



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Pierre Marcel Pereira

Desenvolvimento de um eletrodoméstico sanitário (Microcomposteira UFSC)

Florianópolis
2025

Pierre Marcel Pereira

Desenvolvimento de um eletrodoméstico sanitário (Microcomposteira UFSC)

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador(a): Prof. Dr. Paul Richard Momsen Miller.

Florianópolis

2025

Dedico meu TCC, minha graduação e conhecimento na área de agronomia, para minha família e amigos. A todos presentes e antepassados que viveram da terra.

RESUMO

Compostar resíduos orgânicos em pequenas escalas através de ambiente controlado que seja rápido, quente e inteligente é desafiador. Ajustando a temperatura conforme o estágio termofílico 65 a 70°C, mantendo a umidade e fluxo de oxigênio no sistema através de um material poroso, aerado que retenha a umidade, é possível manter a atividade intensa dos microrganismos e realizar a compostagem em ambiente controlado. O presente estudo modificou uma estufa de manter salgados (a vapor), buscando realizar a compostagem de resíduos orgânicos de forma controlada em pequeno espaço, imitando um eletrodoméstico. Inicialmente a modificação da parte interna da estufa foi utilizando recipientes perfurados (bacias plásticas) que suportam calor relativamente alto e o suportasse material de compostagem. O material orgânico utilizado como teste foi resto de comida do restaurante universitário CCA UFSC, juntamente a maravalha de cama de rato, e uma pequena fração de inóculo (composto ativo). O desafio no sistema se mostrou manter a umidade no material de compostagem e atividade microbiana constante, pois o fluxo de ar é muito alto devido as projeções da estufa que não permitem o uso total da área, formando grandes colunas de ar e um efeito chaminé de evaporação de partículas de águas. Os testes demonstraram alto consumo diário de água no sistema, mais que 2 litros por dia, além de eficiência no quesito temperatura e fluxo de oxigênio, atingindo a temperatura de 70°C em 1 hora no material orgânico teste.

Palavras-chave: Compostagem Termofílica, estufa úmida,

ABSTRACT

Composting organic waste on a small scale in a controlled environment that is fast, hot, and intelligent is challenging. By adjusting the temperature according to the thermophilic stage (65-70°C), maintaining humidity and oxygen flow in the system through a porous, aerated material that retains moisture, it is possible to maintain intense microbial activity and perform composting in a controlled environment. This study modified a steam-based composting oven to perform controlled composting of organic waste in a small space, mimicking a household appliance. Initially, the modification of the oven's interior involved using perforated containers (plastic basins) that withstand relatively high heat and a composting material support. The organic material used as a test was leftover food from the CCA UFSC university restaurant, along with rat bedding shavings and a small fraction of inoculum (active compound). The challenge in the system proved to be maintaining moisture in the composting material and constant microbial activity, as the airflow is very high due to the greenhouse projections that do not allow for full use of the area, forming large columns of air and a scorching effect of water particle evaporation. Tests showed high daily water consumption in the system, more than 2 liters per day, in addition to efficiency in terms of temperature and oxygen flow, reaching a temperature of 70°C in 1 hour in the tested organic material.

Keywords: Thermophilic Composting, Hot and Wet Composting, Home Composting.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	OBJETIVOS.....	17
3	METODOLOGIA.....	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	20
5	CONCLUSÕES.....	23
	REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

A compostagem é um processo biológico aeróbico de transformação da matéria orgânica, no qual microrganismos convertem resíduos orgânicos em um produto estável e rico em nutrientes (INÁCIO & MILLER, 2009).

A destinação de resíduos orgânicos deve ser realizada de modo sustentável, como a compostagem aeróbica termofílica, que contribui para desenvolvimento urbano sustentável, além de minimizar impactos ambientais quando comparado a outros tratamentos como de aterros sanitários (INÁCIO & MILLER, 2009).

A compostagem transforma resíduos orgânicos em substrato parecido ao solo, rico em nutrientes, podendo ser utilizado como insumo na agricultura e até recuperar áreas degradadas (WEPPEN, 2001). É um bioprocessamento resultado da decomposição e estabilização da matéria orgânica, exercido pelos microrganismos, resultando em um produto estável, rico em nutrientes, livre de patógenos (DIAZ, 2011).

Segundo a resolução nº 481/2017 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), necessita-se de temperaturas mínimas exigidas em sistemas abertos de compostagem, devem ser superiores a 55°C em 14 dias e 65°C em 3 dias, caracterizando a higienização e a fase termofílica. Etapa que é essencial para livrar o material orgânicos de patógenos nocivos e acelerar a degradação de matéria orgânica (HAUG, 1993; DIAZ, 2011).

No processo de compostagem, a atividade microbiana aeróbica promove a oxidação da matéria orgânica, consumindo O₂ e liberando CO₂, como também liberando calor e vapor d'água. (HAUG, 1993; MILLER, 1996; DIAZ, 2011).

Deste modo, o presente trabalho buscou realizar a compostagem de resíduos orgânicos em ambiente controlado, em estufa de manter salgado modificada para o sistema Microcomposteira UFSC, quente e úmido. Buscando fatores que sejam fundamentais para o desenvolvimento da mesma, como temperatura, umidade e oxigênio necessários para funcionamento.

