

ÁREA TEMÁTICA: Reciclagem

ANÁLISE DO IMPACTO DO INSUFLAMENTO DE AR QUENTE NA MUDANÇA DA TEMPERATURA E DA UMIDADE DE UM SUBSTRATO

Carlos Atalla Hidalgo Hijazin (carloshijazin@hotmail.com), Marcelo de Oliveira Monaretto (marcelomonaretto2@ufrgs.br), Rejane Maria Candiota Tubino (rejane.tubino@ufrgs.br)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a construção de um experimento de bancada, utilizando sistemas de automação e aeração forçada com insuflamento de ar quente, gerado por um aquecedor, de forma a se avaliar a temperatura e a umidade de um substrato da marca Carolina Soil. Para medir a temperatura e umidade ambientes foi utilizado o sensor DHT22, a umidade do substrato foi medida com o sensor YL-69, colocado em uma caixa de 29x29x40cm contendo substrato à temperatura ambiente. Pretende-se com este estudo um maior entendimento da ação destes sistemas, no controle destes parâmetros, para uma futura implementação em um processo de compostagem com aeração forçada. A insuflamento de ar quente simula o calor liberado pela mineralização da matéria orgânica realizada pelos microrganismos. O ar foi injetado no substrato através de um tubo de 20 mm de diâmetro paralelo ao chão, colocado na base da caixa. Este tubo tem três furos de 8mm de diâmetro para as saídas de ar no substrato. Para controlar a velocidade e o acionamento do ventilador foi utilizado um inversor de frequência, mantido em 25 Hz. Os dados dos parâmetros avaliados foram armazenados no computador fazendo o uso da placa Arduino Mega 2560 e do *software* CoolTerm.

Palavras-chave: automação; aeração forçada; substrato.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF HOT AIR INSUFFLATION ON CHANGING OF TEMPERATURE AND HUMIDITY OF A SUBSTRATE

ABSTRACT

This project presents the assembly of a laboratory-scale experiment using automation systems and forced aeration with pre-heated insufflated air in order to evaluate the temperature and humidity in a substrate from Carolina Soil. The measurement of such parameters was made with the DHT22 temperature and humidity sensor and the YL-69 soil moisture sensor both of which were inserted in a box of 29x29x40 cm dimensions containing ambient temperature substrate. This way it is possible to have a better understanding of how the system works, about how to control the parameters for future implementation in full-scale forced aeration composting systems. The pre-heated air simulates the heat released from organic matter mineralization made by the microorganisms. The air was injected into the substrate through a 20 mm tube parallel to the ground, set near the base of the box. This tube had three 8 mm holes drilled in it from where the air flows into the substrate. The velocity in which the air was blown was maintained by the frequency inverter (VFD) connected to the motor. It was kept at 25 Hz during all the experiments. The data was gathered and stored thanks to the Arduino Mega 2560 board and the software CoolTerm.

Keywords: automation; forced aeration; substrate.

1. INTRODUÇÃO

Sistemas de compostagem por aeração forçada são uma das principais formas para reciclagem de matéria orgânica. Neste tipo de aeração, considerado artificial, a injeção de ar para a produção do composto humificado pode ser realizada em usinas de compostagem (bioestabilizadores) ou em leiras aeradas artificialmente, tendo como objetivo acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica (MOTA,2012). O monitoramento dos parâmetros de temperatura, aeração e umidade são importantes para o controle de qualidade do húmus. O grau de umidade indicado para o processo de compostagem é de 40 a 60%, teores abaixo retardam o processo por inibir a atividade biológica e acima tornam o meio anaeróbio (KIEHL, 2004; LIMA 2004). Em relação à temperatura do processo de compostagem Sarkar; Pal; Chanda. (2016) afirmam que a fase termófila da compostagem, dura de 14 a 56 dias, em que a temperatura sobe, podendo chegar a 70°C, em seguida, a temperatura cai para cerca de 30°C, tendo início uma fase mesófila, que dura de 60 a 120 dias, até que haja a estabilização e a temperatura caia até a temperatura ambiente.

Peixoto (2012) demonstra, através da Equação 1, que em sistemas de compostagem por aeração forçada, as bactérias realizam reações exotérmicas acelerando o processo de decomposição da matéria orgânica, liberando calor, CO₂, água, nutrientes e composto estabilizado, ou seja, ocorre a aceleração da oxidação biológica da matéria orgânica.



