em L1 e suas quantidades

Resíduo	Massa (kg)	Proporção (%)
Agrião	50,5	8,64
Brócolis	10,8	1,85
Rúcula	83,25	14,24
Ovo (casca)	17,85	3,05
Melancia	65,85	11,26
Banana	34,8	5,95
Repolho Roxo	13,9	2,38
Tomate	24,85	4,25
Abacaxi	160,75	27,50
Cará (casca)	62,4	10,67
Cebola	11,95	2,04
Repolho	21,05	3,60
Melão	11,6	1,98
Cenoura	4,85	0,83
Salsinha	10,2	1,74
Total	584,6	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Como é possível observar na Tabela 3 foi coletado um total de 584,60 kg o que representou um volume medido de 687 litros de resíduos de alimentos do restaurante universitário os quais foram empilhados diariamente em camadas alternadas com os resíduos de poda e apara de grama, utilizou-se 210 litros de cada um destes. Com isso, foi possível então calcular a quantidade restante destes a serem adicionadas a fim de se obter as relações desejadas.

A Tabela 4 traz o resultado do cálculo das proporções de C, N e da relação C/N em % da mistura.

Tabela 4 – Teores de C, N e relação C/N da mistura RPA + RAG (30%-70%) e ROA

Resíduo	% C	% N	C:N
RPA	52,1	1,0	52,1
RAG	50,2	1,0	50,2
RPA + RAG (30%-70%)	50,8	1,0	50,8
ROA	42,7	2,2	19,7

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A Tabela 5 mostra o resultado das proporções em % de massa seca e dos valores % em volume convertidos utilizando-se os valores de densidade úmida e teor de matéria seca dos materiais.

Tabela 5 - Proporções de resíduos utilizados em L1

Resíduo	Massa Seca (%)	Volume (%)
RPA	16	17
RAG	36	45
ROA	48	38

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A Tabela 6 traz os valores em volumes totais de resíduos que compuseram a formação da L1.

Tabela 6 - Volumes totais de resíduos em L1

Resíduo	Volume (L)
ROA	687
RPA	307
RAG	874
Total	1.808

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Dessa maneira, foram adicionados à pilha de resíduos, no dia da montagem da leira, aproximadamente 97 litros e 664 litros de RPA e RAG, respectivamente, a fim de se complementar o valor total calculado.

As características físico-químicas iniciais de L1 encontram-se na Tabela 7

Tabela 7 – Características físico-químicas iniciais de L1

Parâmetro	Leira 1
pH	5,69
CE (mS/cm)	1,24
Umidade (%)	77,33
Densidade úmida (kg/m ³)	491,72
Teor de matéria seca (%)	22,67
SVT (%)	82,09
N total (%)	1,71
CO Total (%)	45,60
C/N	26,60
P total (%)	1,94

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

É possível observar pela Tabela 7 que a relação C/N inicial de L1 ficou em 26,6/1, abaixo da relação inicial dimensionada de 30/1, isso se deve ao fato de que a relação C/N dos ROA utilizados foi de 18,01 (Quadro 2), valor inferior aos 19,7/1 utilizados nos cálculos de dimensionamento. Entretanto, a relação C/N se mostrou adequada, uma vez que se encontra dentro da região de 25/1 a 35/1 considerada ideal pela literatura.

7.4.2 Tratamento 2: Leira 2 (L2)

Os ROA coletados para a montagem da L2 e suas respectivas quantidades encontram-se descritos na Tabela 8.

Tabela 8 – Tipos de resíduos utilizados em L2 e suas quantidades

Resíduo	Massa (kg)	Proporção (%)
Agrião	32,75	6,80
Beterraba	18,75	3,89
Ovo (casca)	4,25	0,88
Banana	55,20	11,47
Repolho Roxo	17,00	3,53
Alface	29,85	6,20
Pepino	6,05	1,26
Cará (casca)	61,50	12,77
Acelga	109,85	22,82
Repolho	30,25	6,28
Mamão	3,60	0,75
Melão	12,70	2,64
Cenoura	8,90	1,85
Salsinha	10,50	2,18
Batata doce	13,20	2,74
Laranja	14,95	3,11
Couve (talos)	14,50	3,01
Chuchu	24,65	5,12
Batata	13,00	2,70
Total	481,45	100

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O valor total da massa de resíduos coletados foi de 481,45 kg que corresponderam a um volume total medido de 511 litros, utilizou-se durante o empilhamento dos resíduos um total de 240 litros de RPA e RAG. Para o cálculo dos volumes necessários de resíduos e de urina humana para a montagem do experimento, calculou-se a mistura de RPA e RAG, ROA para uma relação C/N de 32/1 em proporções de matéria seca de 18%, 41,5% e 40,5% (17%, 51% e 32% em proporções de volume), respectivamente.

A Tabela 9 traz o resultado do cálculo de C, N e da relação C/N em %, bem como da densidade úmida, teor de matéria seca e densidade seca da mistura de ROA+RPA+RAG e da UH.

Tabela 9 – Parâmetros calculados para a mistura ROA + RPA + RAG e da UH

Parâmetro	Resíduo	
	RPA + RAG + ROA	UH
% C	47,5	16,32
% N	1,5	3,16
C:N	32	19,7
Densidade Úmida (kg/m ³)	450,9701	1000
% Matéria Seca	49,0006	1,4
Densidade Seca (kg/m ³)	220,9781	14

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Já a Tabela 10 mostra o resultado das proporções em % de massa seca e dos valores % em volume, convertidos utilizando-se os valores de densidade úmida e teor de matéria seca dos materiais.

Tabela 10 – Proporções de resíduos utilizados em L2

Resíduo	Proporção	
	Massa Seca (%)	Volume (%)
RPA + RAG + ROA	96,91	66,54
UH	3,09	33,46

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A Tabela 11 traz os valores em volumes totais de resíduos necessários à formação da L2.

Tabela 11 – Volumes totais de resíduos em L2

Resíduo	Volume (L)
ROA	511
RPA	271
RAG	814
UH	804
Total	2.400

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Uma vez identificados os volumes totais, conforme descrito na tabela acima, as quantidades adicionais necessárias de RPA e RAG foram de 31 litros e 574 litros respectivamente.

Como é possível observar na Tabela 11, o volume de UH calculado por meio deste método (que utiliza como base a matéria seca) resultou em um valor de 804 litros, uma vez que a urina tem um teor muito baixo de sólidos. O uso desta quantidade representaria uma saturação do material a ser compostado (que já apresenta uma umidade considerável devido aos ROA), o que pode levar a processos de anaerobiose e comprometimento da compostagem com geração de maus odores. Além disso, a adição de líquidos além da capacidade de campo (ponto de saturação) teria como resultado uma lixiviação, provocando uma lavagem dos materiais e consequente perda de nutrientes, além da perda do líquido adicionado, neste caso a urina.

Por isso, optou-se por utilizar uma quantidade bem menor de urina, de tal maneira que não ocorresse o processo de lixiviação. Ademais, devido a eventos pluviométricos ocorridos nos dias que precederam a montagem do experimento, o volume de UH adicionada teve que ser ainda mais reduzido. Por fim utilizou-se um total aproximado de 160 litros de urina divididos em seis partes que foram adicionadas à medida que as camadas dos outros materiais já previamente misturados eram empilhadas. Apesar da redução do volume utilizado, ainda foi possível observar um pequeno escoamento de líquido percolado da leira ao final da montagem desta. As características iniciais da leira antes e após a adição da urina encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12 - Características físico-químicas antes e após a adição de UH

Parâmetro	L2 – Sem urina	L1 – com urina
pH	6,45	7,5
CE (mS/cm)	1,56	3,25
Umidade (%)	72,71	77,88
Dúmida (kg/m ³)	306,24	582,69
Teor de matéria seca	27,28	22,12
SVT	82,07	78,32
N total (%)	1,49	1,63
CO Total (%)	45,60	43,51
C/N	30,56	26,85
P total	2,07	2,14

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Como é possível observar pela Tabela 12, assim como ocorreu para L1, a relação C/N inicial de L2 ficou abaixo da relação dimensionada, sendo esta de 26,85, novamente é possível associar este resultado ao fato da relação utilizada no dimensionamento estar acima daquela presente nos ROA utilizados, como pode ser visto na Quadro 3, esta ficou em 17,41. Entretanto, há de se notar que ao se comparar a relação C/N antes e após a adição da urina, houve uma redução significativa desta, conforme esperado, o que indica que a adição da UH se mostrou positiva no que concerne este parâmetro.