2.1 Compostagem aeróbica

A compostagem aeróbica é caracterizada por quatro fases principais, sendo a primeira fase a mesofílica (inicial). A fase mesofílica, é caracterizada pela proliferação de fungos e bactérias mesófilas na matéria orgânica e dão início ao processo de degradação. Nessa etapa, as temperaturas são moderadas em torno de 40°C. Em seguida ocorre a fase termofílica, podendo durar até 60 dias. Nela, fungos e bactérias termófilas são capazes de resistir a altas temperaturas, e fazem degradação complexas da matéria orgânica. As temperaturas podem alcançar 75°C, o que é essencial para a eliminação de agentes patogênicos, pois o exigido pelo CONAMA é 65°C. Após o término da fase termofílica, inicia-se o período de resfriamento (terceira etapa), no qual a temperatura das leiras diminui gradualmente até se aproximar da temperatura ambiente. Por fim, ocorre a fase de maturação ou estabilização, marcada pela redução da atividade microbiana e da acidez, resultando em um composto mais estável e pronto para uso (DIAZ, 2011).

Em leiras de compostagem externas, exemplo a compostagem método UFSC, as leiras podem atingir a fase termofílica em nova camada de adição orgânica em apenas 2 dias, com a estruturação e inoculação correta (SILVA, D. G. 2025). A temperatura externa pode interferir na temperatura da leira, por exemplo no inverno em temperaturas mínimas de 4 a 5°C, mas ainda mantendo a temperatura ideal e estado termofílico (SILVA, D.G. 2025).

Estudos mencionam o papel da ativação do processo (inoculação) fundamental na melhoria da eficiência térmica biológica e da transferência de massa, pela inoculação e presença microbiana que poderiam ser ativadas diretamente (WANG, 2022). A inoculação acelera o processo de compostagem, pois as bactérias estão presentes e não precisam de tempo para se reproduzirem em material não inoculado (HAUG, 1993; DIAZ, 2011).

2.2 Compostagem em ambiente controlado

Manter e reaproveitar energias microbianas através da compostagem é desafiador, pois as tecnologias de hoje ainda não estão totalmente compreendidas. A implicação em sistemas convencionais passados, como à condução direta entre o composto e tubo enterrado, ou apenas a condução do fluxo de vapor, podem ser limitados e podem ser complexos (WEPPEN, 2001).

Compostar em ambiente controlado em pequena escala onde temperatura esteja controlada para eficiência termofílica, com fluxo de oxigênio e umidade presente, requer equilíbrios. Pois em pequenos ambientes controlados, com áreas específicas se torna necessário adquirir parâmetros para manter o ambiente favoráveis para os microrganismos ativos. (WEPPEN, 2001).

Weppen, comparou uma composteira industrial chamada Hearhof-Rottebox 50m³, utilizada na Alemanha, com protótipo menor laboratorial de 30L. Analisaram que é possível obter balanços de massa de calor, visto que automatizar a compostagem requer taxas de temperatura, fluxo de oxigênio, atividade microbiana, taxa de conversão e umidade relativa. A implicação do sistema é um sistema complexo de gases e o tanque de água de 30L, dificultando o uso no cotidiano. Para saber mais, veja em P. Weppen/Biomass and Bioenergy 21 (2001) 289-299.

Smith e Aber com Tecnologias Agrilab, reaproveitam a energia da compostagem através de seu biorreator e seu sistema de troca de calor Univesity. É capaz de aquecer água tanto pela condução de calor (ar quente soprando contra o trocador) quanto o calor latente de condensação e vaporização das mudanças de fase que ocorrem dentro do trocador de calor, projetados para laticínio de leite. (Para saber mais veja Heat Recovery From Compost, Matt Smith and John Aber (2014).

Ao utilizar reatores para compostagem, é fundamental estudar o calor produzido a partir de compostos orgânicos e o equilíbrio entre a energia necessária para o estágio termofílico da matéria orgânica + O₂ → CO₂ + H₂O + NH₃ + húmus + energia e a energia perdida por todas as vias de dissipação (LIMA, 2021). Para sustentar seu metabolismo, o organismo microbiano gasta parte da energia produzida, enquanto o restante é liberado no sistema circundante como calor (LIMA, 2021).

Parâmetros ligados ao calor devem ser analisados, como a relação C/N do material orgânico, sua porosidade, peso e aeração, que são responsáveis

por criar espaços porosos que abrigam umidade e oxigênio, mantendo respiração e atividade microbiana no sistema (DIAZ, 2011). Uma boa relação C/N para compostagem pode ser situada entre 25:1 a 40:1 (HAUG, 1993; MILLER, 1996).

A fração disponível de água no solo está presente entre suas partículas (figura 1) ou em película fina sobre as partículas de solo, com oxigênio saturado (figura 2). Essa fração é responsável pela respiração dos microrganismos. À medida que respiram dentro dos filmes líquidos, eles consomem a matéria orgânica ao seu redor para obter energia, convertendo compostos orgânicos degradáveis em dióxido de carbono CO_2 , vapor de água, calor, húmus e sais (DIAZ, 2011).

O solo saturado de água em grande concentração, faz com que as partículas de solo fiquem expostas a muita água e pouco espaço poroso de ar entre as partículas (figura 1). O que dificulta a oxigenação do meio, pois os poros de ar reduzidos dificultam o fluxo de oxigênio, logo dificulta a saturação de oxigênio na película envolta ao solo ou material orgânico.

Quando a umidade do solo estiver com boas concentrações de água e oxigênio, a partícula de solo/composto fica envolta a película fina, logo em contato direto a poros de ar com oxigênio (figura 2).

Portanto a importância de haver índices satisfatórios de oxigênio nos poros de ar para que assim estejam saturados na água para atividade e respiração microbiana.