Devido à importância destes parâmetros, é necessário um estudo adequado para a implantação de um sistema de aeração e automação de forma a controlá-los com vistas a otimizar a qualidade do composto final. O sistema de automação permite que a injeção de ar fornecida pelo motor ligado ao inversor de frequência, seja acionado somente quando estes parâmetros estão fora das condições ótimas, desta forma este sistema otimiza o custo energético do processo de compostagem com aeração forçada. Neste experimento o ar em temperatura mais elevada foi injetado no composto para aumentar sua temperatura e diminuir sua umidade, mantendo-as nos limites desejados.

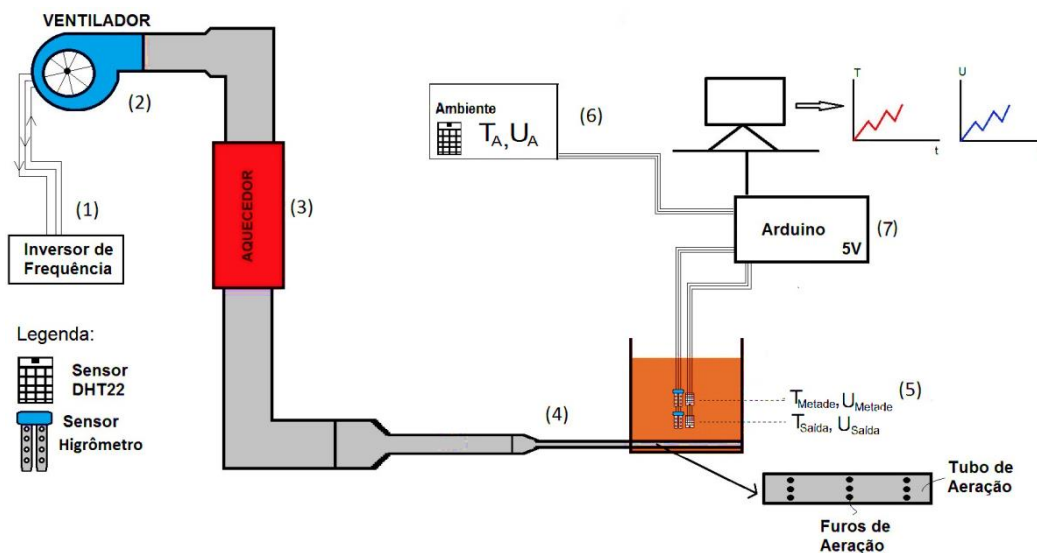
2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é a construção de um protótipo que utilize sistemas de automação e aeração forçada com injeção de ar quente de forma a se avaliar a temperatura e a umidade de um determinado substrato. Este estudo permitirá posteriormente a implantação da automação em leiras estáticas aeradas ou em usinas de compostagem.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa baseia-se em uma série de consultas a trabalhos acadêmicos, artigos, manual de compostagem, monografia, dissertação, livro, informações em sites de empresas e outros documentos, necessários para a construção do experimento de bancada. A Figura 1 apresenta o protótipo criado neste trabalho, com a descrição das suas etapas e em seguida são fornecidas informações mais detalhadas dos materiais utilizados neste experimento.

Figura 1. Desenho esquemático do protótipo do experimento



Fonte: Autor, 2020.

Em (1) a frequência do motor é escolhida para o controle do motor, que insufla o ar através de tubulações em (2). Este ar é então aquecido em (3) por um aquecedor a base de resistências capaz de gerar temperaturas de até 50°C. Após isso, há reduções da tubulação de 50mm para 20mm em (4). Em (5), o ar entra na caixa que contém o substrato onde é medido por outros sensores de temperatura, DHT22, e de umidade, YL-69. Esta parte representa o Teste 3, mas foi posta para motivos ilustrativos referentes aos outros testes. O sensor DHT22 também mede a temperatura e umidade ambiente em (6) e todos os dados são coletados pela placa Arduino em (7).

