INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE

ELETROMECÂNICA 2021.1

ADRIELE MARIA FAUSTINO DE ARAÚJO
JAMMILLY DO NASCIMENTO OLIVEIRA
MARIA VITÓRIA CAMPOS DO NASCIMENTO

COMPOSTEIRA INTELIGENTE: MONITORAMENTO E CONTROLE AUTOMATIZADO DE COMPOSTAGEM

CANGUARETAMA, RN

2024

ADRIELE MARIA FAUSTINO DE ARAÚJO
JAMMILLY DO NASCIMENTO OLIVEIRA
MARIA VITÓRIA CAMPOS DO NASCIMENTO

COMPOSTEIRA INTELIGENTE:
MONITORAMENTO E CONTROLE AUTOMATIZADO DE COMPOSTAGEM

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Eletromecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Técnico em Eletromecânica.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Silva Costa.

Coorientador: Prof. Dr. Bruno Ferreira Augusto Vitorino.

CANGUARETAMA, RN
2024

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora

Dr. Bruno Augusto Ferreira Vitorino - Coorientador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

---

Dr. Leandro Silva Costa - Orientador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

---

Dr. Saulo Gregory Carneiro Fonseca

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

---

Dr. Maurisete Fernando Ferreira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho a Deus a fonte de toda sabedoria e força, que nos sustentou com sua graça e nos concede fé inabalável para superar os desafios deste percurso.

"Mas os que esperam no Senhor renovam as suas forças, sobem com asas como águias; correm, e não se cansam; caminham, e não se fatigam." (Isaías 40:31)

AGRADECIMENTOS

Eu, Vitória, Agradeço, primeiramente, a Deus, pois, como está escrito em Josué 1:9: "Não te mandei eu? Esforça-te, e tem bom ânimo; não temas, nem te espantes, porque o Senhor teu Deus é contigo, por onde quer que andares." Essa promessa de sua presença constante foi a força que me guiou e sustentou em cada momento dessa jornada. Quero expressar minha imensa gratidão aos meus pais Aparecida e Manuel, que foram essenciais em todo esse processo. Mãe e pai, vocês sempre estiveram ao meu lado, oferecendo apoio, amor e sacrifícios para que eu pudesse permanecer no Instituto Federal e concluir essa etapa tão importante da minha formação. Nada disso seria possível sem o esforço de vocês, eu amo muito vocês. Aos meus familiares, que sempre foram meu alicerce, minha gratidão aos meus irmãos Letícia e Pedro e claro eu não poderia deixar de agradecer também aos meus avós, José e Marlene, que sempre estiveram presentes com seu amor e sabedoria, me orientando e me dando forças nos momentos de cansaço. O apoio e as bênçãos de vocês foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Agradeço também às minhas queridas companheiras de TCC Adriele e Jammily, que com dedicação, paciência e colaboração constante, me ajudaram a superar cada obstáculo e realizar este trabalho. A jornada foi árdua, mas a união e o trabalho em equipe nos trouxeram até aqui.

Eu, Jammilly, primeiramente, agradeço a Deus, que me concedeu força e serenidade para trilhar este caminho e concluir este trabalho. À minha família, que sempre foi minha base, dedico este reconhecimento com todo o meu coração. Aos meus pais, Flaviana e Juliano, meus maiores exemplos de vida, agradeço por sua dedicação incansável e amor imensurável. Vocês construíram esta jornada comigo, sempre trabalhando para me proporcionar o melhor e me ensinando os valores de esforço, compromisso e amor. A vocês, meus irmãos, Júlio César e João Felipe, meu amor mais puro e verdadeiro. Vocês foram minhas maiores fontes de apoio, sempre me ensinando a importância da honestidade, da perseverança e do amor ao próximo. Cada decisão que tomei foi fortalecida pela confiança e incentivo de vocês, que me amparam em cada queda e celebram comigo cada conquista. Minha gratidão também se estende a toda minha família, especialmente aos meus tios Gilmar, Joilma e Maria, e às minhas avós Alina, Antônio e Lourdes, que sempre estiveram ao meu lado, oferecendo ajuda, carinho e acolhimento em cada momento. Aos meus amigos, que compartilharam comigo esta árdua caminhada, que apresentaram nos momentos mais difíceis e celebraram comigo as vitórias, o meu muito obrigado. O amor e apoio de vocês são

incomparáveis, amo vocês mais do que palavras podem expressar e sou eternamente grato por estarem aqui comigo.

Eu, Adriele, primeiramente, agradeço a Deus, que me concedeu a oportunidade de realizar esse projeto com muita dedicação, sabedoria e, principalmente, fé. Sem Ele, nada disso seria possível. Agradeço de coração aos meus familiares, que sempre foram meu alicerce. À minha irmã, Jartilde, que, com sua presença constante, me incentivou e me motivou a continuar no Instituto Federal, mesmo nos momentos de maior dificuldade. Ela foi um verdadeiro apoio, sempre me lembrando do meu potencial e me ajudando a superar os obstáculos. Quero também expressar minha gratidão infinita à minha mãe, Lúcia, que foi minha grande inspiração. Sua dedicação e amor incondicionais me acompanharam em cada passo dessa jornada. Sempre esteve ao meu lado, oferecendo palavras de encorajamento e conselhos valiosos, tornando-se minha fonte de força durante toda essa trajetória. Sua presença me fez acreditar, mesmo nas horas mais difíceis, de que eu era capaz, e que cada esforço valeria a pena.

Aos nossos professores, mestres que iluminaram nossas jornada acadêmica, somos gratas pelos ensinamentos, incentivos e por acreditarem em nosso potencial. Em especial, ao nosso orientador, Dr. Leandro, nosso eterno reconhecimento pela sua sabedoria, competência e paciência, que foram fundamentais para a realização deste sonho. Agradecemos também ao coorientador, Dr. Bruno Vitorino, pela parceria, dedicação e apoio constante. Sua experiência e orientação foram indispensáveis para que pudéssemos avançar e aprimorar nosso trabalho. Somos imensamente gratas pela confiança que depositou em nós e por todo o suporte oferecido durante esse processo.

Nossa gratidão também ao nosso amigo Gabriel Rodrigues Freitas do curso superior de sistemas para internet, não temos palavras para expressar nossa gratidão. Sua ajuda foi essencial em todas as etapas deste TCC. Desde a construção das ideias iniciais até a finalização do trabalho, sua disposição e conhecimento foram fundamentais para que pudéssemos superar os desafios e alcançar este resultado. A sua amizade e colaboração foram, sem dúvida, um dos maiores alicerces para a realização deste projeto. A sua paciência, competência e dedicação foram incríveis, e sem você, este trabalho não teria a mesma qualidade. Agradecemos não só pela colaboração acadêmica, mas também pela amizade que nos fortaleceu nos momentos mais difíceis. Sua disposição para nos ajudar a todo momento é algo que sempre iremos lembrar com carinho.

RESUMO

A compostagem é uma prática ambientalmente benéfica que transforma resíduos orgânicos em adubo rico em nutrientes. No entanto, para obter resultados eficientes, é fundamental manter as condições ambientais adequadas, como temperatura, umidade e pH. Nesse sentido, a composteira inteligente proposta neste projeto surge como uma solução inovadora, capaz de monitorar e controlar essas variáveis de forma automatizada. Nesse contexto, o objetivo geral deste projeto é desenvolver e implementar uma composteira inteligente que possa ser utilizada em pequenas produções, como escolas e residências, de forma simples e acessível. No presente trabalho, foi desenvolvido uma composteira inteligente de baixo custo. Para a montagem foram utilizados um ESP32 com módulo WI-FI, um sensor de temperatura DS18b20, um sensor de umidade capacitivo, um sensor de pH pH4502c esses componentes referente ao monitoramento, para o controle automatizado foram utilizados um motor (DC), pás rotativas, relé e uma mini bomba d'água responsável pela irrigação. Os dados captados pelos sensores são enviados ao microcontrolador mediante um código programado, que realiza a leitura desses dados fornecidos pelos sensores e, se necessário, aciona os atuadores. Em suma, posteriormente os parâmetros são enviados e exibidos em tempo real no software compostagem inteligente (Aplicativo criado pelo *MIT app inventor* para eficiência do monitoramento). Por fim, os testes foram realizados por um protótipo feito por placas de plásticos recicláveis oriundas do projeto do IFRN - Natal Central (Precious Plastic ReciclAMAR), o que possibilita um sistema de contribuição para a democratização da compostagem, tornando-a mais acessível a escolas, residências e pequenas comunidades.

Palavras chaves: compostagem; monitoramento; controle automatizado; sensores, ESP32, software.

ABSTRACT

Composting is an environmentally beneficial practice that transforms organic waste into nutrient-rich fertilizer. However, in order to obtain efficient results, it is essential to maintain the right environmental conditions, such as temperature, humidity and pH. In this sense, the intelligent compost bin proposed in this project is an innovative solution, capable of monitoring and controlling these variables in an automated way. In this context, the overall aim of this project is to develop and implement a smart composter that can be used in small-scale production, such as schools and homes, in a simple and accessible way. In this work, a low-cost smart composter was developed. To assemble it, we used an ESP32 with a WI-FI module, a DS18b20 temperature sensor, a capacitive humidity sensor, a pH4502c pH sensor, these components for monitoring, and for automated control we used a (DC) motor, rotating blades, a relay and a mini water pump responsible for irrigation. The data captured by the sensors is sent to the microcontroller using programmed code, which reads the data provided by the sensors and, if necessary, triggers the actuators. In short, the parameters are then sent and displayed in real time in the intelligent composting software (an application created by MIT app inventor for efficient monitoring).Finally, the tests were carried out using a prototype made from recyclable plastic sheets from the IFRN - Natal Central project (Precious Plastic ReciclAMAR), which enables a system to contribute to the democratization of composting, making it more accessible to schools, homes and small communities.