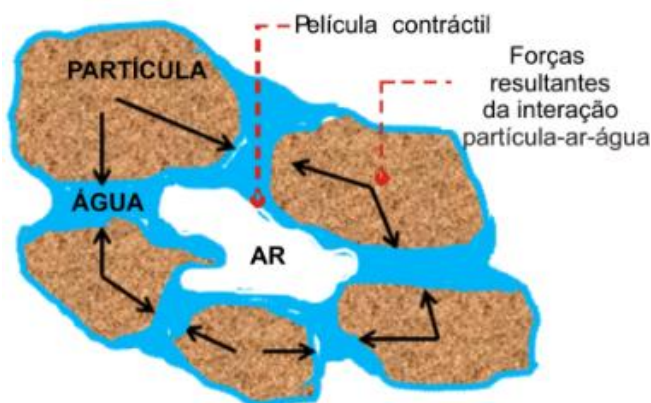


Figura 1 :Fração de argila – não encontrada.

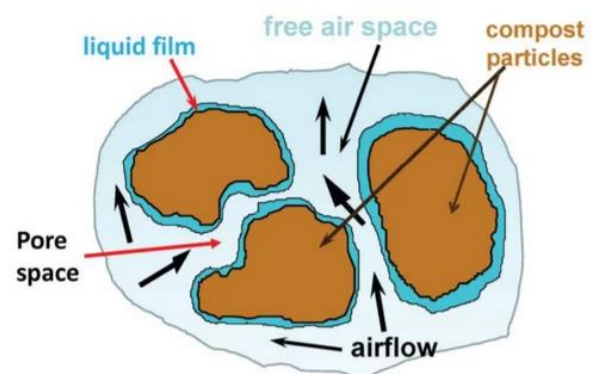


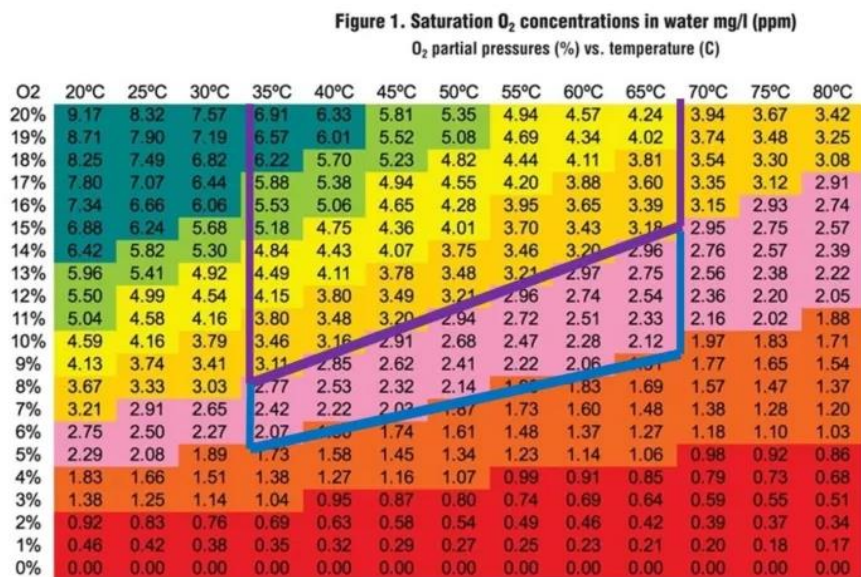
Figura 2:Partícula de composto – ECS, 2024.

No entanto, se os microrganismos ficam com falta de oxigênio, outra categoria de micróbios domina. Os microrganismos que prosperam em ambientes desprovidos de oxigênio conhecidos

como anaeróbios, e os subprodutos de sua respiração são uma série de compostos orgânicos voláteis, ácidos e calor. A respiração anaeróbica é um dos principais fatores para a geração de odores na compostagem.

Para que os microrganismos aeróbicos prosperem continuamente, os níveis de oxigênio dissolvidos nos filmes líquidos envolvidos nas partículas de compostagem devem ser satisfatórios, Sauer e Crouch relatam que devem permanecer acima de 3% (gráfico 1). A concentração de oxigênio dissolvido no filme líquido é influenciada pela quantidade de oxigênio presente nos espaços porosos (as regiões preenchidas por ar entre as partículas) e pela temperatura do sistema. (ECS, 2025).

O gráfico abaixo ilustra a faixa de temperatura onde a saturação de oxigênio na água é aceitável para as condições de compostagem, mostrando que é necessário no mínimo uma saturação maior que 2 mg/L de oxigênio na água e idealmente uma concentração a partir de 3 mg/L (ppm) (SAUER & CROUCH, 2013):



Ideal O₂ > 3 ppm

Minimum O₂ > 2 ppm

Note: Gas solubility in liquids is always a function of temperature

Gráfico 1: Nick Sauer and Eric Crouch – BioCycle 2013.

Portanto, a pesquisa de Sauer e Crouch demonstra índices de oxigênio de acordo com a temperatura, onde para uma compostagem otimizada e eficiente deve manter os níveis de 15 a 16% de oxigênio no espaço poroso aerado (no mínimo) de acordo com sua temperatura de 65 a 70°C (gráfico 1). Deve ser capaz de impulsionar a saturação desse oxigênio na camada líquida que reveste as

partículas do composto, onde atinja um valor ideal maior que 3 ppm ou mg/L (SAUER & CROUCH, 2013).

Índices de oxigênio são essenciais para funcionamento de compostagem em ambientes controlados, porém não está firmado na literatura a taxa correta. No entanto, a Engineered Compost Systems (ECS) relatam que a faixa ideal para alta atividade microbiana deve ser superior a 3.3 ppmn (gráfico 2), onde também seria capaz de impulsionar a saturação do oxigênio na camada líquida que reveste as partículas do composto. Mantendo alta atividade microbiana, realizando a compostagem e não exalando odor de materiais em proliferação..