Ademais, a adição da urina representou uma alteração também nos outros parâmetros, ressalta-se aqui um leve aumento no teor de fósforo, e mais contundente o aumento de pH, devido a seu caráter alcalino e um aumento também na CE, justificado pela presença de sais na urina. Apesar do aumento destes parâmetros, não houve uma discrepância acentuada destes, o que não se espera ter causado grandes anomalias no processo inicial de compostagem.

O aumento do pH pode representar um possível aumento na volatilização da amônia, ocasionando uma maior perda de N para a atmosfera, que ocorre em pH mais elevados, entretanto, um pH de 7,5 não representa um valor tão elevado assim, ao ponto de se considerar grandes perdas por volatilização. Por outro lado a

elevação da CE, não se mostrou significativa, uma vez que, além desta se encontrar num valor abaixo de 4,0 mS/cm que é considerado o valor máximo adequado para compostos segundo Vasconcelos (2019), há uma redução dos valores de CE, conforme descrito por Kiehl, 2012.

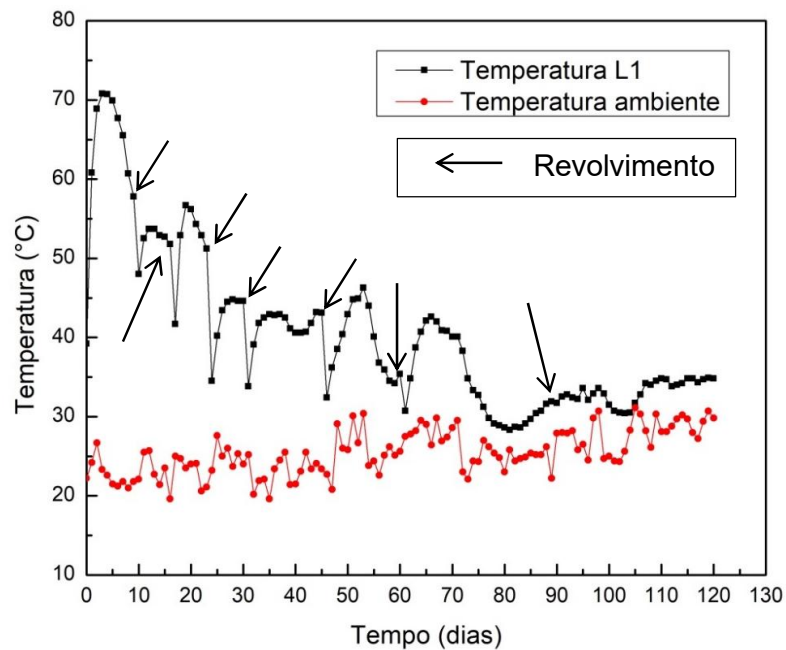
7.5 MONITORAMENTO DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM

7.6.1 Temperatura

Além das temperaturas ao longo do processo de compostagem, foi feita também uma avaliação das temperaturas das pilhas de resíduo enquanto eram armazenadas ao longo da semana de coleta precedente à montagem da leira, a fim de se avaliar a ocorrência de temperaturas mais elevadas indicando início de degradação de matéria orgânica. Para ambas as leiras as temperaturas antes da montagem destas permaneceram abaixo dos 40 °C, indicando baixos graus de atividade microbológica, quando comparados aos dias posteriores à montagem quando suas temperaturas tiveram um acentuado aumento.

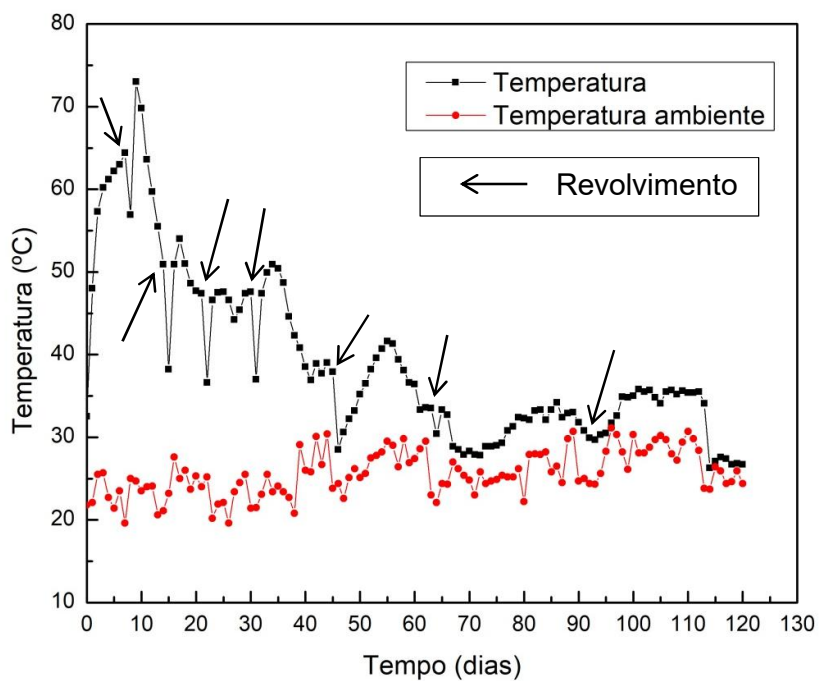
A Figura 31 e a Figura 32 mostram o comportamento da temperatura para L1 e L2 respectivamente, bem como da temperatura ambiente referente aos dias nos quais os experimentos ocorreram.

Figura 31 - Gráfico da variação da temperatura de L1 ao longo do processo de compostagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 32 - Gráfico da variação da temperatura de L2 ao longo do processo de compostagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

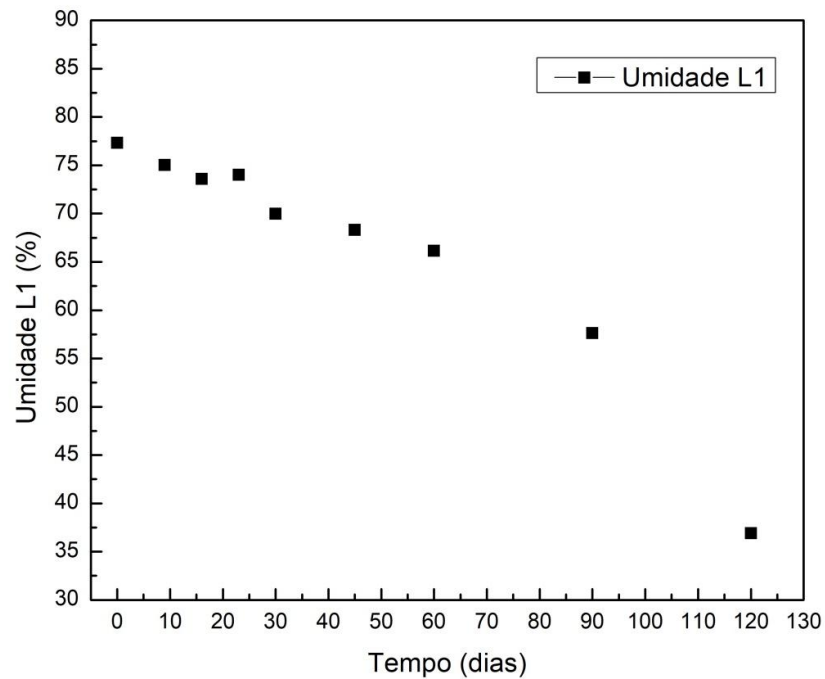
Observando os gráficos de temperatura das leiras é possível notar o efeito dos revolvimentos (indicados pelas setas) na atividade dos microrganismos por meio da aeração das leiras, principalmente nos tempos iniciais, garantindo assim, condições mais favoráveis às atividades microbiológicas. Após dois dias, os revolvimentos promoveram em alguns momentos o aumento da temperatura acima da registrada anteriormente a este procedimento, uma vez que o dia posterior apresentou uma queda brusca de temperatura. O aumento de temperatura após o revolvimento fica muito evidente no período inicial da compostagem de L2, onde foi possível alcançar um pico de temperatura acima de 70 °C, temperatura esta registrada também em L1, indicando assim, para ambas as leiras temperaturas ótimas a fim de promover a higienização do composto.