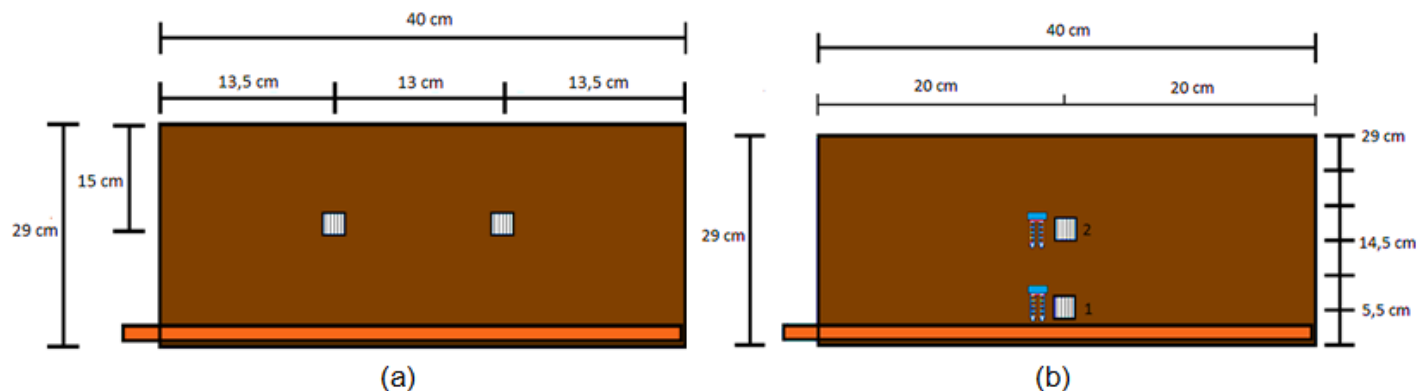
Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Aplicações em Energia e Fenômenos de Transporte (LAEFT) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). No laboratório constavam: um inversor de frequência Siemens Micro Master 420, um ventilador OTAM de modelo FMS 400 AR._4CL._2, um aquecedor resistivo e tubulações de 50 mm de diâmetro de vários comprimentos e formas. Foram acrescentados a esses itens uma caixa de plástico de dimensões 29x29x40 cm, um tubo de 20 mm de diâmetro de 1 m de comprimento, um redutor de 50 mm de diâmetro para 20 mm, 3 sensores de temperatura e umidade DHT22 e 3 sensores de umidade YL-69, um substrato para plantas da empresa Carolina Soil e um Arduino Mega 2560. Os dados foram coletados usando o software CoolTerm. Com estes materiais a disposição, a montagem da bancada seguiu os seguintes passos: a caixa foi preenchida pelo substrato até 4 cm da altura total, possuindo um tubo de 20 mm de diâmetro inserido longitudinalmente na metade de sua largura e a 2 cm de sua base.

O protótipo serve bem para um estudo preliminar da utilização de automação em um processo de compostagem por aeração forçada. O insuflamento de ar quente simula o calor liberado pela decomposição da matéria orgânica realizada pelos microrganismos. Não foi usada matéria orgânica, pois esta gera odor durante os trabalhos em laboratório devido à decomposição. Desta forma foi preferível simular o composto com um substrato. No entanto, esta pesquisa possui relevância para futuros projetos em plantas pilotos ou em usinas de compostagem.

Foram realizados três experimentos no protótipo, o Teste 1, o Teste 2 e o Teste 3. O primeiro consta de uma medida da temperatura na saída dos três furos de ar (Figura 1), no tubo de 20 mm quando o substrato não estava presente. Os experimentos seguintes foram realizados com o substrato na caixa. O segundo teste foi realizado com três sensores DHT22, sendo que dois deles foram colocados dentro da caixa e o outro no

ambiente. O par de sensores foi posto na metade da largura da caixa na profundidade de 15 cm, mas em posições diferentes, como mostra a Figura 2.a. O teste foi iniciado assim que o sensor na direita foi inserido, com o aquecedor e o motor já ligados com 15 minutos de antecedência. Para o Teste 3, as medições de temperatura e umidade foram efetuadas com um sensor DHT22 medindo as condições ambientes, dois sensores DHT22 e dois YL-69 colocados dentro do substrato como mostra a Figura 2.b. A Figura 3 representa uma foto do sistema operando para o Teste 3.