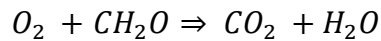
Pore Space O2	Temperature															
	20°C 68°F	25°C 77°F	30°C 86°F	35°C 95°F	40°C 104°F	45°C 113°F	50°C 122°F	55°C 131°F	60°C 140°F	65°C 149°F	70°C 158°F	75°C 167°F	80°C 176°F			
20%	9.17	8.32	7.57	6.91	6.33	5.81	5.35					3.67	3.42			
19%	8.71	7.90	7.19	6.57	6.01	5.52	5.08					3.48	3.25			
18%	8.25	7.49	6.82	6.22	5.70	5.23	4.82					3.30	3.08			
17%	7.80	7.07	6.44	5.88	5.38	4.94	4.55	4.20	3.88	3.60	3.35	3.12	2.91			
16%	7.34	6.66	6.06	5.53	5.06	4.65	4.28	3.95	3.65	3.39	3.15	2.93	2.74			
15%	6.88	6.24	5.68	5.18	4.75	4.36	4.01	3.70	3.43	3.18	2.95	2.75	2.57			
14%	6.42	5.82	5.30	4.84	4.43	4.07	3.75	3.46	3.20	2.96	2.76	2.57	2.39			
13%	5.96	5.41	4.92	4.49	4.11	3.78	3.48	3.21	2.97	2.75	2.56	2.38	2.22			
12%	5.50	4.99	4.54	4.15	3.80	3.49	3.21	2.96	2.74	2.54	2.36	2.20	2.05			
11%	5.04	4.58	4.16	3.80	3.48	3.20	2.94	2.72	2.51	2.32	2.16	2.02	1.88			
10%	4.59	4.16	3.79	3.46	3.16	2.91	2.68	2.47					1.71			
9%	4.13	3.74	3.41	3.11	2.85	2.62	2.41	2.22					1.54			
8%	3.67	3.33	3.03	2.77	2.53	2.32	2.14	1.98					1.37			
7%	3.21	2.91	2.65	2.42	2.22	2.03	1.87	1.73	1.60	1.48	1.38	1.28	1.20			
6%	2.75	2.50	2.27	2.07	1.90	1.74	1.61	1.48	1.37	1.27	1.18	1.10	1.03			
5%	2.29	2.08	1.89	1.73	1.58	1.45	1.34	1.23	1.14	1.06	0.98	0.92	0.86			
4%	1.83	1.66	1.51	1.38	1.27	1.16	1.07	0.99	0.91	0.85	0.79	0.73	0.68			
3%	1.38	1.25	1.14	1.04	0.95	0.87	0.80	0.74	0.69	0.64	0.59	0.55	0.51			
2%	0.92	0.83	0.76	0.69	0.63	0.58	0.54	0.49	0.46							
1%	0.46	0.42	0.38	0.35	0.32	0.29	0.27	0.25	0.23							
0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							

Gráfico 2: Oxigênio solubilizado em água, espaço poroso O2% vs temperatura (ECS).

À medida que a bio-oxidação ocorre, os microrganismos produzem calor e as temperaturas na compostagem sobem, porém em ambiente controlado a temperatura pode ser regulada e estabilizada. Altas temperaturas termofílicas são essenciais para destruir sementes de ervas daninhas e patógenos, porém líquidos em temperaturas muito elevadas podem não conter tanto oxigênio dissolvido (ppm), de acordo com a Lei de Henry (MICHEL & REDDY, 2013). Apenas pilhas de compostagem com temperaturas modestas e alta disponibilidade de oxigênio no

espaço poroso mantém concentrações suficientes de oxigênio no espaço dos poros e oxigênio dissolvido durante toda a fase ativa (MICHEL & REDDY, 2013).

Durante o processo de compostagem a umidade e oxigênio são influenciados pelo calor, perdidos principalmente em forma de dióxido de carbono e vapor d'água (DIAZ, 2011):



A equação representa a oxidação completa de um composto orgânico genérico, caracterizando a respiração microbiana aeróbica responsável pela liberação de energia térmica no processo (HAUG, 1993; EPSTEIN, 1997). A taxa de evaporação da água no processo de compostagem está diretamente relacionada à temperatura do ar e sua umidade relativa, uma vez que temperatura elevadas e baixa umidade relativa elevam a taxa de evaporação (DIAZ, 2011).

As moléculas presentes na evaporação podem ser relacionadas de acordo com relação entre temperatura do ar e umidade relativa, através do diagrama psicrométrico de ar úmido (CARRIER) (gráfico 3).