A fase termofílica teve uma duração aproximada de 70 dias para L1 e 55 dias para L2, quando se pôde observar uma tendência à redução e estabilização da temperatura, indicando assim, o possível término da fase de degradação ativa e início da fase de estabilização do composto. Ressalta-se ainda a tendência à convergência da temperatura do composto com a temperatura ambiente a medida que o tempo passa, de tal maneira que as variações das condições ambientais passam a representar também maiores variações na temperatura das leiras. No período final do experimento de L2 é possível observar uma drástica redução de temperatura ocasionada por fortes eventos pluviométricos de alto índice de precipitação que ocorreram neste período.

7.6.2 Umidade

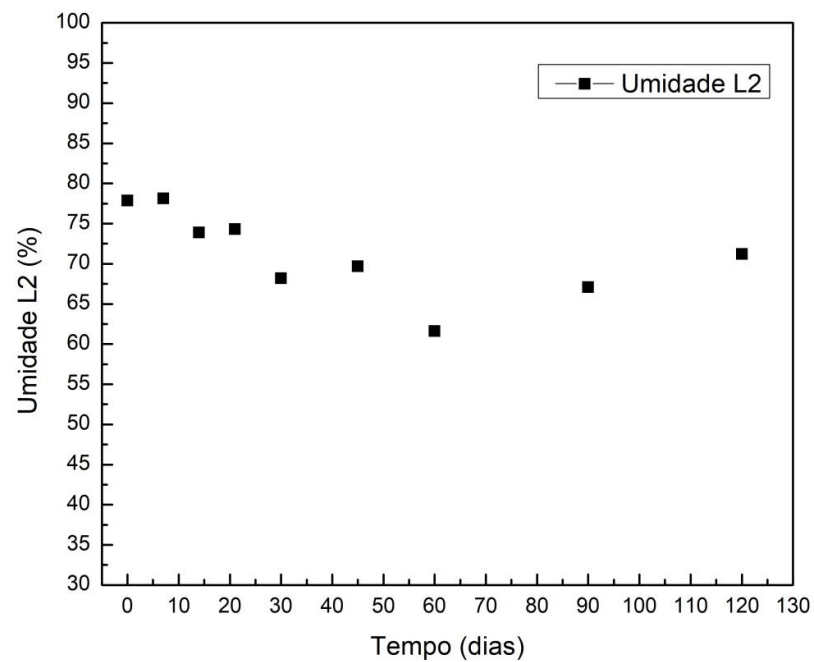
Devido à ocorrência de períodos chuvosos ao longo de todo o experimento, não se observou a necessidade de se realizar a umectação das leiras, tendo em vista que estas se mantiveram com umidade ideal ao longo de todo o processo. As variações de umidade para L1 e L2 podem ser observadas na Figura 33 e Figura 34.

Figura 33 – Gráfico da variação da umidade em L1 e da umidade relativa do ar em função do tempo



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 34 - Gráfico da variação da umidade em L2 e da umidade relativa do ar em função do tempo

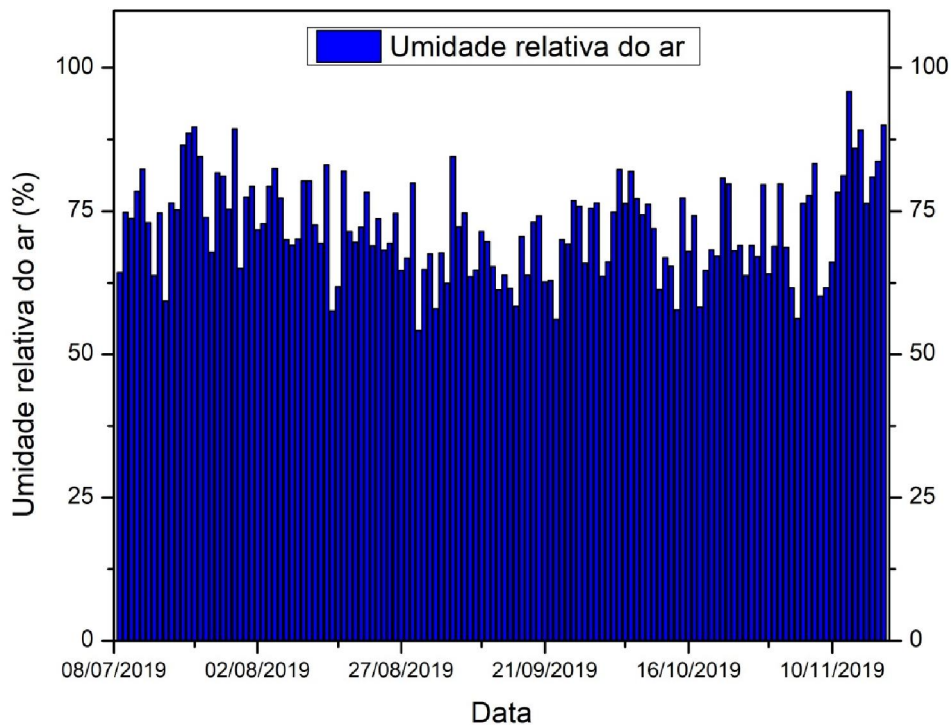


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Como o experimento foi realizado em espaço aberto e, portanto, sujeito aos intemperes ambientais, as precipitações ocorridas ao longo de todo o processo de compostagem fizeram com que, tanto L1 quanto L2 mantivessem a umidade praticamente sempre acima de 40%, considerada umidade mínima segundo Kiehl (2012). Entretanto, esta umidade se manteve também acima de 60%, considerada umidade crítica pelo autor, excetuando-se o final do processo de L1, na qual esta esteve abaixo de 60% aos 90 dias e abaixo de 40% aos 120 dias. Esta umidade excessiva teve maior impacto no início do processo de compostagem, quando no primeiro revolvimento de ambas as leiras observou-se um acúmulo de líquido em sua parte inferior e um forte odor, sendo este um indicativo da ocorrência de processo anaeróbico.

A Figura 35 ilustra o gráfico da umidade relativa do ar medida durante o período dos experimentos.

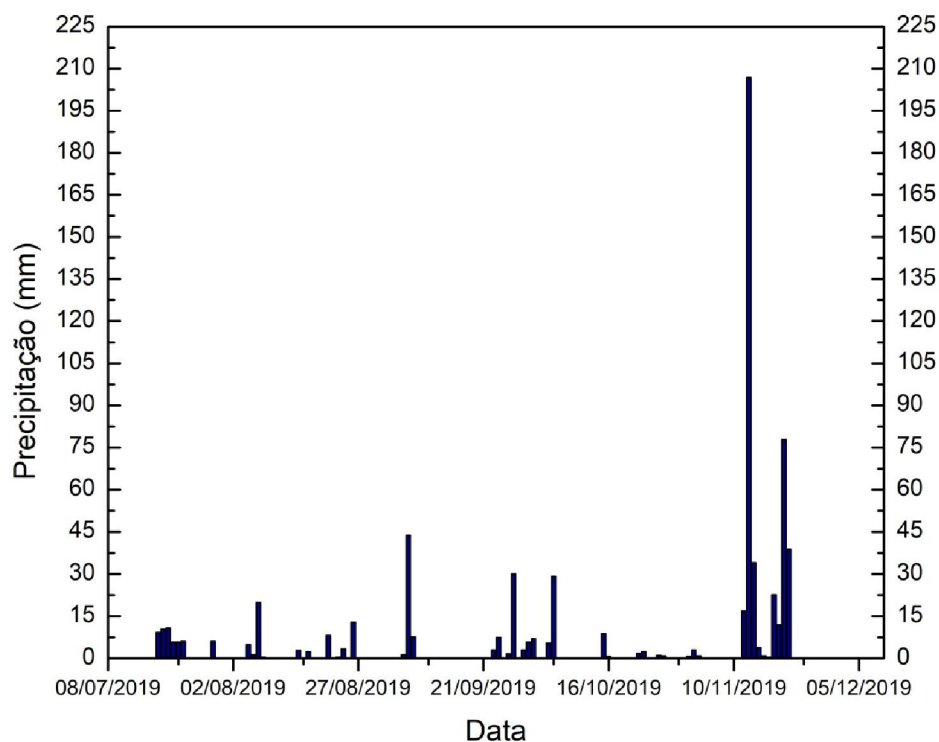
Figura 35 - Gráfico da umidade relativa do ar durante o período de compostagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Ocorreram diversos eventos pluviométricos ao longo do experimento, conforme demonstrado na Figura 36 que traz as medições pluviométricas para o período de estudo. Os dados de pluviosidade foram obtidos na página do INMET e são referentes à estação meteorológica automática Vitória – A612 de código 88630, e com coordenadas UTM 24K 7.757.980 m E 363.604 m S, localizada dentro do *campus* da UFES, em uma área próxima ao local de realização dos experimentos.