Figura 2. Disposição dos sensores de temperatura e umidade para o Teste 2 e o Teste 3



Fonte: Autor, 2020

Figura 3. Foto do funcionamento durante o Teste 3



Fonte: Autor, 2020

3.1. Sensores

O sensor DHT22, também conhecido como AM2302, é um sensor que contém um microcontrolador embutido no seu design que faz a transformação do sinal analógico em digital, podendo ser usado em aplicações simples ou robustas (AOSONG). Este sensor é útil por sua simples construção, trabalhar em um sistema de operação estável e fácil implementação. A Tabela 1 mostra os dados técnicos deste sensor.

Tabela 1. Características do sensor DHT22

Tensão de alimentação	3,3V – 5,5V (5V recomendado)
Faixa de medição	Umidade relativa: 0%-99,9% Temperatura: - 40°C - 125°C
Precisão	Umidade relativa: $\pm 2\%$ Temperatura: $\pm 0,2\%$
Resolução	Umidade relativa: 0,1% Temperatura: 0,1 °C
Período de medição	2s

Fonte: AOSONG (2019).

O sensor YL-69, Higrômetro de Umidade de Solo, possui uma saída analógica e uma saída digital com um potenciômetro para o ajuste da sensibilidade. Seu funcionamento acontece através da resistência elétrica entre duas hastas conectadas no sensor, no qual a resistência máxima indica umidade de 0% e a mínima indica 100% de umidade. É por este motivo que o sensor não serve para medições da umidade do ar, pois a resistência elétrica do ar é muito grande. Quanto maior a umidade do solo, menor é a tensão de saída do sensor. A Tabela 2 mostra os dados técnicos deste sensor.

Tabela 2. Características do sensor YL-69

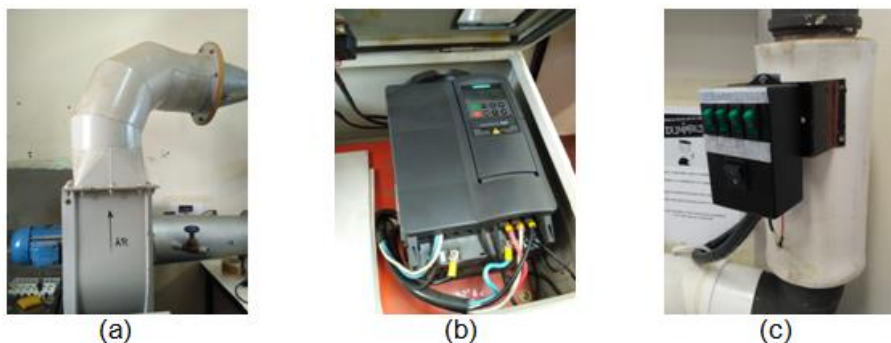
Tensão de alimentação	3,3V – 5V (5V recomendado)
Faixa de medição	Umidade relativa do solo: 0%-99,9%
Sensibilidade	Ajustável com potenciômetro

Fonte: FILIPEFLOP (2019)

3.2. Ventilador, Aquecedor e Inversor de Frequência

A Figura 4.a mostra o encapsulamento do ventilador OTAM, a Figura 4.b mostra o inversor de frequência e a Figura 4.c mostra o aquecedor.

Figura 4. Ventilador, Aquecedor e Inversor de Frequência



Fonte: Autor, 2020

Segundo Franchi (2008), o inversor de frequência é um equipamento eletrônico capaz de gerar e ajustar frequências e tensões de saída, podendo controlar a velocidade e o acionamento de motores trifásicos de grande porte. Cherem (2016) afirma que o inversor proporciona uma partida suave aos motores e seu funcionamento se dá através de PWM (*Pulse Width Modulation*), otimizando o uso de energia elétrica, mas mantendo os aspectos operacionais do sistema. De Assis (2018) complementa ainda indicando que o inversor

também atua como mecanismo de proteção contra falhas elétricas tais como desbalanceamento de fases, queda de tensão, sobre-tensão e sobrecarga.

3.3. Placa de Arduino

De acordo com Baker (2014) o uso de um Arduino para a realização de medições se justifica por ser um componente que fornece os dados necessários mesmo com seu baixo custo, baixo uso de energia e fácil manuseio para vasta aplicabilidade. A Tabela 3 apresenta os dados técnicos da placa de Arduino.