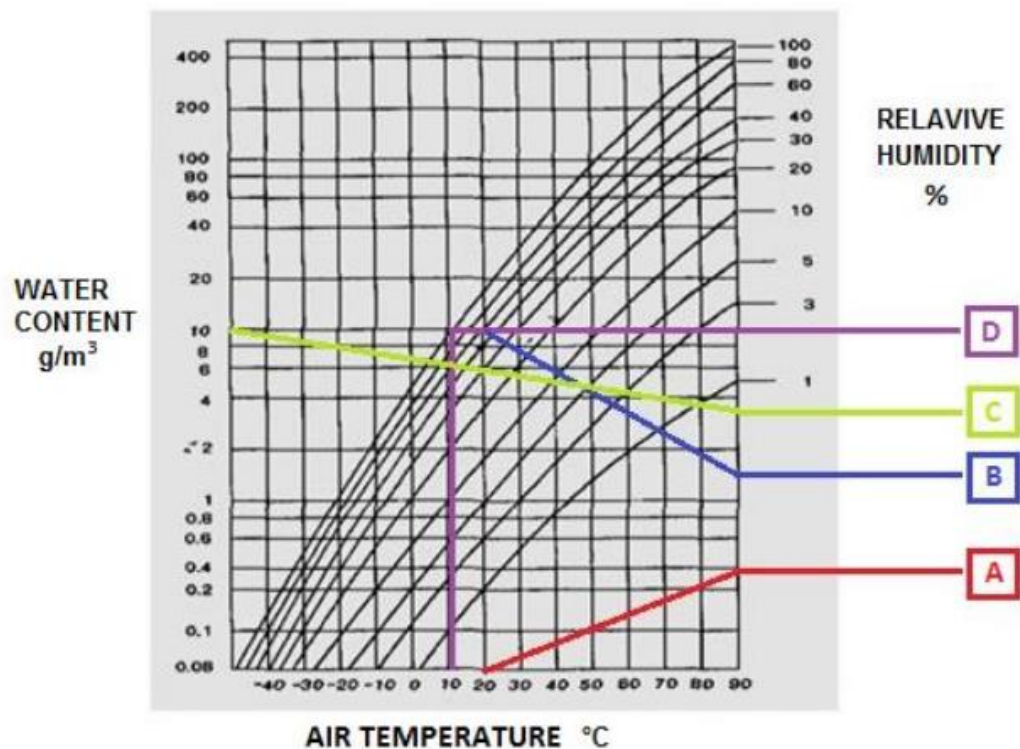


Gráfico 3: Diagrama Psicrométrico de ar úmido – CARRIER (Brownell).

É possível observar que em 70°C (temperatura termofílica) com 60% de U.R. obtém cerca 120 g/m³ de água no vapor d'água em 1m³, e com 100% de U.R. 200 g/m³ em 1m³.

A temperatura influencia diretamente sobre o vapor d'água e a oxigenação durante a compostagem, uma vez que o aquecimento do material eleva a taxa de evaporação da umidade e intensifica as reações aeróbias, aumentando o consumo de oxigênio e calor no interior do composto (DIAZ, 2011).

O vapor gerado nas fases termofílicas da compostagem pode alterar a dinâmica do oxigênio dissolvido na matriz úmida, interferindo na atividade microbiana e na eficiência da decomposição (HAUG, 1993; MILLER, 1996).

Durante o processo de compostagem, parte da água presente na massa orgânica evapora, sendo liberada na forma de vapor. Essas partículas de vapor d'água resultam do aquecimento microbiano do substrato e refletem a intensa atividade biológica e térmica no interior do material sendo compostado (HAUG, 1993; MILLER, 1996).

A determinação da vazão de vapor d'água em compostagem em ambiente controlado é essencial para o controle do balanço térmico e hídrico do sistema. O parâmetro possibilita avaliar as taxas de evaporação e a perda de umidade, fatores diretamente afetados pela temperatura interna da compostagem. A utilização de sensores de umidade e temperatura no ar de exaustão permite estimar a vazão de vapor liberado, fornecendo informações fundamentais para o ajuste da aeração e o aprimoramento da eficiência do processo de compostagem (LIANG, 2003).

Detectando a vazão de vapor d'água da composteira em ambiente controlado seria capaz de estipular a quantidade água e oxigênio saturado. Ressaltando que a temperatura está relacionada a esses fatores.

2.3 Resíduos Orgânicos e Sanitários atualmente

Atualmente grande parte dos resíduos sólidos são destinados para aterro sanitário, não sendo uma alternativa sustentável. O aterro representa apenas uma camuflagem de destinação e depósito de resíduos, o que impulsiona riscos ambientais a longo prazo (Miller, 2007). Existem outras opções de redução, reutilização, reciclagem ou tratamento biológico mais eficientes e menos nocivos ao meio ambiente.

Aterros sanitários são destinos de resíduos sólidos longe de seu lugar de origem, onde foram gerados. Mesmo os aterros sanitários bem projetados geram efeitos prejudiciais ao meio ambiente, como a contaminação de solos e águas subterrâneas por lixiviados e a emissão de metano, elevando potencial de aquecimento global (Miller, 2007).

Não só resíduos sólidos mas também resíduos sanitários não são adequadamente tratados, logo a carga poluidora aumenta significativamente, resultando em maior risco de eutrofização de efluentes, degradação do solo e disseminação de agentes patogênicos (VON SPERLING, 2014).

A compostagem comunitária em método termofílico pode reduzir significativamente o volume de resíduos encaminhados aos aterros sanitários, contribuindo para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa e para o fortalecimento de práticas de gestão sustentável de resíduos. Tratar os resíduos mais próximo do seu local de origem contribui para evitar aterros e estações de tratamentos (Miller, 2007).

Os resíduos gerados pelos humanos em seus domicílios são designados para grandes áreas de tratamentos, requerendo logísticas e destinação de recursos, ao invés de serem tratadas no seu local de origem. Tecnologias como métodos de compostagem caseiros, termofílica (já mencionada) ou vermicompostagem a base de minhocas californianas *Eisenia andrei* que realizam a compostagem através de atividade das minhocas e da microbiota associada (EDWARDS, 2011), ou outros métodos podem ser eficazes para realizar o tratamento de resíduos em domicílio.

Ainda não há tecnologias que são capazes de resultar em tratamento de resíduos sólidos e sanitários em domicílio. Porém vale ressaltar que há tecnologias como equipamentos comercializados como composteiras elétricas, onde realizam apenas a desidratação térmica dos resíduos orgânicos, sem promover as reações biológicas necessárias para a formação de composto, não contribuindo para tratamento correto e sustentável do resíduo (DIAZ, 2011).