Key words: composting; monitoring; automated control; sensors, ESP32, software.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 14
2. OBJETIVO..... 15
2.1 OBJETIVO GERAL..... 15
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO..... 15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... 16
3.1 Automação..... 19
3.2 Aeração..... 19
3.3 Microcontrolador ESP32..... 20
3.4 Sensor de temperatura DS18B20..... 21
3.5 Sensor de umidade do solo LM393..... 22
3.6 Sensor de pH pH4502..... 22
3.7 Mini bomba d'água..... 23
3.8 Resistor..... 23
3.9 Módulo Relé..... 24
3.10 Motor DC..... 24
3.11. Guia de alimentos..... 25
3.11.1 ALIMENTOS NÃO RECOMENDADOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM..... 25
3.11.2 ALIMENTOS QUE PODEM SER UTILIZADOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM..... 26
4. METODOLOGIA..... 27
4.1 SISTEMA PROPOSTO..... 27
4.2 TIPO DE PESQUISA..... 28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 28
5.1 MONTAGEM DO CIRCUITO..... 28
5.2 RECICLAMAR..... 30
5.2.1 CAIXA DO COMPOSTO..... 31
5.3 PROCESSO DE AUTOMAÇÃO E INSTALAÇÃO DOS COMPONENTES..... 34
5.3.1 REVIRADA E IRRIGAÇÃO..... 35
5.4 ESTUDO DE CÓDIGO PARA PROGRAMAÇÃO EM MICROCONTROLADORES..... 37
Um microcontrolador é basicamente um pequeno computador em um único circuito integrado. Assim como um computador convencional, possui um núcleo de processador, memória e interfaces de entrada e saída. Podem ser programados quantas vezes for necessário, bastando gravar um novo programa no chip.” (Endler, p. 6). Dentre os vários tipos de microcontrolador os mais utilizados são o arduino e ESP32, o presente projeto foi utilizado o ESP32, que utiliza a mesma linguagem de programação que o arduino..... 37
5.4.1 CÓDIGO USADO NO ESP32..... 37
5.4.2 ESTUDO SOBRE O MIT APP INVENTOR..... 42

6. MODELAGEM 3D PÁ ROTATIVAS.....45
7. ESTIMATIVA DE CUSTO.....46
8. TESTES PRÁTICOS.....47
8.1 Análise de valores referência para os sensores.....48
8.2 Análise de valores obtidos.....48
11. REFERÊNCIAS.....50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - ESP32..... 21
Figura 2 - Sensor DS18B20..... 21
Figura 3 - Sensor umidade solo.....22
Figura 4 - Sensor pH 4502..... 22
Figura 5 - Mini bomba d'agua.....23
Figura 6 - Resistor..... 24
Figura 7 - Relé.....24
Figura 8 - Motor DC 9V..... 25
Figura 9 - Circuito montado..... 30
Figura 10 - Material de corte.....32
Figura 11 - Corte das placas..... 32
Figura 12 - Vedação da caixa..... 33
Figura 13 - Junção das placas.....33
Figura 14 - Caixa montada..... 34
Figura 15 - Sistema de aeração..... 36
Figura 16 - Sistema de irrigação..... 36
Figura 17 - Bibliotecas do Arduino IDE..... 38
Figura 18 - Definição das conexões dos pinos dos sensores.....38
Figura 19 - Endereço do servidor do MQTT e conexão WIFI.....39
Figura 20 - Função setup de inicialização, comunicação serial e verificação de acesso..... 40
Figura 21 - Conexão com o cliente MQTT..... 40
Figura 22 - Void loop do código.....41
Figura 23 - Continuação void loop do código.....42
Figura 24 - Primeira interface do aplicativo.....43
Figura 25 - Segunda interface do aplicativo desenvolvido..... 43
Figura 26 - Programação em blocos do aplicativo desenvolvido.....44
Figura 27 - Continuação da programação em blocos do aplicativo desenvolvido.....44
Figura 28 - Pá rotativa.....45
Figura 29 - Modelo 3D da caixa interna para conter o sistema central dos componentes da composteira..... 46

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Gráfico 1: Fases do processo de compostagem.....16
Tabela 1 - Principais informações sobre o processo de compostagem e os fatores que influenciam.....17
Tabela 2 : Alimentos que podem ser utilizados na compostagem.....25
Tabela 3 : Alimentos que não podem ser utilizados na compostagem.....26
Tabela 4 - Tabela de custos.....46
Tabela 5 - Problemas identificados, ações corretivas e resultados..... 48
Tabela 6 - Valores de referência para os sensores..... 48
Tabela 7 - Valores obtidos..... 48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C/N - Carbono/nitrogênio

Mqtt - Message Queuing Telemetry Transport

pH - potencial hidrogeniônico

IDE - Integrated Development Environment, ou ambiente de desenvolvimento integrado

Low - Baixa

high - Alta

C° - Grau celsius

% - Porcentagem

MIT App inventor - Massachusetts Institute of Technology

1. INTRODUÇÃO

A gestão dos resíduos está estreitamente ligada à dinâmica do crescimento e desenvolvimento urbano e, atualmente, o gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos engloba a reciclagem, compostagem, incineração e aterramento dos resíduos. “Há chances de transformação desses resíduos em produtos que agregam valor para outros segmentos (WAGNER, 2017)”. A compostagem é uma atividade importante para o curso da sustentabilidade no planeta Terra, pois contribui diretamente com a redução do volume de resíduos orgânicos gerados pelos seres humanos, sendo destinados aos aterros sanitários e à produção de fertilizantes naturais.

Partindo desse cenário, um dos fatores que inviabilizam o processo de compostagem em residências e apartamentos é o alto preço do equipamento (FERNANDES; NASSIF, [s.d.]). Nesta ótica, a proposta da composteira inteligente tem como finalidade criar uma alternativa de baixo custo para aprimorar esse processo, medindo e controlando os parâmetros de temperatura, umidade e pH através de sensores e um sistema integrado para auxiliar nessas etapas. A necessidade de automatizar atividades ocorre devido ao tempo gasto para realizá-las, que é maior do que se elas fossem programadas para serem executadas por máquinas (MICHELS et al., 2017).

O processo de compostagem apontado será baseado em dispositivos que podem ser programados para atuarem de forma autônoma ou com o mínimo de intervenção humana como, por exemplo, o arduíno, com o auxílio dos sensores que são dispositivos que têm a capacidade de medir variáveis física do ambiente em que se encontram, como, temperatura, umidade e pH, e transformá-la em uma saída elétrica, encaminham esses dados para um microcontrolador que trata-se basicamente um pequeno computador, pois ele reúne todos os componentes eletrônicos, núcleo de processador, memória, periféricos programáveis de entrada e saída, em um único chip (FERNANDES; NASSIF, [s.d.]).

Dessa forma, torna-se indispensável a criação de um protótipo que atue como uma solução sustentável e eficiente para a destinação adequada de resíduos sólidos. Além disso, o protótipo tem como objetivo simplificar e acelerar o processo de compostagem, tornando-o mais acessível e prático para os usuários. Com base nos estudos realizados para a fundamentação teórica, espera-se que a análise e o controle dos parâmetros essenciais permitam a produção de um composto de alta qualidade, rico em nutrientes, capaz de ser utilizado como fertilizante natural. Esse avanço não apenas reduz a intervenção manual necessária, mas também minimiza os desafios comumente enfrentados na compostagem

tradicional, facilitando sua adoção e contribuindo significativamente para uma gestão mais eficaz dos resíduos sólidos.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste projeto é otimizar o processo de compostagem em pequena escala, promovendo a eficiência na decomposição dos resíduos orgânicos e facilitando a gestão sustentável dos resíduos. Para alcançar esse objetivo, será desenvolvida uma composteira inteligente equipada com sensores para medir a temperatura, umidade e pH, utilizando a automação como uma ferramenta estratégica para monitorar e controlar os parâmetros essenciais do processo.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

São objetivos específicos deste trabalho:

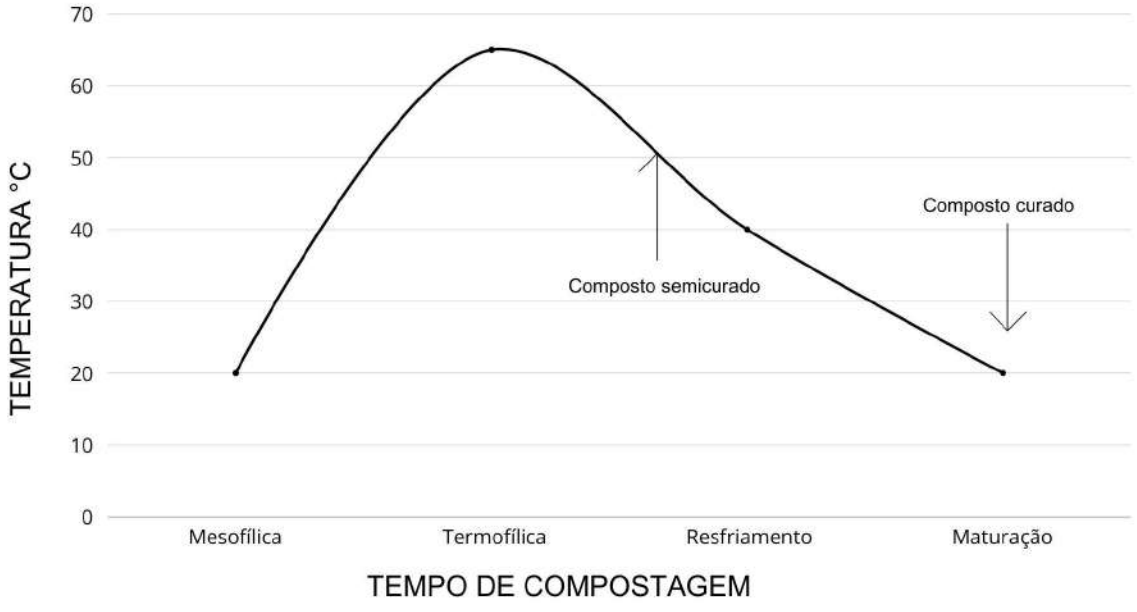
- Revisar os fatores que influenciam a eficácia da decomposição dos resíduos orgânicos, identificando oportunidades de otimização para o processo de compostagem.
- Realizar uma revisão sobre linguagens de programação adequadas para o desenvolvimento de sistemas de automação aplicados à compostagem.
- Desenvolver e implementar um protótipo de composteira inteligente equipado com sensores para medir temperatura, umidade e pH, utilizando os dados coletados para aprimorar o processo de compostagem em pequena escala.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A compostagem é um processo de decomposição natural de matéria orgânica pela ação de fungos, bactérias e outros microrganismos (FERNANDES; NASSIF, [s.d.]), existem muitos fatores que interferem ou influenciam a decomposição, a maturação e a qualidade do produto final podendo-se citar a umidade, a temperatura, a relação C/N e os resíduos orgânicos utilizados. Muitos desses fatores podem ser controlados durante o processo de decomposição (BARREIRA; PHILIPPI JUNIOR; RODRIGUES, 2006).

Esse processo pode ser dividido em quatro fases distintas: mesofílica, termofílica, resfriamento e de maturação. Nesta primeira fase, as bactérias, fungos e actinobactérias (decompositores primários) competem na degradação de moléculas mais simples como açúcares e proteínas abundantes. Na segunda fase, os microrganismos mesófilos são substituídos pelos termófilos (capazes de crescer em temperaturas altas). Estes microrganismos são responsáveis por degradar os compostos mais complexos. A terceira fase é caracterizada pela queda da atividade microbiana. Por fim a última fase a comunidade microbiana é lenta e totalmente transformada. As condições ambientais do composto favorecem o crescimento da população de fungos enquanto as bactérias diminuem (MAZINI, p. 36).

Gráfico 1: Fases do processo de compostagem.



Fonte: Autoria própria.

Dentre os fatores que influenciam no processo é o aumento da temperatura, resultado da liberação de calor na degradação microbiológica do material orgânico. A temperatura ideal do processo é entre 50°C e 65°C, permitindo assim uma máxima intensidade da atividade microbiológica. Acima de 65°C e abaixo de 50°C, a atividade cai e o ciclo de compostagem fica mais longo (FERNANDES; NASSIF, [s.d.]). Além disso, dependendo das temperaturas alcançadas pelo processo na fase termofílica pode ocorrer a eliminação de microrganismos patogênicos presentes no resíduo.(MICHELS et al., 2017).