Tabela 3. Características da placa Arduino Mega 2560

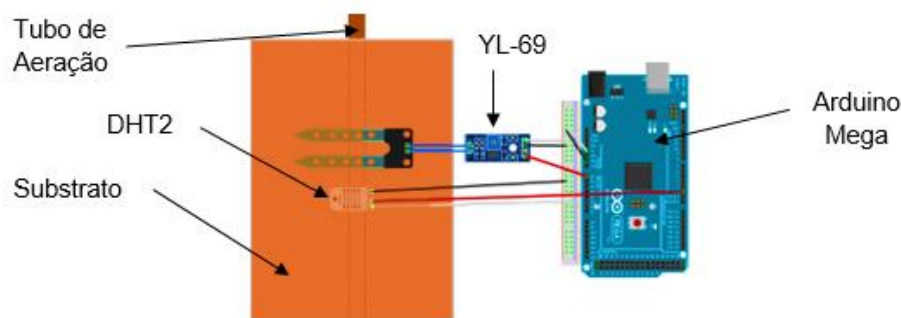
Microcontrolador	ATmega2560
Tensão de operação	5V
Corrente máxima nos pinos	Digitais: 20mA Analógicos: 50mA
Frequência do clock	16MHz
Número de portas	Digitais: 54 Analógicas: 16

Fonte: ATMEL (2019)

Segundo a empresa Arduino (2019), O Arduino Mega2560 é uma placa amplamente utilizada para projetos tanto para instalações domiciliares quanto para projetos industriais devido à sua facilidade de uso e baixo custo, sendo uma plataforma eletrônica *open-source* baseada em *software* e *hardware* de fácil uso.

A Figura 5 mostra um desenho esquemático, realizado com o *software* Fritzing, das ligações entre os sensores DHT22, os sensores de umidade de solo, a placa Arduino e o protótipo construído no laboratório do LAEFT. Os sensores são ligados na placa através de uma *protoboard* e inseridos no substrato.

Figura 5. Esquemático das ligações dos sensores com o Arduino e no substrato

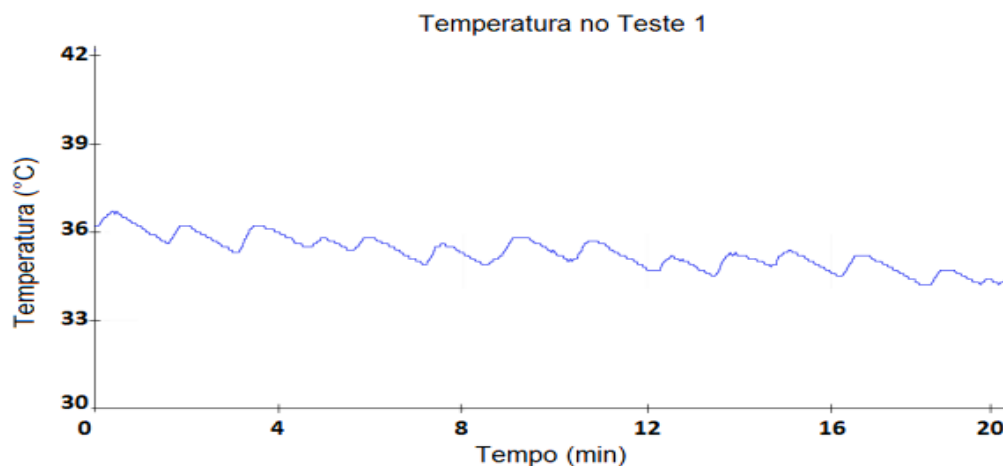


Fonte: Autor, 2020

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os experimentos, os dados coletados através do software CoolTerm foram organizados nos gráficos a seguir. A Figura 6 representa as medições de temperatura do sensor DHT22 durante o Teste 1, sem substrato. A temperatura na saída do tubo tem seu centro em aproximadamente 35,7 °C, com variações de $\pm 1,5$ °C. A temperatura ambiente no momento do teste ficou entre 21,5 °C e 22 °C.