As composteiras elétricas atuais são sistemas secos e quentes, onde apenas desidratam o material orgânico. Reduzem em até 90% do tamanho da massa e o processo pode durar de 4 a 12 horas (TERRAFORMKITCHEN, 2025). Geralmente operam em temperaturas entre 60 °C e 120 °C, com o objetivo de acelerar a evaporação da água e reduzir o volume do material, sem promover

atividade microbiana ou qualquer etapa real de compostagem (METCALF & EDDY, 2016).

Desenvolver método de compostagem em ambiente controlado quente e úmido que favorece a atividade microbiana e seja capaz de tratar resíduos sólidos e sanitários requer parâmetros para funcionamento com eficaz.

2 OBJETIVOS

Objetivo geral, desenvolver um eletrodoméstico sanitário que seja capaz de compostar resíduos orgânicos e sanitários, de forma rápida, quente e inteligente, através do aprimoramento de uma estufa a vapor.

Objetivos secundários:

Testar a decomposição de resíduos orgânicos em estufa de manter salgados a vapor comercial.

Acompanhar a temperatura e umidade relativa ao decorrer dos testes.

3 METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado no semestre 2025.2, porém teve início de ideia na disciplina de Ecologia do Solo na Agronomia UFSC-CCA em 2022.2 (e anos anteriores), onde o modelo de Microcomposteira foi realizado em uma caixa de frutas de feira com camadas imitando a compostagem de leiras estáticas métodos UFSC, tendo pouco isolamento e sofrendo com a perda de calor com temperaturas externas (referência de colega Bender 2009 em TCC Agronomia UFSC CCA).

Neste estudo com melhores condições tecnológicas, buscou-se otimizar a compostagem em pequena escala em ambiente controlado através de uma estufa de manter salgados (a vapor), aprimorando para compostagem de resíduos orgânicos, denominado Microcomposteira UFSC (figura 3). A estufa apresenta aquecimento térmico elétrico até 90°C e capacidade de 1,5L para armazenamento de água, sendo de 220V. Foi instalada no Laboratório de Biotecnologia Neolítica, onde ocorreu testes e coletas de informações.



Figura 3: Estufa de manter assados – Quente e úmida.

A estufa apresenta o volume do recipiente onde é designado para armazenamento de salgados de 104 Litros aproximadamente, possui três prateleiras para porem três bandejas, porém inicialmente modificamos para ser três recipientes que permita o fluxo de oxigênio entre o material orgânico, como cesto perfurado.

Volume= largura x altura x profundidade

$V = 45\text{cm} \times 55\text{ cm} \times 42\text{ cm}$

$V = 103.95\text{ cm}^3$ ou 103,95 Litros

O volume é essencial para estimar a capacidade do sistema e o espaço disponível para a decomposição da matéria orgânica (DIAZ, 2011).

A preparação dos três recipientes cestos na estufa teve como desafio o formato retangular da estufa e as prateleiras internas. Os cestos foram apropriados de bacias de plástico que coubessem nas prateleiras e suportassem calor. Buscou perfurar todo fundo das bacias (aleatoriamente) para que o fluxo de oxigênio seja constante e circule dentro pelo material de compostagem.

Posteriormente com estufa e cestos apropriados, formulou-se material para teste de compostagem, poroso, aerado, leve, que retenha umidade e seja comum no dia-a-dia. O material teste foi formulado através cama de rato com maravalha 500g + resto de comida do restaurante universitário 500g+ inóculo (composto ativo) 500g,

homogeneizado (figura 4). O resto de comida do RU constava em arroz, feijão, alface, cenoura, carne de frango com osso, macarrão, cascas de laranja e papel guardanapo.

A área do cesto é de $A=8$ litros, sendo:

$$A = \pi \times \text{raio}^2 \times \text{altura}$$

$$A = 3,14 \times 16^2 \times 10$$

$$A = 8.038,4 \text{ ou } 8 \text{ Litros cm}^2$$

Inicialmente ocupou-se toda área do cesto para material orgânico.



Figura 4: Cesto de material orgânico sendo compostado pela Microcomposteira UFSC.

A proposta de teste inicial é que a cama de rato com maravalha seja porosa, aerada e mantenha a umidade, além de beneficiar a relação C/N pela madeira, fezes e urina dos ratos, juntamente com comida do dia-a-dia universitário de fácil decomposição, junto ao inóculo (composto ativo) .

A compostagem termofílica ativa em leiras a céu aberto após adição de nova camada, com comida, cepilho, inóculo e coberta com palha, no método UFSC, pode atingir até 70°C (SILVA, D.G. 2025). Portanto, o primeiro teste de aquecimento da Microcomposteira UFSC foi a 70°C, buscando alta atividade microbiana e alcance do estágio termofílico rapidamente. Após ajuste da temperatura, completou-se o recipiente total de água e umedeceu-se o material de compostagem homogeneamente, os três cestos testes com material orgânico formulados seguiram para teste.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro teste constata que em 1 hora o material orgânico no cesto atinge 70°C, e em menos de 24 horas consome mais que a capacidade máxima de água do reservatório, pois é apenas de 1,5L (figura 5). Fazendo com que seja obrigatório umedecer diariamente o material orgânico diretamente pela parte de cima da Microcomposteira.



Figura 5: Microcomposteira UFSC em funcionamento.

Entre 5 a 7 dias a comida do RU começa a apresentar proliferação e domínio do inóculo, e a maravalha sinais de umidade, se mostrando propício para decomposição do material teste. Porém partes de massa ficaram sem água aos

finals de semana, o que resultou em ressecamento quase que total do material, reduzindo a atividade microbiana e estagnando o processo de compostagem.