Os organismos responsáveis pelo processo de compostagem necessitam de água para sobreviverem. Entretanto, o teor de umidade no material a ser composto deve ficar em torno de 40 à 60% para que não interfira no fluxo de oxigênio do processo, e nem retarde o tempo de compostagem. Umidade em excesso preenche os espaços vazios do substrato, reduzindo o fornecimento de oxigênio aos microrganismos (MAZINI, P. 41).

O pH indica a acidez ativa ou a atividade de íons H +, os valores de pH do material, aumentam durante o processo de compostagem. Este comportamento era esperado, uma vez que o pH é uma variável indicativa do grau de estabilização e maturação do material composto (PAIVA, [s.d.]). Para o processo de decomposição é fundamental que o composto tenha oxigenação adequada, sendo assim, a aeração é necessária para suprir a demanda de oxigênio exigida pela atividade microbiana. A concentração mínima de O2 para manter as condições aeróbicas é de 5%. A escassez de O2 limita o desenvolvimento de microrganismos aeróbios dando espaço para a proliferação de organismos anaeróbios, causando maus odores e retardando o processo de composição e maturação da matéria orgânica. (MAZINI, p. 36).

Tabela 1 - Principais informações sobre o processo de compostagem e os fatores que influenciam.

FATOR	DESCRIÇÃO	PARÂMETROS IDEAIS
Fases do processo	**Mesofílica**: Decomposição inicial por microrganismos mesófilos.	Temperatura ambiente
_	**Termofílica**: Decomposição de compostos complexos por microrganismos termofílicos.	50°C a 65°C

_	**Maturação**: Transformação final, predominância de fungos.	Diminuição da temperatura (Temperatura ambiente).
Temperatura	Regula a atividade microbiana e elimina patógenos na fase termofílica.	50°C a 65°C
Umidade	Necessária para microrganismos, mas não pode saturar o material.	40% a 60%
Oxigênio	Essencial para a respiração aeróbica e prevenção de maus odores.	>5%
Relação C/N	Equilíbrio de carbono (energia) e nitrogênio (crescimento microbiano).	25:1 a 30:1
pH	Indicador da acidez ou alcalinidade; aumenta ao longo do processo.	Levemente ácido a neutro no início (6-8).
Microrganismos	**Mesófilos**: Primeira fase; decomposição de açúcares e proteínas.	_
_	**Termófilos**: Fase intermediária; decomposição de compostos complexos.	_
_	**Fungos**: Predominam na maturação.	_

Fonte: Autoria própria.

3.1 Automação

A automação da composteira permite o monitoramento e controle dos parâmetros com base nos dados disponibilizados pelos sensores instalados, um microcontrolador é basicamente um pequeno computador, pois ele reúne todos os componentes eletrônicos, núcleo de processador, memória, periféricos programáveis de entrada e saída, em um único chip (FERNANDES; NASSIF, [s.d.]).

A utilização de sensores para analisar os fatores exigidos para o processo de compostagem é uma abordagem eficaz. Os sensores são dispositivos que têm a capacidade de medir variáveis físicas do ambiente em que se encontram, como, temperatura, umidade e quantidade de gás, etc e transformá-la em uma saída elétrica (FERNANDES; NASSIF, [s.d.]). Há vários microcontroladores que atuam em parceria com os sensores, como o arduino, a comunicação entre a placa Arduino e o sensor é realizada por meio do barramento 1-wire que possibilita aquisição no modo master/slave. Neste sistema de barramento, a placa Arduino (dispositivo master) identifica o sensor usando o código. (MICHELS et al., 2017).

Portanto, com o projeto é possível medir temperatura, umidade, pH dentre outros fatores, juntamente com a automação transformar resíduos orgânicos em composto rico em nutrientes visando essa possibilidade viável e ainda diminuir a quantidade de resíduos sólidos que seriam destinados aos grandes lixões a céu aberto, aterro controlado, ou aterros sanitários, reduzindo os impactos ambientais e com isso trazendo grandes benefícios ao meio ambiente.

3.2 Aeração

De acordo com (MEDEIROS, 2024) a compostagem trata-se de um processo aeróbio, exatamente por esse motivo, manter a presença de oxigênio dentro da leira de compostagem é de suma importância, justamente para configurar o processo como tal. Esse processo garante que os microrganismos aeróbicos se decomponham em matéria orgânica de forma eficiente. Esses microrganismos utilizam o oxigênio para metabolizar o carbono e o nitrogênio presentes nos resíduos, gerando calor, água e dióxido de carbono como subprodutos. Uma geração adequada é crucial para manter o equilíbrio e a eficiência do processo de compostagem.

3.3 Microcontrolador ESP32

Segundo declara Cardoso (2020), o microcontrolador consiste em um sistema integrado único que engloba memórias voláteis e não voláteis, núcleo de processador e ainda dispositivos periféricos de entrada e saída de dados. Sob essa perspectiva, um microcontrolador incorpora principalmente o núcleo do processador no interior do circuito integrado.Portanto, este dispositivo não possui periféricos como contadores, conversores e diferentes tipos de memória, sendo capaz apenas de realizar operações aritméticas e lógicas de acordo com o programa que está sendo executado pelo microcontrolador.

Os microprocessadores e microcontroladores, que são componentes-chave em sistemas embarcados, compartilham a mesma origem e conceito. Assim como os microcontroladores, os microprocessadores também vêm do contexto dos sistemas embarcados e têm a função de executar tarefas específicas em sistemas mais complexos. A diferença principal entre eles está na flexibilidade e na capacidade de realizar múltiplas funções, enquanto os microcontroladores tendem a ser mais especializados e integrados. Exemplos de sistemas embarcados incluem controles remotos, eletrodomésticos, players de música e celulares, que executam tarefas de forma independente. A evolução desses componentes permitiu uma maior interatividade e comunicação, refletindo o avanço contínuo dos sistemas embarcados na tecnologia moderna. (DA SILVA et al., 2019. p. 36-46).

O ESP32 é um microcontrolador que incorpora Wi-Fi, possui 36 pinos de entrada e saída, e inclui um módulo Bluetooth 4.2 (BLE). Ele oferece saídas PWM e conversores Analógico-Digital. Sendo um microcontrolador dual-core, o ESP32 conta com dois núcleos de processamento e aproximadamente 500 kBytes de memória RAM, permitindo a execução de programas mais avançados em comparação com as placas mais básicas da plataforma Arduino (CURVELLO, 2018).

A programação do ESP32 é simplificada pelos diversos softwares compatíveis, destacando-se a linguagem C/C++, que pode ser desenvolvida utilizando o Arduino IDE. Além disso, a sua estrutura de conectividade sem fio permite a programação remota via Wi-Fi. Com base nos pontos mencionados, a utilização do ESP32 como microcontrolador para um projeto de baixo custo e alta conectividade com os componentes de um sistema de automação residencial é claramente viável.

Figura 1 - ESP32.

Fonte: Outocore Robótica.

3.4 Sensor de temperatura DS18B20

De acordo com Maxim Integrated (2015), o termômetro digital DS18B20 oferece medições de temperatura com resolução que varia de 9 bits a 12 bits em graus Celsius e inclui uma função de alarme programável com pontos de disparo superior e inferior. O DS18B20 se comunica por meio de um barramento 1-Wire, que, por sua natureza, utiliza apenas uma linha de dados para a comunicação com um microprocessador central. A faixa de temperatura de operação do dispositivo é de -55 °C a +125 °C, e sua precisão é de ±0,5 °C na faixa de -10 °C a +85 °C. Além disso, o DS18B20 pode obter energia diretamente da linha de dados (“energia parasita”), o que elimina a necessidade de uma fonte de alimentação externa.

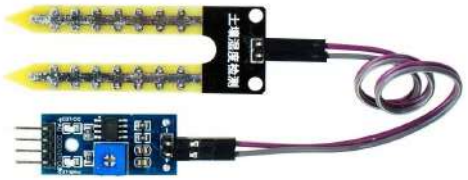
Figura 2 - Sensor DS18B20

Fonte: Robocore

3.5 Sensor de umidade do solo LM393

O sensor de umidade de solo é um aparelho que monitora as alterações na umidade da terra, utilizando dois eletrodos, que são fundamentais na variação da condutividade elétrica do material (solução do solo). Sensores com resistência à corrosão e de fácil instalação.

Figura 3 - Sensor umidade solo.



Fonte: Mercado livre.

3.6 Sensor de pH pH4502

Sensor para medir o pH de uma solução. Opera na tensão elétrica de 5v e entre as temperaturas de 0ºC a 60ºC. Tem a possibilidade de medição de pH de 0 a 14. Esse sensor deve ser calibrado de tempos em tempos para manter a precisão (DIYMORE, 2019). Logo, o sensor é uma ferramenta valiosa para aplicações que envolvam ou requerem monitoramento do pH, oferecendo precisão e facilidade de integração com sistemas eletrônicos, desse modo a automação ligada a precisão do sensor, representa um avanço significativo na coleta de dados referente ao pH.

Figura 4 - Sensor pH 4502

Fonte: Mercado livre

3.7 Mini bomba d'água

Mini bomba d' água é um dispositivo compacto, que foi projetado para transportar água em pequenas quantidades de um lugar para outro. Sendo um dispositivo prático e eficiente em diversos cenários. Tendo como vantagem a possibilidade de ajustar o fluxo de água, através de um controle de fluxo ou de reguladores. Possuindo um motor de 9V, alimentado por uma corrente elétrica, sendo facilmente utilizada em aplicações de sistemas hidrográficos como a irrigação.

Figura 5 - Mini bomba d’agua

Fonte: Mercado livre

3.8 Resistor

Segundo (VASCONCELLOS, 2015) os resistores são componentes eletrônicos cuja principal função é limitar o fluxo de cargas elétricas, por meio da conversão da energia elétrica em energia térmica. Geralmente feitos a partir de materiais dielétricos, de grande resistência elétrica.

Os mesmos podem ser classificados de formas diferentes utilizando a cor, determinando sua tensão. Os resistores aplicados no projeto foram os de 10 ohm, desse modo suas cores correspondentes são preto e dourado.

Figura 6 - Resistor.

Fonte: Fermarc robótica

3.9 Módulo Relé

Segundo (ROISENBERG,2014) o relé é um dispositivo eletromecânico que opera como um interruptor controlado de forma elétrica. Ele é bastante utilizado em circuitos elétricos, permitindo que uma pequena corrente controle uma corrente maior.

Figura 7 - Relé

Fonte: Mercado livre

3.10 Motor DC

Um motor DC de é um tipo de máquina elétrica que converte energia elétrica de corrente contínua em energia mecânica.(LOUREIRA, 2016). Portanto os motores dc são totalmente compatíveis com aplicações mais simples especialmente quando é necessário controle de velocidade, assim, os tipos mais comuns dependem das forças produzidas por campos magnéticos, dessa forma será possível a aplicação adequada do componente. Os tipos mais comuns dependem das forças produzidas por campos magnéticos.

Figura 8 - Motor DC 9V.

Fonte: Sulink.