Figura 36 – Gráfico da precipitação média diária no período dos experimentos



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

As fortes chuvas ocorreram em maior quantidade e volume ao final do experimento de L2, com um acumulado de 413,8 mm em 10 dias, sendo o pico de maior chuva ocorrido no dia 13/11/2019 de 206,8 mm. Esse volume de chuva pode ter ocasionado a lixiviação de macronutrientes e micronutrientes, bem como o carreamento de sólidos em suspensão e migrorganismo, conforme descrito por Pereira Neto (2014). Uma evidência da ocorrência deste processo pode ser observada pelo rastro de líquido de cor esverdeado, proveniente da leira, deixado no chão do pátio de compostagem (Figura 37).

Figura 37 - L2 com um rastro de líquido deixado pela lixiviação após fortes chuvas



Fonte: Autoria própria (2019).

Observou-se quando realizados os revolvimentos iniciais a ocorrência de camadas recobertas com um material de cor esbranquiçada no interior das leiras (Figura 38) e desprendimento de vapor d'água, indicando uma grande presença de actinomicetos no interior das leiras, principalmente no primeiro revolvimento. Este fato foi também observado, porém em menor quantidade, nos segundo e terceiro revolvimentos de ambas as leiras.

Figura 38 - Interior de L1 durante o primeiro revolvimento (a) e close no material coberto com uma camada esbranquiçada



Fonte: Autoria própria (2019).

Outro aspecto percebido quando no revolvimento das leiras foi a ocorrência de aglomerados de material em formato esférico que tiveram seus tamanhos reduzidos ao longo do processo, conforme se observa na Figura 39.

Figura 39 - Material aglomerado aos 30 dias de compostagem de L1 (esquerda) e material aglomerado com dimensões reduzidas aos 45 dias de compostagem de L1 (direita)

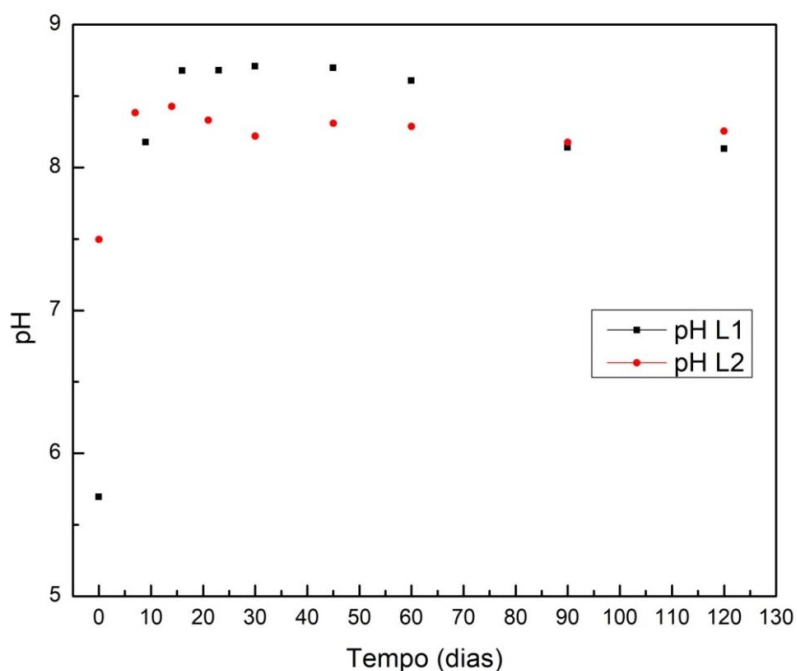


Fonte: Autoria própria (2019).

7.6.3 pH e condutividade elétrica

As variações de pH ao longo do processo de compostagem para L1 e L2 encontram-se no gráfico da Figura 40.

Figura 40 - Gráfico da variação do pH de L1 e L2 em relação ao tempo de compostagem

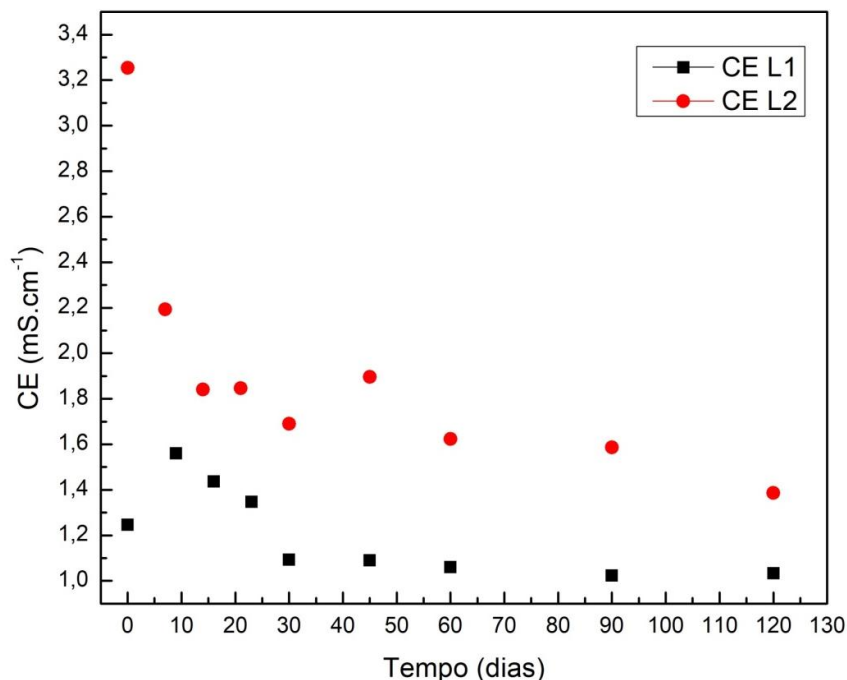


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O pH da L1 se iniciou com caráter ácido devido à acidez apresentada nos ROA, já L2 teve o pH inicial levemente básico pela adição da urina, conforme discutido anteriormente. Entretanto, ambas tiveram seus respectivos pH elevados logo no período inicial do processo de compostagem devido ao caráter de alcalinização promovido pela respiração aeróbia dos microrganismos decompositores conforme observado por Kiehl (2012). Após essa elevação inicial de pH, este se manteve praticamente constante na faixa de 8 ao longo de todo o processo, gerando ao final um composto levemente básico ideal para utilização como fertilizante, principalmente em solos de caráter ácido.

A Figura 41 ilustra a variação da CE ao longo do experimento.