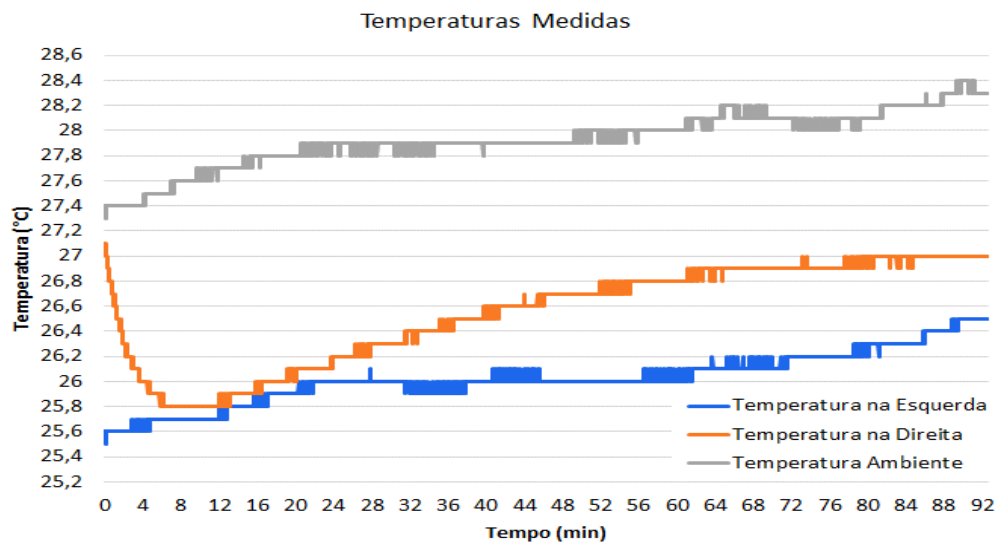
Figura 6. Curva de temperatura ao longo do tempo dentro da caixa no Teste 1



Fonte: Autor, 2020

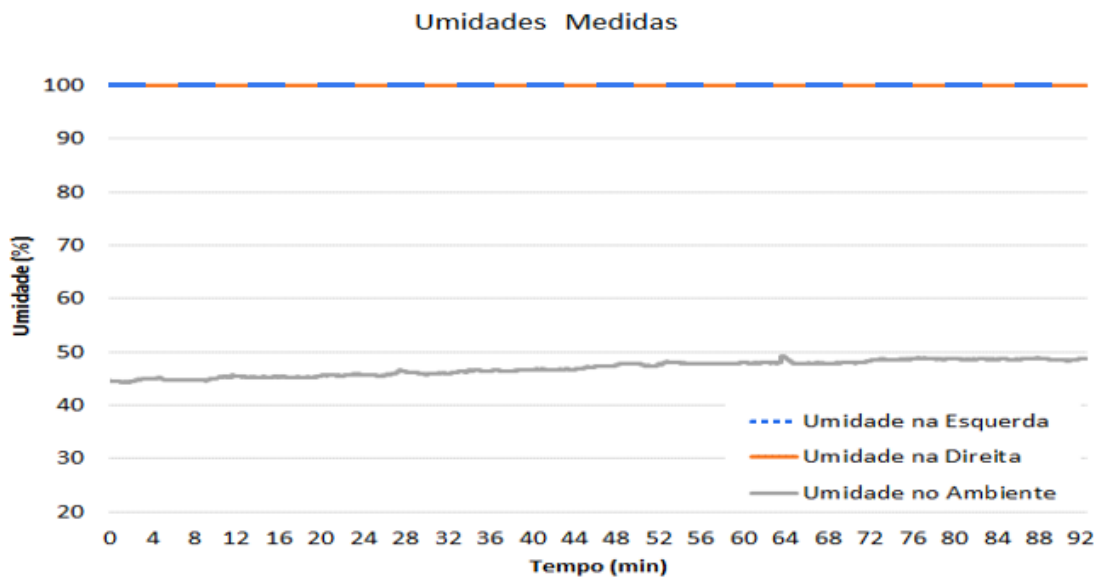
As figuras 7 e 8 representam, respectivamente, as curvas de temperatura e umidade medidas durante o Teste 2. A Figura 7 mostra que houve um decréscimo rápido da temperatura no ponto direito da caixa saindo da temperatura ambiente para próximo da temperatura da esquerda. Com o passar do tempo também, nota-se um aumento gradual na temperatura dentro da caixa. Após 92 minutos de teste, a temperatura no sensor da esquerda subiu aproximadamente 1,2°C, enquanto este acréscimo foi de 1,1 no sensor na direita (tendo como ponto de referência o tempo de 8 minutos). A temperatura de um dos sensores começa próxima da temperatura ambiente, pois o teste começou assim que o sensor foi inserido no substrato, demorando para a sua leitura se ajustar, mas também mostrando que sua leitura é coerente. Ainda nesta figura nota-se um aumento na temperatura em ambas as posições medidas. A diferença de temperatura entre a curva do sensor na direita para a curva do sensor na esquerda tem uma provável causa de caminhos preferenciais do ar, resultando em uma passagem não simétrica do ar pelo substrato. Entretanto, ambas as curvas sobem. A curva de umidade medida pelos sensores indica que o sensor DHT22 não é possível de ser usado se estiver em contato com um material úmido não gasoso, como o substrato. A Figura 8 indica que a umidade ambiente ficou na faixa de 45-50%, enquanto a umidade medida nos sensores dentro da caixa ficou estagnada em 100% ao longo de todo o período de testes, tanto na esquerda quanto na direita.