3.11. Guia de alimentos

A compostagem é um processo biológico natural no qual microorganismo, como fungos e bactérias, na presença de oxigênio, promovem a decomposição da matéria orgânica, convertendo-a em adubo rico em nutrientes. Na compostagem, a seleção dos materiais que serão utilizados é fundamental para garantir um processo eficiente e balanceado. Dessa forma, os alimentos não influenciam somente na qualidade do composto, mas também afetam o pH do material em decomposição. Este guia tem como principal objetivo apresentar os princípios fundamentais da compostagem e os tipos de materiais que podem ser aplicados.

3.11.1 ALIMENTOS NÃO RECOMENDADOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Tabela 2 : Alimentos que podem ser utilizados na compostagem.

Alimentos	Nível de pH	
Frutas cítricas	**2,81 à 3,12**	**Esses tipos de frutas possuem polpa e cascas que podem alterar o pH do solo.**
Carnes	**5,0 à 7,0**	**Independente do tipo de carne, a decomposição é muito prolongada, e causa mau odor.**
Gorduras		**Alimentos gordurosos**

	-	**podem liberar substâncias que atrasam o processo de compostagem e comprometem a qualidade do composto.**
Laticínios	**4,4 à 6,3**	**Além do mau cheiro da decomposição, está se torna muito lenta e tais compostos atraem organismos indesejados.**
Ossos e espinhas	-	**Trazem desequilíbrio na proporção de materiais na compostagem e apresentam riscos de contaminação.**

Fonte: Autoria própria.

3.11.2 ALIMENTOS QUE PODEM SER UTILIZADOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Tabela 3 : Alimentos que não podem ser utilizados na compostagem.

Alimentos	Nível de pH	
Frutas	**3,0 à 5,0**	**São ricas em nutrientes, e contribuem para a formação de composto equilibrado.**
Legumes	**7,0 à 5,0**	**Fornecem umidade e matéria orgânica essenciais no processo.**
Leguminosas	**6,0 à 7,0**	**São ricas em nitrogênio, o que ajuda a acelerar a decomposição e melhora a fertilidade do composto.**
Borras Café - Chá	**4,5 à 6,0**	**Ricos em nitrogênio e matéria orgânica, ajudam a equilibrar a mistura de carbono e nitrogênio no composto.**
Cascas de ovos	**5,0 à 7,5**	**É rica em cálcio, que ajuda a melhorar a**

		estrutura do solo e neutralizar a acidez.

Fonte: Autoria própria.

4. METODOLOGIA

4.1 SISTEMA PROPOSTO

Este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de uma composteira inteligente, projetada para monitorar e controlar parâmetros físicos e químicos essenciais ao processo de compostagem. Para garantir uma execução estruturada e eficiente, o desenvolvimento foi dividido em etapas claras e organizadas. Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica abrangente, que permitiu aos discentes aprofundar seus conhecimentos sobre os princípios teóricos e práticos necessários para o progresso do projeto.

Na sequência, o projeto foi detalhado, abrangendo desde a concepção e aquisição dos materiais até a preparação do protótipo, incluindo os sensores de medição dos parâmetros físicos e químicos, como o sensor de temperatura DS18B20, o sensor de umidade do solo LM393 e o sensor de pH PH4502. Também foram considerados os componentes para o controle da mini bomba d'água (sistema de irrigação) e o motor DC com a pá para aeração do composto. A montagem dos circuitos eletrônicos e os testes experimentais foram prolongados para garantir a funcionalidade dos componentes e a adequação do sistema às necessidades do processo de compostagem. A última etapa consistiu na análise dos resultados obtidos e na elaboração de um artigo final, que documenta todas as fases do projeto.

Além disso, o sistema integra uma aplicação web, que permite o monitoramento em tempo real de variáveis críticas, como temperatura, umidade e pH do composto orgânico, utilizando a ferramenta de desenvolvimento MIT App Inventor, que possibilitou a criação do aplicativo por meio da programação em blocos. Essa funcionalidade é fundamental para a análise contínua dos dados, facilitando a identificação de possíveis falhas operacionais e permitindo a comparação entre os valores de referência previamente estabelecidos e os valores reais observados. Assim, a plataforma oferece uma visão holística do processo, promovendo uma gestão mais eficiente e automatizada da compostagem.

4.2 TIPO DE PESQUISA

Com base em estudos realizados, uma das principais necessidades identificadas foi a melhoria do processo de compostagem. No momento, o estudo concentra-se na criação de uma composteira automatizada que emprega sensores para medir pH, umidade e temperatura. Esta tecnologia tem como objetivo assegurar que os compostos orgânicos sejam administrados corretamente, incentivando uma decomposição mais eficaz e sustentável. A instalação de uma composteira automatizada possibilitará o acompanhamento em tempo real das condições ideais para a compostagem, reduzindo falhas e aprimorando a qualidade do composto resultante. Ademais, a automação do procedimento eliminará a demanda por intervenções contínuas, simplificando o trabalho do time e tornando o ambiente mais acessível. Esta estratégia não apenas maximiza a utilização de recursos orgânicos, mas também auxilia na gestão mais eficiente e sustentável dos detritos produzidos.

Este estudo é realizado de maneira qualitativa e prática, empregando métodos bibliográficos e experimentais, com a finalidade principal de resolver de forma eficaz e simples os obstáculos da compostagem. As etapas adotadas incluem revisão de literatura sobre componentes e tecnologias como microcontroladores, desenvolvimento de software, estudo sobre sensores de pH, umidade e temperatura, introdução à programação, e criação de um protótipo reciclável para a composteira, utilizando placas produzidas a partir de tampas de garrafas pet derretidas, fornecidas pelo Reciclamar. Em seguida, foram conduzidos testes e a implementação do sistema no protótipo, bem como a adição de alimentos na composteira e, por fim, a análise dos resultados alcançados nos experimentos práticos. Esta estratégia integrada garante uma administração mais eficiente dos resíduos orgânicos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 MONTAGEM DO CIRCUITO

O projeto foi iniciado com a capacitação dos discentes por meio de workshops de iniciação ao Arduino, realizados no laboratório PotiMaker. Esses escritórios facilitaram a formulação das especificações iniciais para a funcionalidade do projeto. Inicialmente, foi desenvolvido o código para o microcontrolador ESP32, cuja utilização é mostrada apropriadamente, uma vez que a linguagem de programação C++ é compartilhada entre as plataformas abordadas. A participação ativa dos estudantes nos workshops contribuiu significativamente para a compreensão e o sucesso do processo.

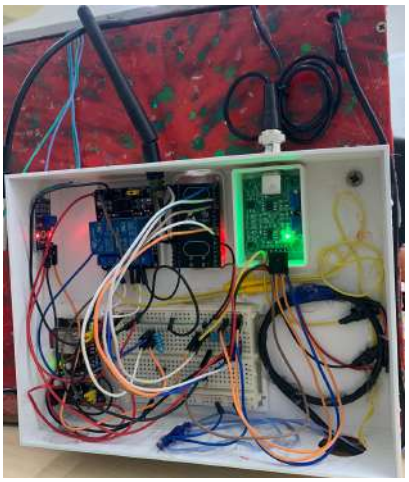
Após a definição das especificações, foram elaboradas listas de materiais, estimativas de custo e requisitos de hardware e software. Com essa fase concluída, uma equipe avançou para a produção do protótipo, que envolveu a construção de uma estrutura a partir de placas de material reciclável. A fabricação da pá, essencial para o funcionamento do sistema, foi realizada utilizando impressão 3D, integrando-se a um motor DC responsável pela revirada do composto.

A montagem do circuito de controle constituiu uma etapa crítica do projeto. O ESP32 foi designado para fornecer e transmitir informações dos diversos componentes integrados, incluindo um sensor de temperatura, um sensor capacitivo de umidade e um sensor de pH. A funcionalidade adequada de cada um desses elementos é necessária para a medição precisa dos fatores físicos e químicos do material orgânico, garantindo, assim, a eficácia do sistema proposto.

Este sistema possui como função principal monitorar e controlar o processo de compostagem em suas diferentes fases, garantindo condições ideais para a reserva orgânica. Um dos parâmetros críticos é o nível de umidade do composto. Quando os sensores detectam níveis de umidade abaixo do ideal, um relé é acionado, ativando automaticamente uma mini bomba d'água. Essa bomba realiza a transparência da área onde os resíduos estão desejados, restaurando a umidade adequada.

Outro fator relevante no processo é a temperatura do composto, que serve como um indicador do progresso da conclusão. Se a temperatura atingir valores excessivos, outro relé é acionado, ativando um motor DC conectado a uma pá de rotação. Esse mecanismo promove a aeração do material, facilitando o resfriamento e garantindo a oxigenação do composto adequado, o que é essencial para a manutenção de uma otimização eficiente e controlada. Assim, o sistema automatizado contribui para o gerenciamento preciso das condições ambientais necessárias à compostagem.

Figura 9 - Circuito montado.



Fonte: Autoria própria.

5.2 RECICLAMAR

A colaboração entre a Reciclamar e o projeto da composteira inteligente proporcionou uma chance de combinar inovação e sustentabilidade, gerando efeitos benéficos para o meio ambiente. A composteira inteligente representa uma alternativa contemporânea para o manejo de resíduos orgânicos. No entanto, o impacto sustentável pode ser potencializado se a sua estrutura, em particular a caixa que guarda o composto, for constituída de material reciclado.

A construção destas placas são realizadas a partir de uma diferença dos tipos de plásticos na produção de madeira plástica, destacam-se os plásticos polietileno de alta densidade (PEAD) e polipropileno (PP), valorizados por suas propriedades e fácil obtenção, devido ao grande descarte e uso desses materiais. Um estudo sobre as propriedades mecânicas do PEAD, PP e PEBD pós-consumo concluiu que esses materiais apresentam boas características e podem ser utilizados na fabricação de peças que não exigem especificações técnicas rigorosas (Van Els; Dunice; De Jesus, 2020). Esses plásticos são utilizados no processo de reciclagem, resultando em um material resistente e versátil, capaz de substituir a madeira convencional em diversas aplicações, como construção civil e mobiliário urbano.

Nesse contexto, o projeto de extensão ReciclAMAR, do IFRN-CNAT, implementa um processo eficiente para a produção de madeira plástica. Após a separação, os plásticos tipo 2 (PEAD) e tipo 5 (PP) são triturados, transformando-se em pequenos fragmentos (flakes) que facilitam o transporte e o derretimento. Os flakes são, então, preparados com critérios rigorosos: separados por cor e tipo, higienizados e pesados entre 820g e 1kg. Antes da fusão,

aplica-se uma camada de silicone nos moldes para simplificar a remoção do produto final. Posteriormente, os flakes são distribuídos de forma homogênea no molde, compactados por uma prensa e aquecidos a 250 °C por cerca de duas horas. Após o resfriamento, o produto é removido e moldado em itens reciclados de alta qualidade. Esses produtos retornam ao consumo com a premissa de descarte responsável, reforçando o ciclo de sustentabilidade promovido pela economia circular (Soares et al., 2024).

A utilização de recursos recicláveis na produção da composteira reforça a mensagem de economia circular, que é o núcleo das ações da Reciclamar. Isso ilustra, na prática, como os resíduos podem ser convertidos em novos produtos, encerrando o ciclo de vida dos materiais. Além disso, incentivar a utilização de plástico de tampas de garrafas pet recicladas na estrutura da composteira não só diminui o impacto ambiental, mas também valoriza o projeto, sublinhando a relevância de decisões responsáveis na fabricação de equipamentos sustentáveis. Essa parceria oferece vantagens mútuas:a Reciclamar intensifica sua presença no mercado ao associar-se a um projeto inovador, enquanto o projeto obtém apoio técnico e visibilidade para expandir sua abrangência.