O alto consumo de água resulta devido ao não aproveitamento total da área interna da estufa, pelo material de compostagem. Fator que impulsiona no consumo de água no sistema, então perdido e evaporado na atmosfera rapidamente através de frestas e principalmente formando colunas de ar (figura 5). O fator que não possibilita o uso total da área interna da Microcomposteira é devido à arames giratórios fixos que giram as bandejas que vem de fábrica.

A maior aproveitamento da área da estufa poderia ser sua projeção em formato cilíndrico com cestos de área específica justa ao da estufa. Os cestos utilizados provisoriamente nos testes têm a capacidade de apenas 8 litros cada cesto, sendo 24 litros ao total nos três cestos de 104 litros totais possíveis da estufa.

O alto fluxo de oxigênio e consumo de água é um fator que contribui para o avanço do projeto, uma vez que pode ser utilizado como eletrodoméstico sanitário com pequena entrada de água, como bacio superliso, onde captaria urina, fezes, papel higiênico e restos de podas, fazendo sua compostagem rapidamente (figura 5).

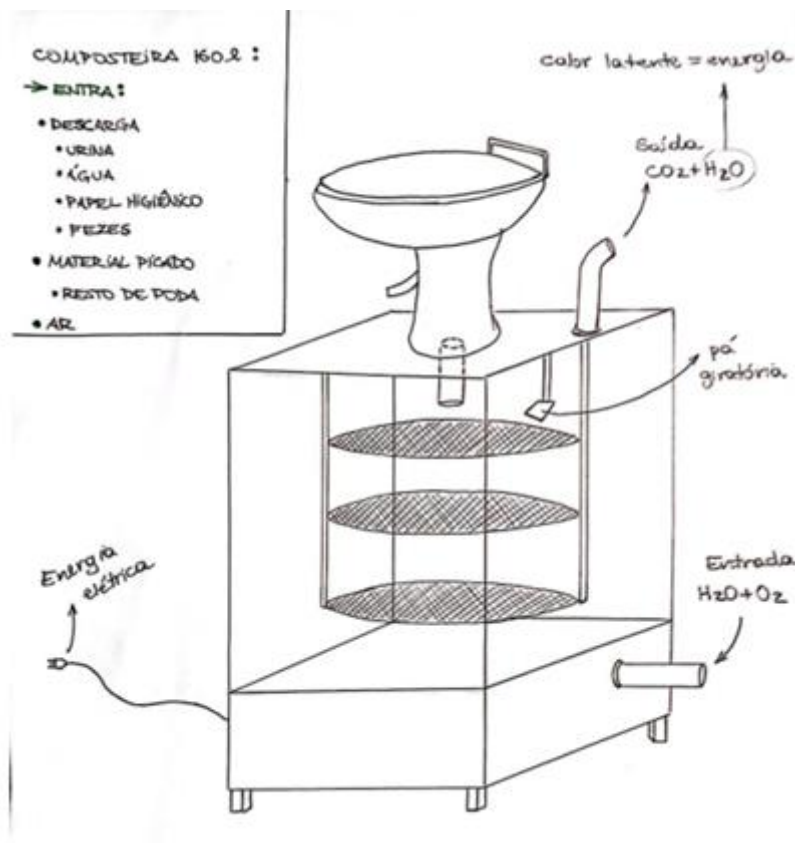


Figura 5: Assador de frango de compostagem com sistema sanitário, Pedro Kolb, 2024.

A entrada de fonte orgânicas juntamente com água, urina e papel higiênico ou outra fonte de carbono poderiam realizar a compostagem dos resíduos na Microcomposteira. Material rico em C como restos de podas vegetais juntamente a fonte de N, como os próprios restos de podas ou urina, restos de comida, outros, poderiam criar um ambiente com boa relação C/N, mantendo bons poros aerados, além de boa umidade.

O sistema elétrico da Microcomposteira manteria a temperatura estabilizada em 65 a 70°C, assim a falta de umidade já constada nos testes seria suprida pela entrada de descarga d'água, urina e fezes. Os restos de poda aquecidos no sistema, com a entrada de umidade e fonte de N, são homogeneizados através de pá giratória, equilibrando o material orgânico e evitando odores.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006), a compostagem de excretas humanas é capaz de reduzir substancialmente a carga de patógenos quando o processo mantém temperaturas termofílicas por tempo adequado, garantindo um material final sanitariamente seguro.

Como já mencionado não há tecnologias que realizam a compostagem de resíduos orgânicos e sanitários em ambiente controlado em pequeno espaço. Porém já está relatado que a compostagem de resíduos sanitários constitui uma alternativa viável de saneamento descentralizado, pois assegura higienização, redução de odores e estabilização da matéria orgânica por meio da ação microbiana aeróbia (JENKINS, 2005).

Miller e Inácio (2022), através de sistema de compostagem orgânica em leira ao céu aberto método UFSC (termofílica), juntamente a resíduos de tratamento de esgoto, como lodo de esgoto, relataram que é possível compostar com a combinação de resíduos domésticos e sanitários. Os autores chegaram a um composto com redução de 99% para população de E. coli e outros patógenos fecais, além de ser rico em nutrientes 38g N 53g P e 34 g K₂O por kg.

De acordo com Jenkins (2005), sistemas que combinam resíduos orgânicos domésticos e sanitários exigem condições controladas de umidade, aeração e temperatura para assegurar a estabilização biológica e evitar riscos à saúde pública.

O sistema deve passar por aprimoramentos para ter funcionalidade comprovada, como maior aproveitamento de área de material sendo compostado,

capacidade de reservatório de água no sistema, suporte de vaso sanitário superliso, pá giratória e outros.

O vaso sanitário superliso é fabricado com sua superfície altamente polida, desenvolvida para minimizar a aderência de qualquer substância, facilitando escoamento. A superfície é livre e poros táteis, o que reduz a criação de biofilmes e incrustações, além de favorecer a higiene. O vaso superliso necessita de pouca descarga de água para escoar o material.