Figura 7. Curvas de temperatura na caixa e no ambiente ao longo do tempo no Teste 2.



Fonte: Autor, 2020

Figura 8. Curvas de umidade na caixa e no ambiente ao longo do tempo para o Teste 2.

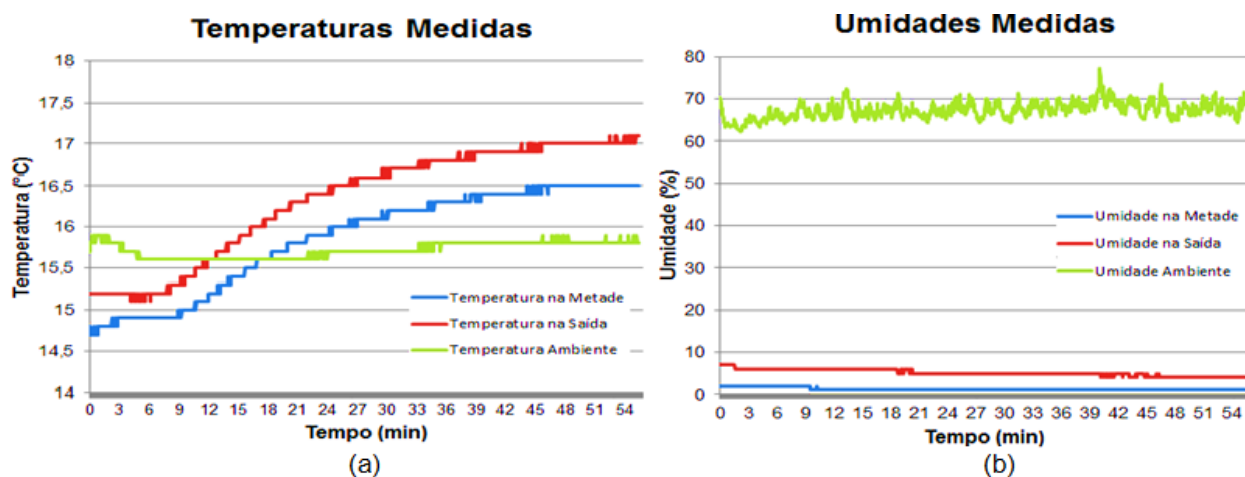


Fonte: Autor, 2020

As Figuras 9.a e 9.b representam, respectivamente, as curvas medidas de temperatura e umidade durante o Teste 3. A Figura 9.a mostra que, no início, ambas as temperaturas medidas dentro da caixa eram menores que a temperatura ambiente, contudo, ao longo do experimento seus valores aumentaram cerca de 1,9°C para o sensor na saída da tubo e 1,2°C para o sensor na metade da altura. Isso indica que o comportamento do substrato em uma linha vertical é o mesmo, mas com menor magnitude quanto maior a distância da saída de ar. Já a temperatura ambiente ficou entre 15,1 e 15,3°C. As umidades nos sensores dentro da caixa representadas na Figura 9.b decresceram ao longo do tempo do experimento em ambos os pontos de coleta de dados. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Willson (1983), que diz que a aeração forçada causa a diminuição na umidade do composto, sendo as taxas de remoção proporcionais às taxas de