5.2.1 CAIXA DO COMPOSTO

O Reciclamar é uma iniciativa inovadora voltada para a sustentabilidade e o reaproveitamento de materiais plásticos, que se destaca pela criação de placas e objetos a partir de tampas de garrafas derretidas. Neste projeto, usa-se as placas fabricadas para criar uma caixa de composto, que será útil e prática. Em seguida está a explicação das fases do processo de formação.

- **Separação dos materiais**

O primeiro passo para a produção da caixa consiste na seleção dos materiais necessários para um procedimento mais rápido e eficaz. Em vez de empregar uma variedade de ferramentas, optou-se pelo uso da makita, que possibilita fazer cortes rápidos e precisos nas placas de madeira, eliminando a necessidade de cortes manuais. A aplicação da cola de vedação foi realizada para assegurar a vedação e resistência à umidade, garantindo uma união segura entre as partes. Esta combinação de instrumentos assegura uma produção mais eficiente, sem prejudicar a qualidade e a funcionalidade da caixa.

Figura 10 - Material de corte

Fonte: Autoria própria.

- **Corte das Placas**

Depois de preparar as placas, foi usada uma máquina de corte para fazer os cortes nas dimensões desejadas. As medidas precisas garantiram que todos os componentes da caixa se ajustassem adequadamente. Neste estágio, a segurança sempre foi uma prioridade, usando máscaras para evitar a inalação de poeira e outros resíduos gerados pelo corte. Esta preocupação com os detalhes e a segurança assegurou um produto final de excelente qualidade e um local de trabalho protegido.

Figura 11 - Corte das placas.

Fonte: Autoria própria.

- **Montagem da Caixa**

As placas cortadas foram dispostas verticalmente, formando as paredes do recipiente. Essa disposição garante uma estrutura sólida, capaz de suportar o que for armazenado. Para garantir a efetividade do projeto, o adesivo selante multiuso foi aplicado nos espaços entre as placas, vedando-as de maneira apropriada. Esse cuidado não apenas previne a perda de umidade, mas também protege o material armazenado, auxiliando na sua preservação a longo prazo. Além disso, a vedação eficiente é essencial, especialmente em locais com variações de temperatura e umidade, onde a integridade do conteúdo pode ser comprometida. A aplicação

do selante também contribui para o fortalecimento das juntas, oferecendo maior resistência e longevidade à estrutura. Para garantir uma fixação segura, foi utilizada a parafusadeira, que facilitou a união das peças, garantindo que a caixa fosse montada com maior agilidade e firmeza.

Figura 12 - Vedação da caixa.

Fonte: Autoria própria.

- **Junção das Placas**

Para assegurar a solidez estrutural, as placas foram fixadas com pregos, o que oferece uma resistência extra e previne que se movam ou se soltem com o passar do tempo. É crucial selecionar pregos apropriados e colocá-los nos ângulos corretos para uma fixação eficaz. Esta técnica não só fortalece a estrutura, como também reduz o perigo de desgaste provocado por movimentos naturais do material. Alinhar corretamente a caixa durante a fixação garante sua integridade geral, garantindo que ela mantenha sua forma e funcionalidade durante o uso. Com essa dedicação a construção a edificação se torna mais robusta e resistente, preparada para lidar com as demandas.

Figura 13 - Junção das placas

Fonte: Autoria própria.

- **Finalização**

Depois de seca a vedação, foram lixadas delicadamente as áreas vedadas para suavizar o acabamento, garantindo que a composteira tivesse uma superfície uniforme e estivesse pronta para ser utilizada. Este cuidado não só prolonga a vida útil do material, como também melhora a aparência final, proporcionando um aspecto mais sofisticado ao produto. Um acabamento adequado estabelece um ambiente adequado para a compostagem, estimulando a circulação de ar e a decomposição dos detritos. Isso leva a um composto rico e vantajoso para o solo, incentivando um ciclo de nutrientes equilibrado. O cuidado com os detalhes neste estágio do processo aumenta consideravelmente a eficiência da composteira, assegurando que ela satisfaça as demandas de quem procura uma alternativa sustentável para o reaproveitamento de resíduos orgânicos.

Figura 14 - Caixa montada.

Fonte: Autoria própria.

5.3 PROCESSO DE AUTOMAÇÃO E INSTALAÇÃO DOS COMPONENTES

O processo de automação do sistema de compostagem foi desenvolvido com o objetivo de melhorar as condições ambientais para a perda dos resíduos orgânicos, garantindo maior eficiência e controle preciso de todas as variáveis dentro da composteira. Esse sistema conta com sensores de umidade, temperatura e pH, além de atuadores, todos controlados por um microcontrolador ESP32. O ESP32 foi programado para monitorar continuamente as condições de temperatura, umidade e acidez do composto e acionar os dispositivos de

correção sempre que necessário, proporcionando um ambiente ideal para o processo de preparação e facilitando o trabalho dos microrganismos responsáveis pela transformação dos resíduos em composto.

A pá rotativa, instalada no interior da composteira, é responsável por realizar a aeração e a mistura dos resíduos orgânicos, promovendo uma distribuição uniforme de temperatura, umidade e pH. Essa aeração é fundamental para facilitar a despesa, pois aumenta a disponibilidade de oxigênio, essencial para o metabolismo dos microrganismos decompositores. O sensor de temperatura, integrado ao sistema e conectado ao ESP32, monitora constantemente a temperatura interna da composteira. Sempre que a temperatura ultrapassar 50°C, o microcontrolador aciona automaticamente a pá rotativa, promovendo a movimentação do material orgânico para dissipar o excesso de calor e evitar o superaquecimento, que poderia comprometer a atividade dos microrganismos.

A mini bomba d'água, instalada na parte externa da composteira, tem a função de manter a umidade dos resíduos orgânicos em níveis adequados. O sensor de umidade mede continuamente o teor de água no composto, e, caso ele caia abaixo de 30%, o ESP32 aciona a bomba d'água, irrigando o material orgânico para restaurar a umidade ideal. Esse controle é fundamental, pois um ambiente calmo e seco pode reduzir a atividade microbiana, atrasando o processo de preparação e comprometendo a qualidade do adubo.

Além disso, o sistema inclui um sensor de pH, que monitora a acidez do composto. A faixa de pH ideal é fundamental para o equilíbrio microbiano e a qualidade do produto final. Caso o pH esteja fora dos valores ideais, seja por excesso de acidez ou alcalinidade, o ESP32 envia um alerta ao usuário para que ele possa fazer ajustes, como a adição de materiais neutralizantes, de acordo com as necessidades de correção do pH. Esses ajustes de pH são essenciais para evitar condições extremas que poderiam comprometer o desenvolvimento de microrganismos e, consequentemente, a eficiência do produto final.

5.3.1 REVIRADA E IRRIGAÇÃO

O processo inicial de desenvolvimento do protótipo teve como etapa primordial a instalação do motor destinada à revirada do material orgânico, cuja função principal é melhorar e acelerar a formação do composto orgânico. Essa ação contribui para a correção de parâmetros essenciais, como umidade, temperatura e níveis de oxigênio. O conjunto motor e

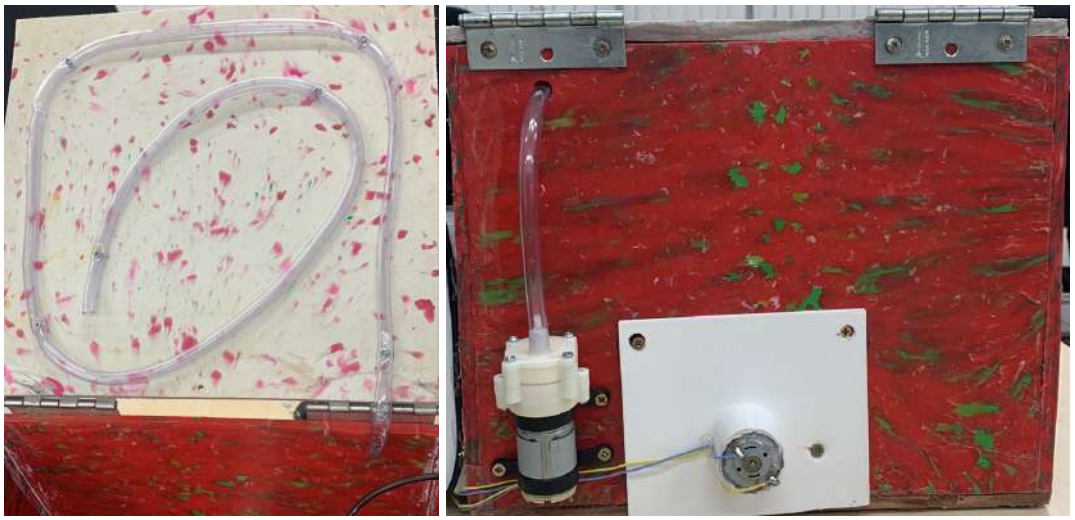
pá foi estrategicamente posicionado na parte posterior da caixa, garantindo uma abrangência eficiente sobre a matéria orgânica, de modo a potencializar o desempenho do sistema.

Figura 15 - Sistema de aeração.

Fonte: Autoria própria.

Na sequência, foi implementado um sistema hídrico, composto por mini bomba d'água, uma mangueira e um reservatório de água. A mangueira foi posicionada na parte superior da estrutura (tampa), permitindo que a água seja distribuída sobre o composto. O fluxo inicia nos terminais da bomba d'água, conectado ao reservatório, sendo controlado pelo microcontrolador ESP32. Quando a umidade do composto é bloqueada abaixo de 30%, o relé é acionado automaticamente, permitindo o gotejamento controlado do líquido, garantindo a manutenção das condições ideais para o processo de compostagem.

Figura 16 - Sistema de irrigação.



Fonte: Autoria própria.

5.4 ESTUDO DE CÓDIGO PARA PROGRAMAÇÃO EM MICROCONTROLADORES.

Um microcontrolador é basicamente um pequeno computador em um único circuito integrado. Assim como um computador convencional, possui um núcleo de processador, memória e interfaces de entrada e saída. Podem ser programados quantas vezes for necessário, bastando gravar um novo programa no chip.” (Endler, p. 6). Dentre os vários tipos de microcontrolador os mais utilizados são o arduino e ESP32, o presente projeto foi utilizado o ESP32, que utiliza a mesma linguagem de programação que o arduino.

Em primeira análise, foi realizado um estudo sobre programação de microcontroladores arduino, com o professor Dr. Bruno Vitorino, no qual desenvolvemos práticas básicas sobre o funcionamento da programação. A Partir disso, conseguimos evoluir e aprimorar os conhecimentos para aplicar no projeto a ser realizado, ou seja, monitorar, mediante a sensores integrados ao ESP32, o processo de compostagem.