Figura 41 - Gráfico da variação da CE de L1 e L2 em relação ao tempo de compostagem



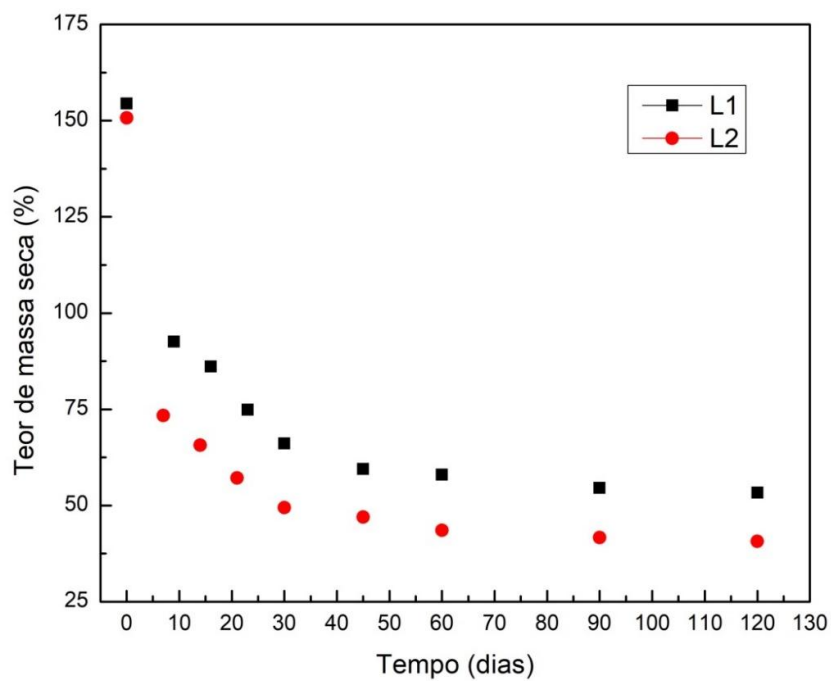
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Conforme se observa no gráfico, L2 apresentou uma condutividade elétrica inicial bem superior à de L1, isso se deu devido a presença de sais na urina adicionada. No caso de L1, apesar de ter se observado um aumento inicial na CE, esta, assim como em L2, teve seus valores reduzidos ao longo do processo. A CE tende a diminuir com o processo de compostagem, o que segundo descrito por Kiehl (2012) se deve às alterações nos teores iniciais de ácidos orgânicos, e não devido à lixiviação de sais.

7.6.4 Perda de massa e volume

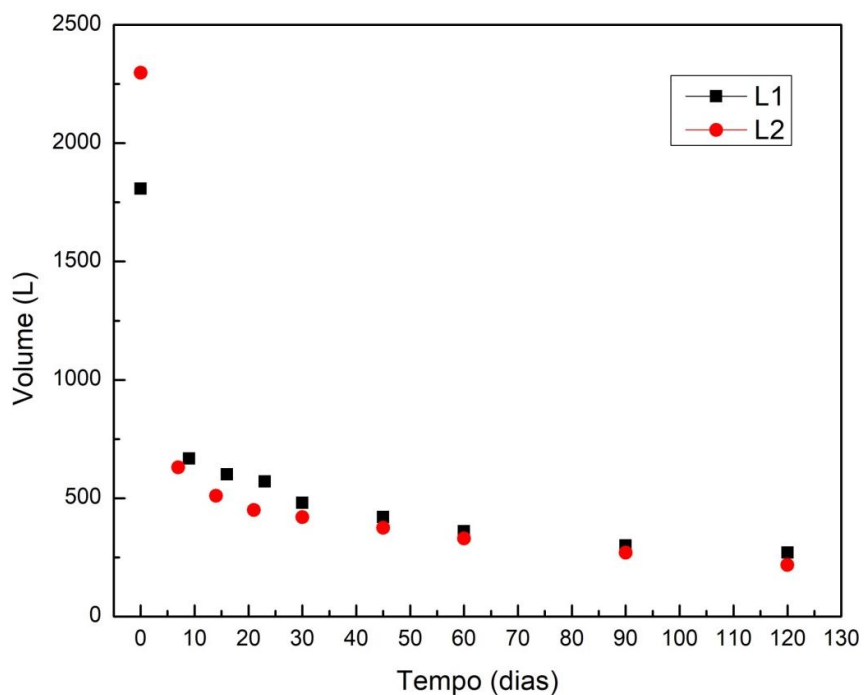
Ao longo do processo de compostagem é natural a perda de massa do composto, e conseqüentemente de volume, devido a degradação da matéria orgânica, resultando num consumo de carbono presente nos resíduos por parte dos microrganismos que é liberado na atmosfera na forma de CO₂. As medições da variação de massa e volume ao longo do processo estão apresentadas nas Figura 42 e Figura 43.

Figura 42 - Gráfico da perda de massa seca de L1 e L2 em relação ao tempo de compostagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 43 - Gráfico da variação do volume de L1 e L2 em relação ao tempo de compostagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A redução do teor de massa seca teve um comportamento muito semelhante para ambos os tratamentos, havendo uma redução mais acentuada no início do processo até por volta 45°, devido a este ser o período de degradação ativa já identificado anteriormente, por outro lado o período final do processo de compostagem mostrou uma taxa de redução bem menor, a medida que o composto foi se estabilizando. O balanço de massa para L1 e L2 é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Balanço de massa seca dos tratamentos L1 e L2

Tratamento	MS inicial	MS final	MS perdida	RMS
	------(kg)-----			-----(%)-
L1	154,48	53,31	101,17	65,49
L2	150,75	40,65	110,10	73,03

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O comportamento da redução do volume foi muito semelhante ao da matéria seca, entretanto, a percepção da diferença entra a fase de degradação ativa e de maturação ficou menos evidente, uma vez que a umidade do material contribui para a alteração no volume. Dessa forma, o teor de matéria seca se mostra um parâmetro mais adequado a esta análise.

Outra forma de se observar a perda de massa é comparando as dimensões das leiras ao longo do processo de compostagem, as dimensões iniciais e finais para L1 e L2 estão expostas na Tabela 14, na qual as dimensões em metro estão descritas segundo a relação largura da base x comprimento x altura.

Tabela 14 - Dimensões iniciais e finais de L1 e L2

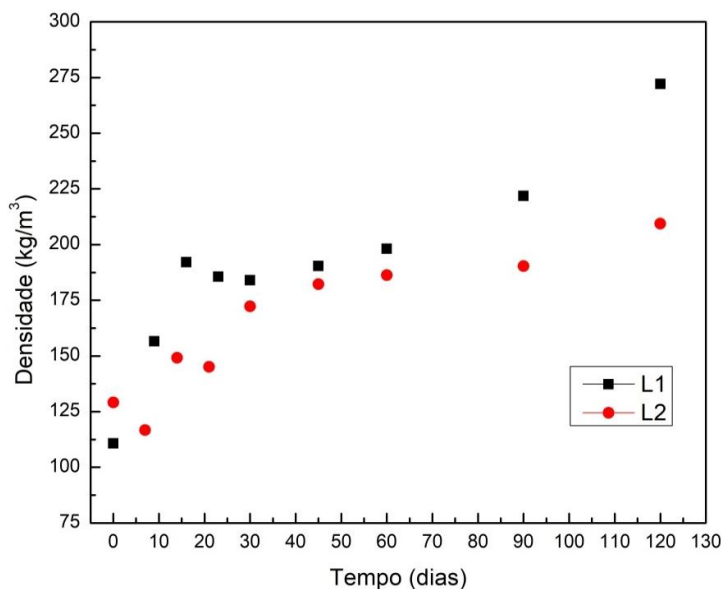
Tratamento	Dimensões iniciais	Dimensões finais
	----- (m)-----	
L1	1,5 x 2,5 x 0,75	1,0 x 1,0 x 0,75
L2	1,5 x 2,15 x 0,75	1,0 x 0,8 x 0,75

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

7.6.5 Densidade

Os valores da variação da densidade seca estão plotados no gráfico expresso na Figura 44.