aeração. Ademais, segundo Haug (1986), a umidade relativa do ar não muda a taxa de remoção da umidade de compostos se a diferença de temperatura entre os dois é maior que 25°C (que é bem próximo do caso deste experimento). Se as medidas do sensor na saída houve um decréscimo de aproximadamente 4% e para o sensor na metade da altura, 2%. A umidade ambiente ficou majoritariamente dentro do intervalo de 60-70%, mas tendo pontos onde ultrapassou este limite superior. É importante ressaltar que as temperaturas medidas pelos sensores dentro do substrato não estão perto da temperatura que realmente sai do aquecedor, mostrada no Teste 1. Isso se dá devido a maior dificuldade do substrato de transferir calor. A umidade medida nos sensores também diminuiu, seguindo o padrão inverso da temperatura: quanto mais perto da saída de ar, mais rápido decresce a umidade.

Figura 9. Curvas de temperatura e umidade na caixa e no ambiente ao longo do tempo para o Teste 3.



5. CONCLUSÕES

Por meio desta pesquisa foi possível avaliar-se a mudança da temperatura e da umidade de um dado substrato, a partir da montagem do protótipo construído e descrito neste trabalho, que utiliza sistemas de automação e aeração forçada com injeção de ar quente. Este estudo servirá de base para a posterior implantação da automação em leiras estáticas aeradas em usinas de compostagem, visto que apresenta o comportamento simulado destes sistemas.

REFERÊNCIAS

AOSONG. Temperature and Humidity Module: AM2302 Product Manual. Disponível em: <https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_DHT22_AM2302.pdf>. Acesso em: 22 de jun. de 2019.

ARDUINO. About Us. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/AboutUs>>. Acesso em: 27 de jun. de 2019.

ATMEL. ATmega640/1280/1281/2560/2561. Disponível em: <<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/174758/ATMEL/ATMEGA2560.html>>. Acesso em: 22 de jun. de 2019.

BAKER, ED. Open source data logger for low-cost environmental monitoring. Revista Biodiversity Data Journal. n.2,p 1-2, 2014.

CHEREM, L.B. Avaliação do Uso de Inversor de Frequência em Estação Elevatória de Água. 2016.68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2016.

DE ASSIS, V.M. Proposta de Otimização para Acionamento Flexibilizando Técnicas de Controle e Economia Energética. 2018. 49f. Monografia apresentada como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica, Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS. Minas Gerais, 2018.

FILIPEFLOP. Sensor de Umidade do Solo Higrômetro. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-do-solo-higrometro/>>. Acesso em: 20 de jun. 2019.

FRANCHI, C. M. Inversores de Frequência: Teoria e Aplicações. 1. ed. São Paulo: Ed. Érica, 2008. 196 p.

HAUG, R.T. 1986. Composting process design criteria. BioCycle: 27:53–57.

KIEHL, E. J. Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto. 4º Edição. Piracicaba, São Paulo, 2004. 173p.

LIMA, L. M.Q. Lixo Tratamento e Biorremediação. 3º Edição. São Paulo: Hemus, 2004. 265p.

MOTA, S. Introdução à Engenharia Ambiental. 5ª Ed. Rio de Janeiro: ABES, 2012. 524p.

PEIXOTO, R.T. dos G. Compostagem: sistema de produção de alface orgânico. 2012. 12 p. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/55111/1/sistema-de-producao-de-alface-organico-Ricardo-trippia.pdf>>. Acesso em: 20 de jun. 2019.

SARKAR, S.; PAL, S.; CHANDA, S. Optimization of a Vegetable Waste Composting Process with a Significant Thermophilic Phase. Procedia Environmental Sciences, Índia, v.35, p.435-440, 2016.

SCHNEIDER, P. S. Termometria e Psicrometria. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2012. Disponível em: <<http://143.54.70.55/medterm/temperatura.html>>. Acesso em: 22 de jun. 2019.

WILLSON, G. B. Forced Aeration Composting. Water Science and Technology, v. 15, n. 1, p. 169-180, 1983.