5.4.1 CÓDIGO USADO NO ESP32

O código lê os sensores de temperatura DS18B20, sensor de umidade se solo capacitivo e sensor de pH ph4502c enviando comandos para controlar os atuadores, que por sua vez, tem o objetivo de influenciar nos parâmetros que possibilita a criação do composto. Além disso, ele foi programado para operar em conjunto com o protocolo MQTT, viabilizando a comunicação e transferência dos dados de maneira remota. O programa utilizado para execução do código foi a Arduino IDE (*Integrated Development Environment*), usada para escrita e upload de código em placas compatíveis com Arduino, ou seja, o ESP32.
O código inicia com as bibliotecas inseridas que serão utilizadas no projeto. Isso inclui bibliotecas para aquisição de dados dos sensores *(OneWire.h)*, para manusear o sensor de temperatura DS18B20 *(DallasTemperature.h)*, interface para controlar motores de passo *(Stepper.h)*, possibilidade de conexão wifi *(Wifi.h)* e a biblioteca que faz suporte com o protocolo MQTT permitindo a comunicação *(PubsubClient.h)* **(figura 17).**

Figura 17 - Bibliotecas do Arduino IDE.

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <Stepper.h>
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
```

Fonte: Autoria própria.

Os sensores precisam ser ligados ao microcontrolador, para isso acontecer são necessárias especificações dos pinos de conexão para fornecer essa comunicação. Nessa conjuntura, o sensor de temperatura utilizado tem como protocolo de comunicação o *ONE_WIRE_BUS*, que por sua vez está conectado ao pino 12 do ESP32, significando que a leitura dos dados são feitas através deste pino. O relé *MOTOR_RELAY_PIN* é conectado no pino 27, que tem por função controlar o circuito ligado à ele, ou seja, comandar o motor responsável pelo processo de retirada do composto, já o *PUMP_RELAY_PIN* está configurado no pino 26 que diz respeito ao funcionamento e acionamento da mini bombinha d'agua. O *PH_SENSOR_PIN* é o mediador para a leitura da acidez ou alcalinidade do composto, que está conectado ao pino 34. *SOLL_MIOISTURE_PIN* é o endereço que mede a umidade do solo, o pino 35 é configurado para conectar ao sensor. Como mostra **a figura 18.**

Figura 18 - Definição das conexões dos pinos dos sensores.

```
// Defina os pinos
#define ONE_WIRE_BUS 12    // Pino de dados do sensor DS18B20
#define MOTOR_RELAY_PIN 27 // Pino de controle do relé para o motor
#define PUMP_RELAY_PIN 26  // Pino de controle do relé para a bomba (bobina)
#define PH_SENSOR_PIN 34   // Pino analógico para o sensor de pH
#define SOIL_MOISTURE_PIN 35 // Pino analógico para o sensor de umidade do solo
```

Fonte: Autoria própria.

OneWire(ONE_WIRE_BUS) e *DallasTemperature sensors(&oneWire)*, São bibliotecas arduinos encarregadas por facilitar a interação de dispositivos e sensores com microcontrolador ESP32. A comunicação para a configuração com a internet das coisas, ou o software desenvolvido configura-se a rede Wi-Fi e também inicializa a conexão MQTT,

const char ssid e const char password são as identidades para a rede Wi-Fi. *const char mqtt_server* é o endereço do servidor MQTT. *O WiFiClient espClient* e *PubSubClient client(espClient)* chama as bibliotecas adicionadas ao ESP32, criando essa instância o microcontrolador consegue se comunicar com a rede.

Figura 19 - Endereço do servidor do MQTT e conexão WIFI.

```
// Crie instâncias dos objetos para o sensor de temperatura
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

// Defina os parâmetros de rede Wi-Fi e MQTT
const char* ssid = "wIFRN-IoT";
const char* password = "deviceiotifrn";
const char* mqttServer = "10.44.1.35";


WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
```

Fonte: Autoria própria.

A função void setup inicia a comunicação de fato com os sensores *sesors.begin* o que é crucial para a leitura das informações apresentadas por eles. Em seguida, são configurados os pinos dos relés como saída e definindo o estado inicial deles, determina como LOW inicialmente os relés adicionados estão desligados. O código tenta conectar o microcontrolador à rede wifi indicado a cada meio segundo que está tentando a conexão. Posteriormente ele configura o MQTT ao servidor especificado pelo endereço IP *mqttServer*, estabelecendo a possibilidade de envio e recebimento de informações.

Figura 20 - Função setup de inicialização, comunicação serial e verificação de acesso.

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  sensors.begin();

  pinMode(MOTOR_RELAY_PIN, OUTPUT);
  pinMode(PUMP_RELAY_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(MOTOR_RELAY_PIN, LOW); // Inicialmente o relé do motor está desligado
  digitalWrite(PUMP_RELAY_PIN, LOW);  // Inicialmente o relé da bomba está desligado

  // Conecte ao Wi-Fi
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("Conectado ao Wi-Fi");

  // Configure o cliente MQTT
  client.setServer(mqttServer);
  reconnectMQTT();
}
```

Fonte: Autoria própria.

O *reconnectMQTT* Tem por função a reconexão com do cliente com o MQTT, o que é fundamental para que o servidor permaneça ativo viabilizando a transferência de informação sobre o composto durante o dia a dia. Garante que o código dentro do loop seja executado repetidamente até que a conexão com o servidor MQTT seja estabelecida com sucesso.

Figura 21 - Conexão com o cliente MQTT

```
void reconnectMQTT() {
  while (!client.connected()) {
    Serial.print("Tentando conectar ao MQTT...");
    if (client.connect("ESP1232Client")) {
      Serial.println("Conectado ao MQTT");
    } else {
      Serial.print("Falha, rc=");
      Serial.print(client.state());
      Serial.println(" Tente novamente em 5 segundos");
      delay(5000);
    }
  }
}
```

Fonte: Autoria própria.

A função *Loop* é executada continuamente, que, por sua vez, tem a finalidade de fazer a leitura dos dados arrecadados pelos sensores, publicando-os nos tópicos do MQTT e também para que seja possível controlar os relés a partir das leituras feitas pelos sensores que estão presentes no circuito. Isso posto, Inicialmente têm-se a verificação com a conexão do MQTT, pois, caso essa conexão seja perdida a função *reconnectMQTT* fará uma nova reconexão. Após isso, o ESP32 realiza a leitura dos sensores, a função *sensors.requestTemperatures* permite que os sensores de temperatura conectados enviem seus dados e armazenem em variáveis. A leitura dos sensores de umidade é conduzida pelo *analogRead(SOIL_MOISTURE_PIN)* esse valor é convertido em porcentagem de umidade indicando uma faixa de valores entre 100% e 0%. O valor de pH fornecido é transformado em uma tensão analógica por via do *analogRead(PH_SENSOR_PIN)*. Em seguida, com a coleta de dados feita ocorre a transferências desses parâmetros mediante o servidor MQTT, como também o código decide se os relés serão acionados ou não, por exemplo caso a temperatura ultrapasse 50°C ou a umidade do solo cair abaixo de 40%, os relés para o motor e a bomba são acionados, caso contrário, os relés são desativados.

Figura 22 - Void loop do código.

```
if (temperatura >= 50) {
  digitalWrite(PINO_RELE1, LOW); // Liga o relé 1 (ativo em LOW)
  Serial.println("Relé 1 acionado devido à temperatura alta.");
} else {
  digitalWrite(PINO_RELE1, HIGH); // Desliga o relé 1
}

if (umidade <= 20) {
  digitalWrite(PINO_RELE2, LOW); // Liga o relé 2 (ativo em LOW)
  Serial.println("Relé 2 acionado devido à baixa umidade.");
} else {
  digitalWrite(PINO_RELE2, HIGH); // Desliga o relé 2
}
```

Fonte: Autoria própria.

Figura 23 - Continuação void loop do código.

```
  // Enviar os valores via MQTT em tópicos separados
  client.publish("sensor/temperature", String(temperature).c_str());
  client.publish("sensor/soilMoisture", String(soilMoisturePercent).c_str());
  client.publish("sensor/ph", String(voltage).c_str());

  // Controle dos relés
  if (temperature > 50 || soilMoisturePercent < 40) {
    digitalWrite(MOTOR_RELAY_PIN, HIGH); // Liga o relé do motor
    digitalWrite(PUMP_RELAY_PIN, HIGH);  // Liga o relé da bomba
  } else {
    digitalWrite(MOTOR_RELAY_PIN, LOW);  // Desliga o relé do motor
    digitalWrite(PUMP_RELAY_PIN, LOW);   // Desliga o relé da bomba
  }

  delay(2000);
}
```

Fonte: Autoria própria.

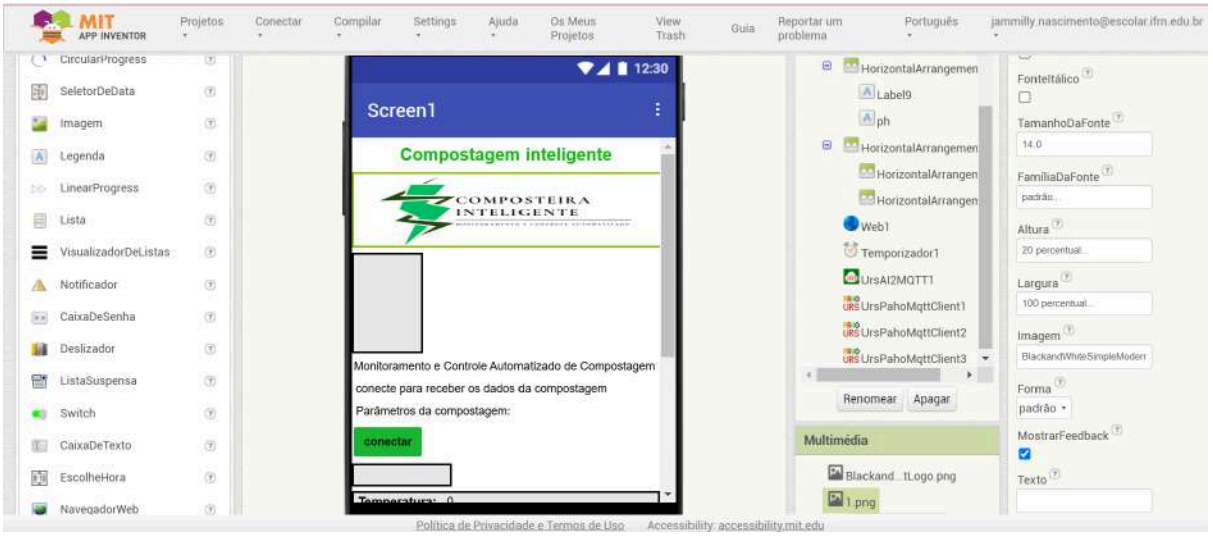
5.4.2 ESTUDO SOBRE O MIT APP INVENTOR

A Internet das Coisas é um paradigma que vem ganhando espaço rapidamente no cenário moderno das telecomunicações wireless, segundo ATZORI, IERA e MORABITO (2010). A ideia consiste em poder conectar uma variedade de objetos (sensores, tags RFID, smartphones, computadores, e até objetos de uso mais comum) entre si. Estes objetos geram um fluxo de dados e a conexão permite que eles transmitam estes dados para outros objetos no meio, formando assim uma Internet de coisas. (Martins e Zem, 2015, p. 65).