Figura 44 - Gráfico da variação da densidade seca de L1 e L2 em relação ao tempo de compostagem



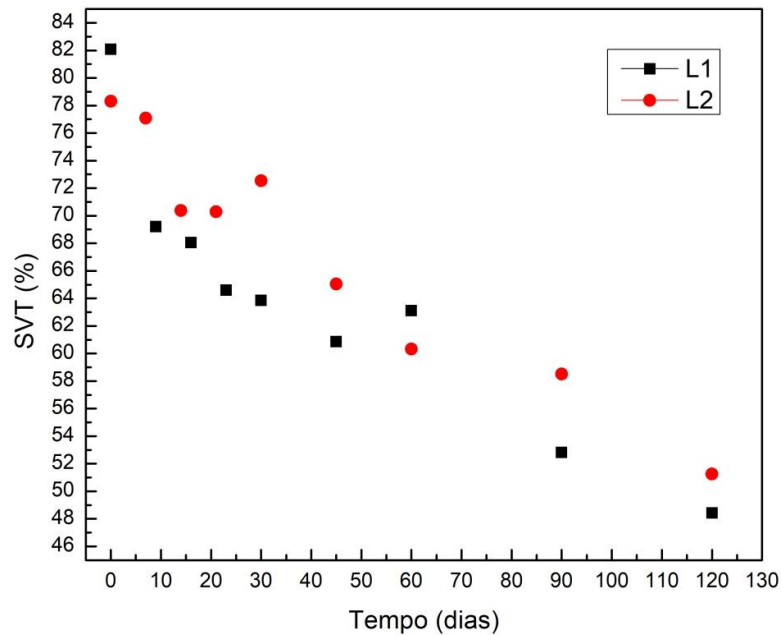
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A densidade seca se mostrou com tendência de aumento ao longo do processo, isso se deve ao fato da maior ocorrência de material humificado que é mais denso. Entretanto se observa um decaimento passada a fase inicial do processo, com posterior retomada de crescimento, que pode ser explicado pela degradação inicial de materiais causando uma redução no tamanho inicial das partículas. Já a redução inicial vista em L2 pode ter ocorrido pela evaporação ou lixiviação de parcela da urina adicionada.

7.6.6 Sólidos voláteis totais

Como os sólidos voláteis totais representam o teor de matéria orgânica no composto, o seu acompanhamento possui relevância na medida em que auxilia na verificação do grau de maturidade do composto. Os resultados deste parâmetro para L1 e L2 encontram-se na Figura 45.

Figura 45 - Gráfico da variação dos SVT de L1 e L2 em relação ao tempo de compostagem



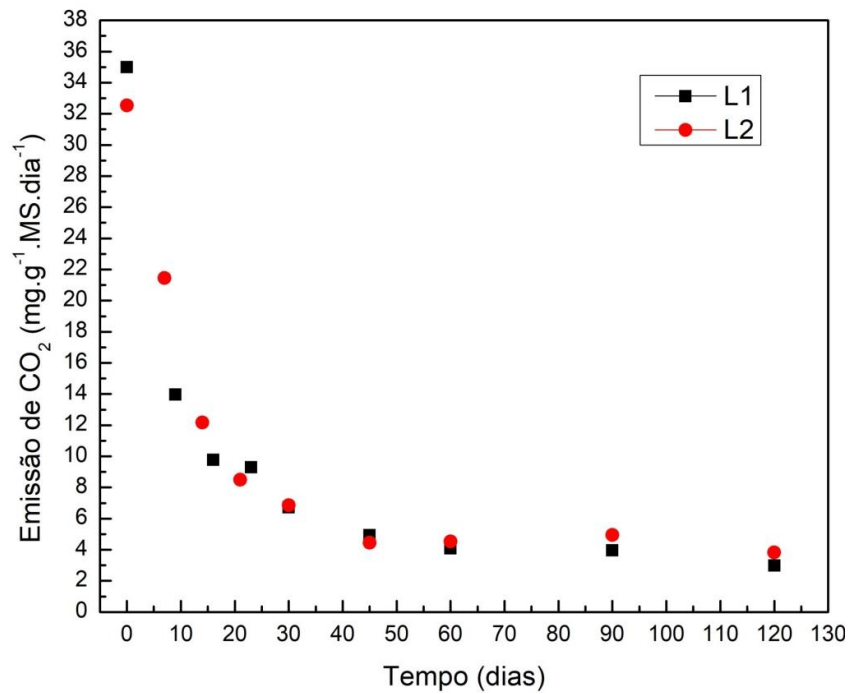
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A tendência, como esperado, é da redução nos valores de SVT, ou nos teores de MO, ambos os tratamentos apresentaram comportamento similar atingindo valores ao final do experimento bem abaixo dos iniciais, evidenciando a ocorrência da degradação da MO e posterior humificação. Segundo Pereira Neto (2014), um processo considerado eficiente, no que se refere a este parâmetro, deve apresentar uma redução média de 40% do teor inicial de sólidos voláteis. Pela figura k, observa-se que L1 chegou a este valor, apresentando uma redução de 41%, enquanto L2 teve uma redução de SVT de 35%. Apesar de não ter atingido o valor exato de 40%, este valor esteve próximo para L2, que apresentou um comportamento condizente semelhante àquele considerado ótimo, como no caso de L1.

7.6.7 Emissões potenciais de CO₂ e NH₃

Outro parâmetro capaz de indicar o grau de estabilidade do composto são as emissões de CO₂ e NH₃, os resultados das análises de incubação para estimativa destas emissões encontram-se no gráfico da Figura 46 e Figura 47, respectivamente.

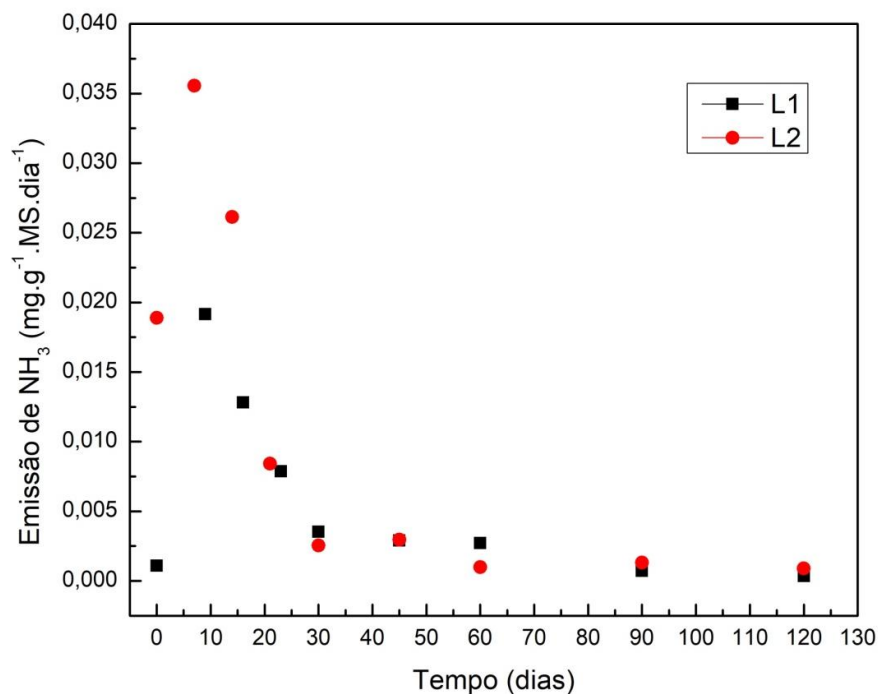
Figura 46 - Gráfico da variação da emissão de CO₂ de L1 e L2 em relação ao tempo de compostagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Conforme pode-se observar no gráfico, o decaimento das emissões de CO₂ se deu de maneira exponencial, indicando uma maior atividade microbológica no período inicial, até por volta dos 45 dias, período este no qual ocorreu a fase termófila de degradação ativa, seguida da fase de estabilização iniciada por volta dos 60 dias de compostagem. Ambos os tratamentos apresentaram valores muito próximos, indicando um comportamento bastante similar no que concerne a etapa de degradação do composto.

Figura 47 - Gráfico da variação da emissão de NH_3 de L1 e L2 em relação ao tempo de compostagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

De maneira análoga ao comportamento da emissão de CO_2 , para o NH_3 , observa-se um decaimento exponencial da emissão, se estabilizando por volta do 45º dia e tendo um decaimento mais suave ao final. Observa-se, entretanto, que para L1 a emissão no início do experimento foi próxima a zero, isso ocorreu devido ao caráter ácido do composto inicial, de maneira que inibiu a volatilização da amônia. Já L2, também apresentou uma emissão mais baixa no início do processo, entretanto, devido à adição da urina de pH elevado ao composto, o pH inicial em L2 era superior ao de L1, permitindo, assim, que houvesse uma volatilização de certa quantidade de NH_3 . Novamente, ressalta-se a convergência dos dados analisados como indicadores de estabilidade do composto, sendo estes complementares entre si de maneira que se possa estimar o momento no qual o processo de compostagem iniciou a sua fase de maturação.