A utilização do vaso sanitário superliso ao projeto da microcomposteira UFSC se dá pela entrada de água essencial para o funcionamento e manutenção da umidade e atividade microbiana.

A capacidade de compostar resíduos orgânicos e sanitários em ambiente controlado, da opção para tratar resíduos de forma residencial e responsável. O ambiente controlado quente e úmido favorece alta atividade microbiana, logo a decomposição e estabilização do material. Autores relatam que ao aumento de a cada 10°C a atividade microbiana dobra (Haug, 1993), o que pode possibilitar em parâmetros de alta temperaturas e umidades, fazendo a compostagem de forma bem rápida.

5 CONCLUSÕES

Chegar em equilíbrio entre a temperatura, umidade relativa, fluxo de oxigênio, e alta atividade microbiana, realizando a compostagem em ambiente controlado requer parâmetros.

O desafio da Microcomposteira UFSC, inicialmente se mostra manter a umidade no sistema, pois é perdida pela atmosfera devido a projeções da estufa de fábrica que não permitem aproveitamento total de sua área, formando colunas de ar nas laterais. As colunas de ar desfavorecem a retenção de água no material orgânico, pois tem grande efeito chaminé de evaporação, logo as partículas de solo ficam sem água envolta sua superfície, em alta temperatura, deixando os microrganismos responsáveis pela compostagem sem oxigênio.

Projetar a Microcomposteira UFSC de forma em que se aproveite sua total área com o material orgânico, seria um fator que poderia ajudar a reter a umidade, pois as colunas de ar presentes seriam menores, o que resultaria em mais resíduo

orgânico sendo compostado e menos fluxo de evaporação. Menciona-se que o fluxo é importante, porém em escala adequada e com oxigênio.

Vale ressaltar que o fechamento de algumas frestas da estufa pode resultar em aumento de pressão e consequência ruins, como umedecer o sistema elétrico ou de resistências aquecedoras de fábrica para manutenção de assados, e perda de fluxo de oxigênio.

A projeção de maior capacidade de volume de água no reservatório seria outro fator importante que contribuiria para manter a umidade, pois duraria mais tempo umedecendo o sistema.

A inclusão do vaso sanitário resultaria em um Eletrodoméstico Sanitário com sistema de Microcomposteira UFSC, onde também ajudaria a solucionar a falta de umidade no sistema.

Diante de diversos fatores que impossibilitam a destinação de resíduos orgânicos e sanitários corretamente, o Eletrodoméstico Sanitário (Microcomposteira UFSC), poderia realizar a compostagem em pequenos espaços de forma quente e úmida.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)**. Resolução nº 481, de 3 de outubro de 2017. Dispõe sobre critérios e procedimentos para garantir a segurança sanitária e ambiental no uso de produtos e subprodutos oriundos do tratamento de resíduos sólidos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 193, p. 51–52, 6 out. 2017.

ECS, Engineered Compost Systems. **Composting with low odors and VOC Emissions: NA ECS Approach**. Blog ECS Staff, 2024.

EDWARDS, C. A.; ARANCON, N. Q.; SHERMAN, R. **Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management**. Boca Raton: CRC Press, 2011.),

EPSTEIN, Eliot. **The science of composting**. Lancaster: Technomic Publishing Company, 1997.

DIAZ, L. F.; DE BERTOLDI, M.; SAUNDERS, L. **Composting and Recycling: Municipal Solid Waste**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.

HAUG, R. T. The practical handbook of compost engineering. **Boca Raton: Lewis Publishers**, 1993. 717 p.

INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. **Compostagem – ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2009.

JENKINS, Joseph. **The Humanure Handbook: A Guide to Composting Human Manure**. 3. ed. Grove City: Joseph Jenkins, 2005.

LIANG, C.; DAS, K. C.; McCLENDON, R. W. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. **Bioresource Technology**, v. 86, p. 131–137, 2003. DOI: 10.1016/S0960-8524(02)00153-0.

LIMA JUNIOR, Roberto Guião de Souza; MAHLER, Claudio Fernando; DIAS, Albiane Carvalho; LUZ JUNIO, Willker Figueirêdo da. Avaliação de novas práticas de compostagem em pequena escala com aproveitamento energético. **Evaluation of new composting practices in small-scale with energy recovery**. [S. l.: s. n.], [2021].

MEILANDER, Jaclyn; CAPORASO, John G. *Microbiome science of human excrement composting*. **Nature Microbiology**, v. 9, p. 946-958, 2024.

Michel, F. C., & Reddy, C. A., “Efeito do nível de oxigenação na taxa de compostagem de guarnições de pátio, produção de odores e qualidade de composto em reatores em escala de bancada”, 2013, <https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/1065657X.1998.10701936?>

SAUER, Nick; CROUCH, Eric. **Measuring oxygen in compost**. *BioCycle*, v. 54, n. 12, p. 23–26, dez. 2013.

SILVA, Denis Gabriel. Temperaturas de leiras no sistema aberto de compostagem pelo método UFSC no plano de monitoramento ambiental. **Trabalho de conclusão de curso, Agronomia CCA UFSC**. Florianópolis, 2025.

SMITH, M.; ABER, J. **Heat recovery from compost**. *BioCycle*, v. 55, n. 2, p. 26–29, 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.)

WEPPEN, P. **Process calorimetry on composting of municipal organic wastes**. *Biomass and Bioenergy*, v. 21, n. 4, p. 289–299, 2001.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater – Volume 4: Excreta and greywater use in agriculture*. Geneva: WHO, 2006.