O MIT APP INVENTOR é uma plataforma online gratuita disponibilizada inicialmente pelo Google, em meados de 2012. Sua proposta foi a criação de uma ferramenta gráfica que possibilitasse a criação de aplicativos por meio de programação em blocos, tempo depois, o MIT tornou-se responsável pelo funcionamento do sistema. Acessível a diferentes faixas etárias, a fim de tornar possível o desenvolvimento de aplicativos para smartphones que contassem com o sistema operacional android, exclusivamente. (Moreira, p. 28). É conhecido por sua fácil linguagem de programação mediante a blocos, o que torna o processo mais intuitivo, especialmente para iniciantes. Para utilizar o APP INVENTOR inicialmente é necessário fazer o login, por meio de uma conta gmail, após isso, pode realizar o processo de criação do aplicativo. A análise do aplicativo deve ser pensada antes de pôr em prática, para observar os dados necessários para começar a programar. Nessa ótica, primeiramente, têm-se

a interface do app, o qual é adicionado aspectos referentes aos que vão ser monitorados na composteira, ou seja, espaço para os valores dos sensores de temperatura, umidade e pH.

Figura 24 - Primeira interface do aplicativo.



Fonte: MIT APP inventor.

Figura 25 - Segunda interface do aplicativo desenvolvido.

Fonte: MIT APP inventor.

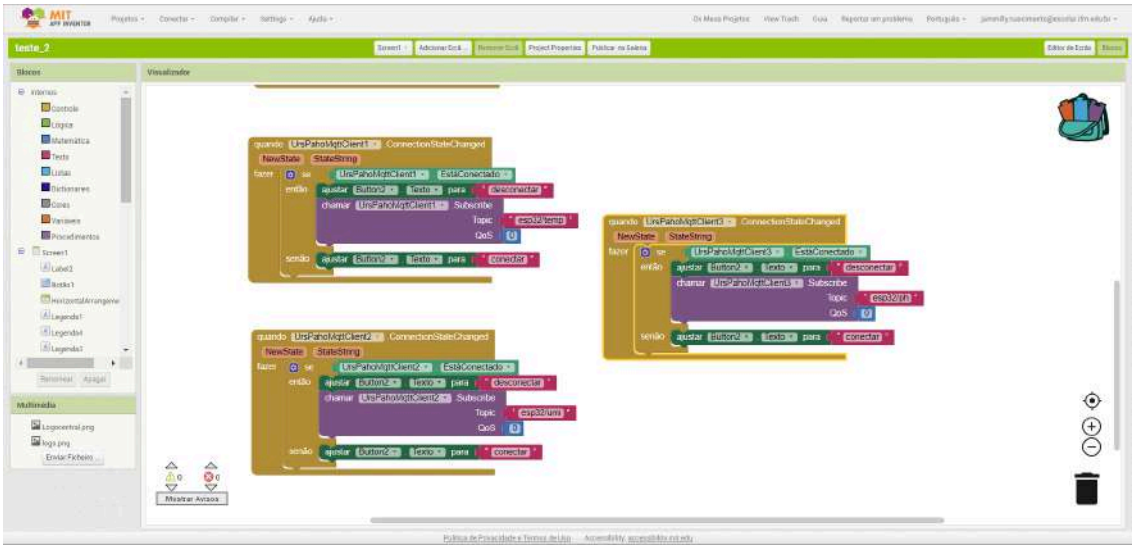
Iniciando um protocolo de comunicação com ESP32 (microcontrolador utilizado), intala-se uma biblioteca para acionar o protocolo MQTT, que, por sua vez , trata-se de um protocolo de mensagens baseado na arquitetura publish/subscribe, voltado para dispositivos restritos e redes inseguras, com baixa largura de banda e alta latência. Segundo a página Web

do projeto7, os princípios do design são minimizar os requerimentos de recursos de dispositivo e de largura de banda tentando garantir confiabilidade e garantia de entrega (Martins e Zem, 2015, p. 72). Nesse contexto, o MQTT, foi utilizado para possibilitar a comunicação com o ESP32, que está diretamente conectado aos sensores presentes na compostagem, a visualização desses dados é feita, por via da programação inserida a partir do encaixe de blocos como mostra a imagem (imagem da programação dos códigos). Além disso, Vale ressaltar que o MIT permite a conexão com microcontroladores (ESP32, por exemplo), para que possa ser realizada a transferência dos dados analisados.

Figura 26 - Programação em blocos do aplicativo desenvolvido.

Fonte: MIT APP inventor.

Figura 27 - Continuação da programação em blocos do aplicativo desenvolvido.



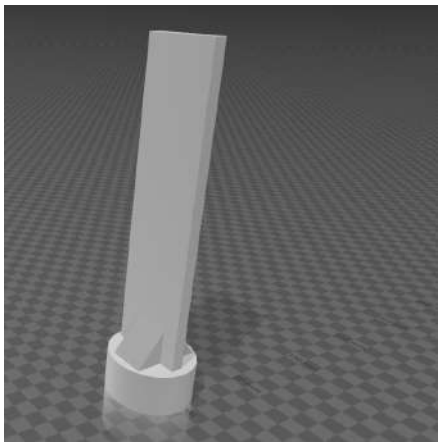
Fonte: MIT APP inventor.

6. MODELAGEM 3D PÁ ROTATIVAS

Uma modelagem tridimensional (3D) foi utilizada neste projeto para o desenvolvimento e fabricação da pá rotativa, componente essencial responsável pelo revolvimento do composto orgânico na composteira. O objetivo foi implementar uma solução de baixo custo, utilizando métodos fáceis, que permitem a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos sobre o processo de compostagem. O revolvimento adequado do composto é crucial para garantir uma aeração eficiente, promovendo um consumo mais rápido e transparente dos materiais.

Para a modelagem da pá, foi utilizado o software Tinkercad, uma plataforma online gratuita de modelagem 3D, que opera diretamente em navegadores da web. O Tinkercad foi escolhido devido à sua simplicidade e facilidade de uso, características que o tornam uma ferramenta acessível para prototipagem rápida e desenvolvimento de projetos educacionais. As estruturas da pá foram projetadas de forma a maximizar sua funcionalidade, respeitando as limitações de custo e viabilidade técnica do projeto, o que resultou em uma solução eficaz e econômica para a automação do processo de compostagem.

Figura 28 - Pá rotativa.

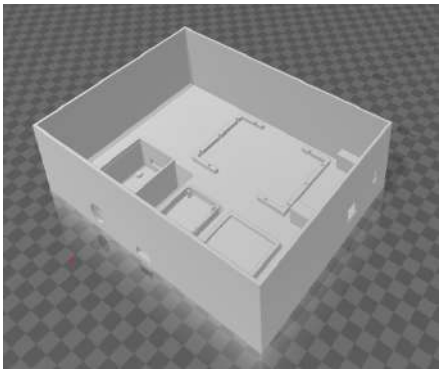


Fonte: Tinkercad.

Além disso, o uso do software Tinkercad permitiu a visualização e manipulação detalhada de elementos geométricos, facilitando o design preciso dos componentes do projeto. Com o auxílio do software Ultimaker Cura, uma plataforma de fatiamento de código aberto para impressoras 3D, foi possível configurar os parâmetros técnicos necessários para o

processo de impressão 3D. Esse processo incluiu a definição de detalhes como a altura das camadas, a densidade de preenchimento e a inclusão de suportes, garantindo a fabricação adequada dos dois modelos de caixas específicas para abrigar os componentes eletrônicos do sistema.

Figura 29 - Modelo 3D da caixa interna para conter o sistema central dos componentes da composteira.



Fonte: Tinkercad

7. ESTIMATIVA DE CUSTO

A tabela a seguir apresenta o detalhamento dos custos relacionados aos materiais utilizados para a montagem da composteira, bem como as estimativas de gastos com a compra de insumos e a realização de impressões

Tabela 4 - Tabela de custos.

Tabela de custos			
Componentes	**Preço 1**	**Preço 2**	**Preço 3**
ESP32	R$ 40,10	R$ 49,90	R$ 74,99
Motor DC	R$ 17,56	R$ 21,78	R$ 38,00
Mini bomba d`água	R$ 30,90	R$ 31,41	R$ 23,99
Módulo Relé	R$ 11,99	R$ 8,99	R$ 21,26
Sensor DS18B20	R$ 22,00	R$ 15,70	R$ 32,43
Sensor LM393	R$ 17,90	R$ 16,49	R$ 12,86
Sensor PH 4502	R$ 229,65	R$ 198,90	R$ 219,00
Total	**370,10**	**343,17**	**422,53**

Fonte: Autoria própria.

8. TESTES PRÁTICOS

Após o desenvolvimento completo do sistema, conforme apresentado na Figura 10, foram realizados testes sistemáticos durante o processo de montagem para avaliar o desempenho dos sensores, bem como a eficácia na coleta e processamento dos dados. Essa etapa foi essencial para validar o funcionamento do sistema de forma integrada.

Durante a montagem, alguns desafios foram identificados, especialmente no desempenho inicial dos sensores, que em certos momentos não operaram de maneira satisfatória. Esses problemas incluíram respostas inconsistentes, falhas nas ligações da soldagem e limitações na precisão das leituras. Além disso, apareceram alguns problemas de conexão com a rede internet, o qual prejudicou o envio dos dados do processo de compostagem ao protocolo MQTT.

Para resolver essas questões, foram programados ajustes técnicos nos sensores e em seus circuitos de suporte, além de otimizações nos algoritmos de leitura e processamento. Após essas intervenções, os sensores apresentaram uma melhoria significativa em seu desempenho, com respostas resultantes e resultados confiáveis. Ademais, novas soldas foram feitas para ajustar corretamente a continuidade dos fios e possibilitar conexões precisas. Para a melhoria do envio dos dados ao MQTT, foi implementado melhorias no código analisando as possíveis falhas na conexão, essa aprimoração foi realizada após uma pequena modificação no código, possibilitando a reconexão automática do ESP 32 ao MQTT. Essa evolução foi confirmada por meio de novos testes, que revelaram a eficácia das alterações.

Por fim, o processo de validação declara que o sistema, já em sua configuração final, atende aos requisitos de desempenho e confiabilidade estabelecidos no projeto para a produção de um adubo de qualidade.

Tabela 5 - Problemas identificados, ações corretivas e resultados.

Problemas identificados	Ações implementadas	Resultados obtidos
Desempenho inicial insatisfatório dos sensores.	Realizados ajustes técnicos nos sensores e seus circuitos de suporte.	Melhoria significativa e leitura consistente dos dados.
Falhas nas ligações de soldagem.	Realização de novas soldas e teste de continuidade dos fios.	Melhores conexões.
Problemas de conexão com a rede internet, prejudicou o envio de dados ao protocolo MQTT.	Análise das falhas e implementação de melhorias no código.	Precisão das leituras dos fatores da compostagem em tempo real.

Fonte: Autoria própria.

8.1 Análise de valores referência para os sensores

Tabela 6 - Valores de referência para os sensores.

Fase	Temperatura (°C)	Humidade (%)	pH
Mesófila (2 meses)	35 a 40	50	7
Termófila (2 meses)	50	50	7
Maturação (Fase final)	Temperatura ambiente (25 a 30)	50	7

Fonte: Circular técnica.