7.6.8 Análises microbiológicas

Não foi possível realizar a quantificação de *E. coli* para o tempo inicial de L1, uma vez que a diluição de 10^{-3} se mostrou insuficiente, já que nesta diluição a cartela “estourou”, ou seja, todos os poços deram positivo para esta bactéria, o que representou uma quantidade superior a $2,4 \times 10^5$ NMP.g⁻¹. Para o tempo inicial de L2 e finais de L1 e L2 fez-se diluições até 10^{-5} , de maneira que fosse possível efetuar a leitura da cartela, cujo valor final em NMP/g de MS foi calculado por meio da média geométrica dos valores lidos na tabela estatística. O valor final para L1 foi de $2,0 \times 10^2$. Para L2, os valores inicial e final foram de $1,7 \times 10^5$ e $3,0 \times 10^3$, respectivamente.

Ao se observar os valores iniciais dos resultados para coliformes termotolerantes é possível identificar valores bastante elevados, na ordem de 10^5 , que não eram esperados, uma vez que os resíduos orgânicos utilizados não indicavam tamanha contaminação, entretanto, ressalta-se que essa contaminação pode ter tido origem no processo de armazenamento dos resíduos de poda e aparas de grama, uma vez que estes ficaram expostos em ambiente aberto durante este processo.

Analisando os resultados, é possível inferir que o processo de compostagem contribuiu para uma significativa redução na quantidade de coliformes termotolerantes presentes nas amostras. Sendo que o composto final obtido em L1 se encontra abaixo do limite admitido pela legislação que é de $1,0 \times 10^3$. Já L2 embora tenha ficado acima deste valor, ficou próximo a este, ao mesmo na mesma ordem de grandeza de 10^3 . Vale ressaltar que os experimentos foram conduzidos em ambiente aberto e sem proteção das leiras, o que pode ter contribuído para uma possível contaminação externa ao longo do processo. Vasconcelos (2019) verificou em seu estudo que a utilização de proteção sobre a leira, bem como a realização de revolvimentos periódicos são fatores que contribuem para a redução da quantidade de coliformes termotolerantes ao final do processo de compostagem.

Não foram detectados ovos viáveis de helmintos no momento inicial e nem no momento final tanto para L1 quanto para L2.

7.6.9 Caracterização do composto obtido

A modificação da matéria orgânica no processo de compostagem pode ser observada por meio das tabelas comparativas de propriedades iniciais e finais do composto produzido nos experimentos de L1 (Tabela 15) e L2 (Tabela 16). A aparência das amostras inicial e final de L1 mostra o processo de transformação sofrido pela matéria orgânica (Figura 48).

Tabela 15 - Características do composto de L1 no início e ao final do processo de compostagem

Parâmetro	Período	
	Inicial	Final
pH	5,69	8,13
CE (mS.cm ⁻¹)	1,24	1,03
Umidade (%)	77,33	36,92
Densidade (kg de MS.m ⁻³)	110,77	272,14
Teor de matéria seca (%)	22,67	63,08
SVT (%)	82,09	48,43
N total (%)	1,71	2,015
CO Total (%)	45,60	26,9
C/N	26,60	13,35
P total (%)	1,94	2,63
E. coli (NMP.g ⁻¹)	>2,4 x 10 ⁵	2,0 x 10 ²
OVH	Ausente	Ausente

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Tabela 16 - Características do composto de L2 no início e ao final do processo de compostagem

Parâmetro	Período	
	Inicial	Final
pH	7,5	8,25
CE (mS.cm ⁻¹)	3,25	1,39
Umidade (%)	77,88	71,2
Densidade (kg de MS.m ⁻³)	129,15	209,35
Teor de matéria seca (%)	22,12	28,8
SVT (%)	78,32	57,26
N total (%)	1,63	2,36
CO Total (%)	43,51	31,81
C/N	26,85	13,50
P total (%)	2,14	3,38
E. coli (NMP.g ⁻¹)	1,7 x 10 ⁵	3,0 x 10 ³
OVH	Ausente	Ausente

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 48 - Amostra inicial do material de L1 (esquerda) e amostra final do composto obtido de L1 (direita)



Fonte: Autoria própria (2019).

Como se pode observar pela Figura 48, o composto obtido ao final do processo tem uma aparência escura indicando uma grande presença de materiais húmicos. É possível identificar, também, materiais com uma granulometria um pouco maior,

estes são materiais com altos teores de lignina e celulose que são de difícil degradação, o que sugere que o composto deve ser peneirado, de maneira a remover esses materiais, antes da sua utilização agrícola.

Por fim, tem-se a Tabela 17 que traz uma comparação das propriedades do composto final obtido frente à legislação brasileira vigente de acordo com a IN 25/09 e IN 27/06.

Tabela 17 - Parâmetros das características do composto final de L1 e L2 frente à legislação vigente

Parâmetros	L1	L2	Legislação
pH	8,13	8,25	Mínimo 6,0 (IN 25/06)
CE (mS/cm)	1,03	1,39	-
Umidade (%)	36,92	71,2	Máximo de 50 (IN 25/09)
D seca (kg/m ³)	272,1363	209,35	-
Teor de matéria seca (%)	63,08	28,8	-
SVT (%)	48,43	57,26	-
N total (%)	2,015	2,36	Mín. 0,5 (IN 25/2009)
CO Total (%)	26,9	31,81	Mín. 15 (IN 25/2009)
C/N	13,35	13,50	Máx. 20 (IN 25/2009)
P total (%)	2,63	3,38	-
Coliformes termotolerantes (NMP/g de MS)	2,0 x 10 ²	3,0 x 10 ³	Máx. 1.000 (IN 27/2006)
OVH (nº em 4g ST)	Ausente	Ausente	Máx. 1,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Como se pode observar na Tabela 17, para os parâmetros avaliados neste presente trabalho, o composto obtido enquadra-se em praticamente todos os quesitos legais, a exceção dos parâmetros de umidade e coliformes termotolerantes de L2 que esteve ligeiramente acima da norma. O resultado geral indica que os processos de compostagem para ambos os tratamentos foram conduzidos de maneira adequada, gerando assim um composto de qualidade. Ressalta-se ainda, que os outros parâmetros não enquadrados na legislação tiveram valores condizentes com aqueles considerados adequados pela literatura. De forma que a adição de urina humana no processo de compostagem não provocou alterações significativas no comportamento dos parâmetros avaliados ao longo do processo de compostagem. Ademais, o uso da urina contribuiu para a redução da relação C/N inicial de maneira que o processo ocorrido no experimento 2 tivesse comportamento muito semelhante

àquele do experimento 1, uma vez que ambos tiveram uma relação C/N inicial bem próxima.

6 CONCLUSÃO

Com relação à caracterização físico-química dos resíduos coletados:

- Com a campanha de coleta foi possível identificar um padrão quanto à quantidade e os tipos de resíduos gerados durante o processo de preparo das refeições do RU;
- A identificação deste padrão permite realizar uma projeção a fim de servir como base teórica para trabalhos futuros;
- A caracterização dos resíduos coletados identificou o potencial destes como insumo para um eficiente processo de compostagem, de tal maneira que não houve a necessidade de se agregar materiais externos.

Com relação ao monitoramento e avaliação físico-química do processo de compostagem:

- O monitoramento do processo de compostagem permitiu a condução dos experimentos de maneira controlada, a fim de obter as condições ideais para a realização dos mesmos conforme metodologia estipulada;
- Por meio do monitoramento e da avaliação físico-química dos experimentos foi possível gerar dados referentes às condições às quais os processos se encontravam, de maneira a subsidiar as tomadas de decisão para a correta condução dos mesmos;
- Com a avaliação físico-química dos diversos parâmetros envolvidos no processo de compostagem, foi possível realizar a comparação entre os dois tipos de tratamento, permitindo avaliar os efeitos da adição da urina humana no comportamento dos processos;
- A adição de urina humana representou um aporte de N, de tal maneira que a relação C/N inicial fosse ajustada a um valor próximo ao referencial teórico desejado;
- Não se observou significativas diferenças, nem prejuízos ao comportamento do processo de compostagem com a adição da urina, quando comparado ao tratamento sem esta. Dessa maneira, pode-se considerar viável o uso da urina

humana na compostagem de resíduos orgânicos como fonte de N, principalmente em materiais com elevadas relações C/N.