8.2 Análise de valores obtidos

Tabela 7 - Valores obtidos.

Fase	Temperatura em uma semana (°C)	Umidade em uma semana (%)	pH em uma semana
Termófila (2 meses)	29.69	46.00	6.55
Mesófila (2 meses)	-	-	-
Maturação (Fase final)	-	-	-

Fonte: Autoria própria.

9. CONCLUSÃO

O projeto alcançou resultados significativos e demonstrou um ótimo desempenho, atendendo aos objetivos inicialmente propostos. Embora tenham surgido desafios, como dificuldades na gestão do tempo devido a greve e problemas durante a instalação dos componentes do circuito, foi possível concluir o protótipo. Esse protótipo, por sua vez, apresenta grande potencial para melhorias futuras, incluindo a otimização do aplicativo, o aprimoramento dos componentes físicos e o refinamento do código, de forma a garantir o pleno funcionamento do sistema e possibilitar uma análise mais detalhada e eficiente das parâmetros da compostagem.

O aplicativo desenvolvido para o sistema Android desempenha um papel central no projeto, ao registrar em tempo real os fatores físicos e químicos do composto, como temperatura, umidade e pH. Ele exibe essas informações de forma precisa e acessível, cumprindo com eficiência sua função principal. Apesar de uma primeira versão já ser funcional e produtiva, futuras atualizações poderão incluir novas funcionalidades que ampliem sua utilidade, como melhorias na interface do usuário e integração com sistemas de automação.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o trabalho foi bem sucedido e contribuiu significativamente para o aprendizado e a prática na área de Eletromecânica ao longo do curso técnico integrado ao ensino médio. A concepção, desenvolvimento e aprimoramento deste projeto demonstram a importância de tecnologias aplicadas ao monitoramento ambiental. A utilização de sensores para medir e monitorar a temperatura, umidade e pH no processo de compostagem não apenas promove uma gestão mais eficiente e precisa do composto, mas também incentiva práticas sustentáveis, como o reaproveitamento de restos de alimentos.

Esse sistema tem o potencial de beneficiar residências, restaurantes, escolas e outros estabelecimentos, simplificando o desperdício de alimentos que seriam descartados e promovendo a produção de um adubo de qualidade para uso em hortas, jardins e agricultura urbana. Dessa forma, o projeto não apenas contribui para o avanço tecnológico, mas também reforça a importância da sustentabilidade, unindo inovação e desenvolvimento sustentável.

11. REFERÊNCIAS

ANALOG DEVICES. DS18B20: Digital Thermometer. Data Sheet. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS18B20.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2024.

AUTOCORE ROBÓTICA. Devkit ESP32 com Ethernet WT32-ETH01. Disponível em: https://www.autocorerobotica.com.br/devkit-esp32-com-ethernet-wt32-eth01. Acesso em: 26 nov. 2024.
Ricard

BARREIRA, Luciana Pranzetti; PHILIPPI JUNIOR, Arlindo; RODRIGUES, Mario Sergio. Usinas de compostagem do Estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 11, p. 385-393, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/wgpsZMg3xhv3SKkzpNBHwPd/>. Acesso em: 17 jun. 2024.

CARDOSO, Matheus. O Que É Um Microcontrolador?. IEEE RAS UFCG, 2020. Disponível em: <https://edu.ieee.org/br-ufcgras/o-que-e-um-microcontrolador/>. Acesso em 26 nov. 2024.

CARLESSO, W. M.; RIBEIRO, R.; HOEHNE, L. TRATAMENTO DE RESÍDUOS A PARTIR DE COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM. Revista Destaques Acadêmicos, v. 3, n. 4, 9 jan. 2012.

CORREIA, G. R.; ROCHA, H. R. DE O.; RISSINO, S. DAS D. AUTOMAÇÃO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO COM MONITORAMENTO VIA APLICATIVO WEB. Revista Engenharia na Agricultura - REVENG, v. 24, n. 4, p. 314–325, 11 out. 2016.

COSTA, M. S. S. DE M. et al. Desempenho de quatro sistemas para compostagem de carcaça de aves. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, p. 692–698, set. 2006.

CURVELLO, André. ESP32 – Um grande aliado para o Maker IoT. MakerHero, 2018. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/esp32-um-grande-aliado-para-o-maker-iot/>. Acesso em 26 nov. 2024.

CRQ - Conselho Regional de Química IV Região. Microbiologia de Alimentos. 2008. Disponível em:

<https://www.crq4.org.br/sms/files/file/microbiologia2_alimentos_2008.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

DA SILVA, Rogério Oliveira; ARAUJO, Warley Monteiro; CAVALCANTE, Maxwell Machado. Visão geral sobre microcontroladores e prototipagem com Arduino. Tecnologias em Projeção, v. 10, n. 1, p. 36-46, 2019. Disponível em: <https://revista.projecao.br/index.php/Projecao4/article/view/1357>. Acesso em 26 nov. 2024.

DIETA ALCALINA. Tabela de pH dos Alimentos. Disponível em: <https://dietaalcalina.biz/tabela-de-ph-dos-alimentos/>. Acesso em: 13 set. 2024.

FERNANDES, Rogério. Desenvolvimento de Sistema de Irrigação Automatizado Utilizando Arduino. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) - Centro Universitário Internacional UNINTER, Castanhal, PA, 2022. Disponível em: <https://repositorio.uninter.com/bitstream/handle/1/1311/2144827%20TCC%20Rog%C3%A9rio%20Fernandes%20-%20CASTANHAL%20-%20PA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 out. 2023.

FRANÇA, Gabriela Thaise de Medeiros. Compostagem como uma ferramenta de gerenciamento de resíduos orgânicos em escolas de ensino fundamental. 2024. Dissertação (Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2024.

HECK, K. et al. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, p. 54–59, jan. 2013.

LAFRATTA, Jacqueline Mazini. Aplicabilidade do conceito de internet das coisas em um sistema de compostagem. 2022. 1 recurso online (109 p.) Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, Limeira, SP. Disponível em: https://hdl.handle.net/20.500.12733/3495. Acesso em: 18 out. 2023.

LIMA, G. A. A. DE; DIAS, C. A. C.; LIMA, A. H. L. E. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos como tema incentivador de educação ambiental. Scientia Plena, v. 12, n. 6, 27 maio 2016.

LIMA, R. DOS S. DE S. Compostagem associada a automação: uma análise das potencialidades e resultados das duas técnicas aplicada em uma horta experimental no campus de Picos. 2022.

MAKERHERO. Relé: O que é, como funciona e como usar. *MakerHero*, 2024. Disponível em: https://www.makerhero.com/guia/componentes-eletronicos/rele/?srsltid=AfmBOopD6vzxzWFe0fTfQcy6-nCwCFuTeHPXkM_P2lm6ZKvqxUGr4aYv. Acesso em: 26 nov. 2024.

MERCADO LIVRE. Mini bomba de água 12V RS-385 pulverização para Arduino. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-5002881146-mini-bomba-de-agua-12v-rs-385-pulverizaco-para-arduino-_JM. Acesso em: 26 nov. 2024.

MERCADO LIVRE. Módulo relé 1 canal 5V interface para Arduino, PIC e Raspberry. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1343990873-modulo-rele-1-canal-5v-interface-para-arduino-pic-raspberry-_JM. Acesso em: 26 nov. 2024.

MERCADO LIVRE. Resistor 1k para ligar LED em 12V - Pacote com 100 unidades. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1750295815-resistor-1k-para-ligar-led-em-12v-pacote-100-unidades-_JM. Acesso em: 26 nov. 2024.

MERCADO LIVRE. Sensor de umidade do solo módulo sonda higrômetro. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1421655261-sensor-de-umidade-do-solo-modulo-sonda-higrmetro-_JM. Acesso em: 26 nov. 2024.

MERCADO LIVRE. Sensor PH módulo de leitura PH 4502C eletrodo sonda BNC. Disponível em:

https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3653757443-sensor-ph-modulo-de-leitura-ph-4502c-eletrodo-sonda-bnc-_JM. Acesso em: 26 nov. 2024.

MICHELS, Roger Nabeyama; BERTOZZI, Janksyn; HASHIMOTO, Elizabeth Mie; TAIATELE JUNIOR, Ivan; DAL BOSCO, Tatiane Cristina. Importância da automação e da estatística no processo de compostagem. In: Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas. São Paulo: Blucher, 2017, p. 241-254. Disponível em: <https://openaccess.blucher.com.br/article-details/importancia-da-automacao-20328/>. Acesso em: 18 out. 2023.

MOTOR DC. *Blog pessoal de IST*, 14 dez. 2016. Disponível em: http://web.tecnico.ulisboa.pt/~ist186955/wordpress/2016/12/14/162/. Acesso em: 04 dez. 2024.

OLIVEIRA, A. M. G.; AQUINO, A. M. DE; CASTRO NETO, M. T. Compostagem caseira de lixo orgânico doméstico. 2005.

PAIVA, Ed Carlo Rosa et al. Comportamento do pH e da temperatura do material durante a compostagem de carcaça de frango com diferentes materiais orgânicos. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/45206595/III-003.pdf>. Acesso em: 18 out. 2023.

PEDROSA, T. D. et al. MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS. Nativa, v. 1, n. 1, p. 44–48, 15 nov. 2013.

PIRES, I. C. G.; FERRÃO, G. DA E. Compostagem no Brasil sob a perspectiva da legislação ambiental. Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas, v. 9, n. 01, 15 mar. 2017.

RESÍDUOS DO NORDESTE. Guia de Compostagem. 2023. Disponível em: <https://residuosdonordeste.pt/wp-content/uploads/2023/11/GUIA_COMPOSTAGEM_5d78c369165a0.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

ROBOCORE. Sensor de Temperatura DS18B20 à prova d'água. Disponível em: https://www.robocore.net/sensor-ambiente/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-de-agua. Acesso em: 26 nov. 2024.

SANTOS, A. DA S. Horta, compostagem e programação: uma proposta interdisciplinar trabalhada no curso de licenciatura em Química no campus de Picos. 2022.

SANTOS, H. M. N. DOS. Educação ambiental por meio da compostagem de resíduos sólidos orgânicos em escolas públicas de Araguari. 28 fev. 2007.

SILVA, J. R. DA. Automação do processo de compostagem: uso de sensores para monitoramento e controle de parâmetros de um processo sustentável. 18 set. 2019.

USINAINF. Sensor de pH Arduino: como calibrar e configurar. *Usinainfo*, 2024. Disponível em: https://www.usinainfo.com.br/blog/sensor-de-ph-arduino-como-calibrar-e-configurar/?srsltid=AfmBOopXRFD_3fn3A55sFT7s8XKLPnRrX9GhrBCJODf95bwVmigiy0x3. Acesso em: 26 nov.. 2024.

VALENTE, B. S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. Archivos de Zootecnia, v. 58, n. 224, p. 59–85, 2009.

WAGNER, Brunah. Desenvolvimento de um Sistema de Irrigação Automatizado Utilizando Sensores de Umidade e Temperatura. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/3386/1/CT_PPGEC_M_Wagner%2c%20Brunah_2018.pdf>. Acesso em: 18 out. 2023.