Com relação às caracterizações físico-química e microbiológica da mistura de materiais iniciais e do composto obtido:

- Todos os parâmetros físico-químicos avaliados para o composto final obtido, tanto de L1 quanto de L2 atenderam às exigências legais;
- As características finais do composto se mostraram em conformidade com aquelas observadas na literatura para um composto de qualidade, o que indica um processo de compostagem realizado de maneira adequada;
- A relação dos valores iniciais e finais para os dois tratamentos foi bastante semelhante, indicando que ambas passaram pelo processo de compostagem em condições próximas;
- O processo de compostagem promoveu uma redução no número de coliformes termotolerantes identificados, o que indica que este é um processo eficiente na remoção dos mesmos, apesar dos valores encontrados em L2 estarem acima da legislação, o que pode ser decorrência de contaminação externa.

SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Como não foi escopo deste trabalho a avaliação da presença da bactéria *Salmonella* pode ser de interesse, a fim de se avaliar a segurança do composto;
- A análise de outros contaminantes também é importante a fim de enquadrar o composto gerado na legislação. Recomenda-se as análises de metais pesados, agrotóxicos e desruptores endócrinos;
- Avaliar macro e micronutrientes totais e disponíveis, a fim de se realizar uma caracterização completa do composto obtido;
- Avaliar o uso da urina humana de resíduos com baixos teores de umidade e carentes de N, uma vez que o uso da urina acarreta num grande aporte de umidade;
- Avaliar o uso da urina de forma concentrada;
- Analisar o lixiviado produzido pelos dois tratamentos e estudar possibilidade de tratamento do mesmo;
- Realizar um estudo de viabilidade da compostagem para a implantação de um programa de gerenciamento de resíduos sólidos e compostagem na UFES;
- Realizar um estudo estatístico dos experimentos, a fim de se obter maior exatidão nas análises comparativas.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. J. G. **Gestão comunitária de resíduos orgânicos: o caso do Projeto Revolução dos Baldinhos (PRB), capital social e agricultura urbana.** 2013. 150 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, 2013.

APHA, 2012. **Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater**, 22nd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC.

ARAÚJO, N. C. **Uso de urina humana como fonte alternativa de nutrientes para a cultura do milho (Zea mays L.) cultivado em sistema hidropônico.** 2014. 81p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E SERVIÇOS ESPECIAIS. Caderno Especial: Panorama Mundial dos Resíduos Sólidos. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2017.** São Paulo: ABRELPE, 2018.210p. Disponível em <<http://www.abrelpe.org.br>>. Acesso em 12 jun. 2019.

BENÁ FILHO, N. B. **Estruvita: identificação de potenciais perigos e eventos perigosos no processo de produção, percepção e aceitabilidade de agricultores quanto ao seu uso agrícola.** 2019. 247 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, 2019.

BOTTO, M. P. **Utilização da urina humana como biofertilizante para produção de alimentos e energia: Caracterização, uso na agricultura e recuperação de nutrientes.** 2013. 270 f. Tese (Doutorado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <<http://www4.planalto.gov.br/legislacao>>. Acesso em: 09 jun. 2019.

Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 481**, de 3 de outubro de 2017. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Brasília.

EPA, United States Environmental Protection Agency. **Composting of Yard Trimmings and Municipal Solid Waste**, EPA/530/R94 – 003, 151 p. 1994.

FAGUNDES, D. D. C. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em Tarumã e Teodoro Sampaio - SP**. Sociedade & Natureza (Online), v. 21, n. 2, p. 159–179, 2009.

FERREIRA, R. A. **Aprimoramento da compostagem de resíduos de podas e jardins por meio de técnicas de baixo custo**. 2018. 55 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2018

FIALHO, L. L.; SILVA, W. D.; MILORI, D. M. B. P.; SIMÕES, M. L. **Monitoramento químico e físico do processo de compostagem de diferentes resíduos orgânicos**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, Circular Técnica, n.29, 2005. 6p.

GONÇALVES, R. F.; REBOUÇAS, T. C.; OTÁROLA MIRAVAL, D.; BIANCHI, G.; BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e tratamento de diferentes tipos de águas residuárias de origem residencial após segregação**. In: Rescatando antiguos principios para los nuevos desafíos del milenio. AIDIS, 2006. p. 1-10.

GUEDES, A. R. P. **Uso de urina humana na compostagem de resíduos verdes**. 2016. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, Salvador, 2016.

GUERMANDI, J. I. **Avaliação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos dos fertilizantes orgânicos produzidos pelas técnicas de compostagem e vermicompostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos coletada em estabelecimentos alimentícios de São Carlos/SP**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

INSTITUTE FOR SOLID WASTES OF AMERICAN PUBLIC WORKS ASSOCIATION. **Municipal refuse disposal public administration service**. 3. Ed., Illinois. Composting, p. 293-329 – 1970.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. 2012. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv59908.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Diagnósticos dos Resíduos Sólidos Urbanos, Relatório de Pesquisa**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2019

JIMÉNEZ, E.I. & GARCIA, V.P. **Relationships between organic carbon and total organic matter in municipal solid wastes and city refuse composts**. *Bioresource Technology*, 41:265-272, 1992.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica "Ceres", 1985. 492 p.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba, 6 ed., fev. 2012. 162p.

LEDESMA, S., L. M. **Precipitação de estruvita a partir de esgoto doméstico**. 2014. 156 p. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento da Engenharia Hidráulica e Ambiental.

LOUREIRO, D. C. *et al.* **Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico**. Pesquisa Agropecuária.

MASSUKADO, L. M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. p. 182, 2008.

MELO, S. **Análise do uso de compostagem doméstica em conjuntos habitacionais de interesse social na cidade de São Domingos–Bahia**. p. 100, 2014.

MEMELLI, M. S. **Produção de estruvita ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) a partir da urina humana através de precipitação induzida por íons de magnésio**. 2019. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, 2019.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Instrução Normativa SDA/MAPA nº 17**, de 21 de maio de 2007. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos. Brasília.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Instrução Normativa SDA/MAPA nº 25**, de 28 de julho de 2009. 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. Brasília.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Instrução Normativa SDA/MAPA nº 27**, de 12 de abril de 2016b. Instrução Normativa no que se refere às

concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. Brasília.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Instrução Normativa nº 5**, de 10 de maio de 2016a. Regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. Brasília.

MOROKAWA, M. J. **Obtenção de substratos orgânicos para mudas de espécies florestais a partir da compostagem de capim elefante e torta de mamona**. 2017 42 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

MOTA, A. F.; ARAÚJO, N. C.; LIMA, V. L. A.; OLIVEIRA, S. J. C.; ARAÚJO, F. A. C. **Crescimento inicial do feijão caupi fertirrigado com urina humana**. In: III INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2015, Fortaleza. Anais eletrônicos...Fortaleza, 2015.

NUNES, M. U. C. **Compostagem de resíduos para produção de adubo orgânico na pequena propriedade**. Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular Técnica, 2009.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Ed. UFV, Viçosa, Minas Gerais, 2014. 81p.

SANTOS, O. S. N.; TEIXEIRA, M. B.; GHEYI, H. R.; QUEIROZ, L. M.; SILVA PAZ, V. P.; SILVA LINGE, C.; KIPERSTOK, A. **Bermudagrass fertilization with human urine as a tool to close nutrient cycles: The use of micronutrients**. African Journal of Agricultural Research, v.10, n.32, p.3189-3199, 2015.

SOUZA, Caroline Lobato de Lima. **Compostagem para tratamento da parcela facilmente degradável dos resíduos sólidos domésticos rejeitada nos processos de triagem de inertes**. 2014. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2014.

SNELL. J. R. **Some aspects of high-rate composting**. Journal Sanitary Engineering division. ASCE. Paper 1178, 1957.

VASCONCELOS, C.V. **Caracterização e tratamento do composto orgânico de resíduos urbanos de Belo Horizonte – MG para a utilização em ações de Agricultura Urbana**. 2019. 62 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

ZANCHETA, P. G. **Recuperação e tratamento da urina humana para uso agrícola**. 2007. 86p. Dissertação (Mestrado) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, 2007.