

Uma Solução com Arduino para Controlar e Monitorar a Compostagem de Resíduos Agrícolas e Agropecuários.

Flavio Henrique Alves Agrizzi (Faculdades Integradas Espírito-Santenses) flavioagrizzi@gmail.com

Luan Diego de Lima Pereira (Universidade Federal do Espírito Santo) luamdiego@hotmail.com

Adan Lucio Pereira (Universidade Federal do Espírito Santo) adanlucio@gmail.com

Resumo:

O aproveitamento dos resíduos agrícolas, industriais, urbanos e florestais pode ser realizado através de um processamento simples denominado compostagem, em pequena, média e grande escala desde que não causem distúrbios ao meio ambiente e a saúde pública. Inserindo-se nesse contexto o presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema microcontrolado para medição e aquisição da temperatura e da umidade na compostagem, parâmetros viabilizadores do sucesso do processo, por meio da utilização de sensores integrados e contando ainda com comunicação com um microcomputador.

Palavras chave: Compostagem, Umidade, Temperatura

An Arduino Solution to Control and Monitor Composting of Agricultural and Agricultural Wastes

Abstract

The use of agricultural, industrial, urban and forest residues can be achieved through a simple processing called composting on a small, moderate or large scale, providing they do not cause disturbances to the environment and public health. Inserting in this context the present work presents the development of a microcontrolled system for measurement and acquisition of temperature and humidity in composting, parameters for the success of the process, through the use of integrated sensors and also having communication with a microcomputer.

Keywords: composting, moisture, temperature.

1. Introdução

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída pela Lei nº 12.305/10 (BRASIL, 2010), que determinou uma série de mecanismos e estratégias com objetivo de alterar a situação dos impactos provocados pelos resíduos sólidos e seu mal gerenciamento, observando também a hierarquia na gestão desses resíduos, os métodos de redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e ainda, a disposição final devidamente adequada dos rejeitos produzidos por atividades humanas.

De maneira geral, as diversas atividades agrícolas e agropecuárias podem produzir volumes preocupantes de resíduos, como restos de culturas, palhas e resíduos agroindustriais, além de dejetos de animais, os quais, provocam sérios problemas de poluição. Grande parte desses resíduos são perdidos por não serem coletados e reciclados, ou ainda, serem destruídos pelas

queimadas. Entretanto, quando são manipulados adequadamente, podem suprir aos sistemas agrícolas, boa parte da demanda de insumos sem afetar os recursos do solo e do ambiente (OLIVEIRA et al., 2004; BETTENCOURT et al., 2016)

Este processo de manipulação de resíduos pode ser denominado como compostagem, que consiste em linhas gerais, na transformação da matéria orgânica grosseira em material utilizável na agricultura, o composto orgânico. Este composto é resultado da degradação biológica sob condições controladas, como é ilustrado por meio da Figura 1.



Figura 1 – Compostagem de Resíduos Orgânicos

Contudo, a inexistência de um critério formal de controle de alguns fatores que determinam o sucesso deste processo como temperatura, umidade, oxigenação, concentração de nutriente entre outros, poderá ocasionar algumas consequências indesejadas como a geração de *chorume*, a emanção de odores fétidos, a atração de moscas, mosquitos, baratas, ratos etc.; o desenvolvimento de reações anaeróbias, podendo ocasionar a paralisação metabólica do processo de compostagem e, conseqüentemente, à produção de composto orgânico de péssima qualidade (MORALES et al., 2017)

Inserindo-se nesta problemática, o presente trabalho se propõe em apresentar um mecanismo flexível e de baixo custo que auxilie em monitorar processos de compostagem controlados através do *hardware* Arduino conectado a uma interface gráfica. Assim, este sistema deverá monitorar a temperatura e a umidade do processo de compostagem reduzindo os impactos negativos como a produção de odores indesejáveis, atração de vetores e *chorume*. Além de indicar a ocorrência de possíveis incêndios durante a compostagem.

2. O Processo de Compostagem Orgânica

O termo compostagem está associado ao processo de tratamento dos resíduos orgânicos sejam eles de origem urbana, industrial, agrícola e florestal. A compostagem pode ser definida como um processo aeróbio controlado, desenvolvido por uma população diversificada de

microrganismos, efetuada em três fases: a fase inicial e rápida de fitotoxicidade ou de composto cru ou imaturo, seguida de uma segunda fase de semi-cura ou bioestabilização, para atingir finalmente a terceira fase, a humificação, acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica (OLIVEIRA et al., 2004; ADOLFO, 2016). Estas fases podem ser observadas da Figura 2.

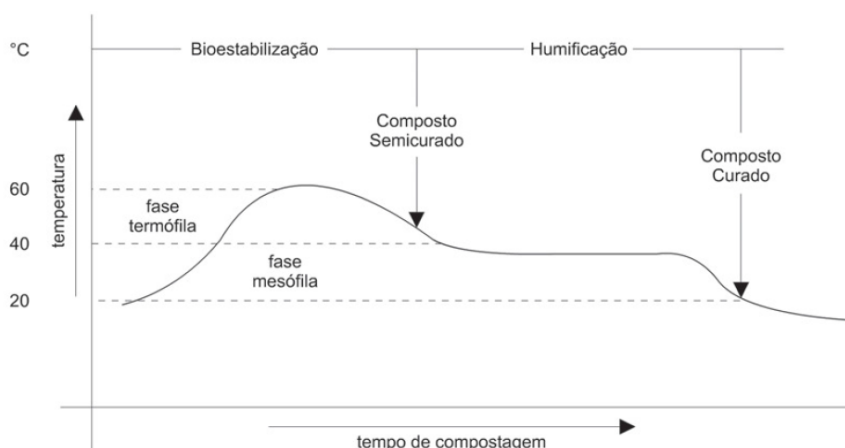


Figura 2 – Fases da Compostagem de Resíduos Orgânicos

Os resíduos orgânicos sofrem transformações metabólicas desde que fornecidas às condições de umidade, aeração e microrganismos como bactérias, fungos, protozoários, algas, além de larvas e insetos, que possuem na matéria orgânica sua fonte de matéria e energia. Como resultado da digestão da matéria orgânica por esses organismos, ocorre a liberação de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio se transformando em nutrientes minerais disponíveis para as plantas num processo conhecido como mineralização (DE MACEDO; CRUZ, 2010; CRUZ et al., 2017)

No processo de onstrução de uma pilha de compostagem é comum utilizar uma mistura de materiais ricos em carbono com outros ricos no composto de nitrogênio. Aqueles que são ricos em carbono acabam fornecendo a matéria orgânica e consequentemente a energia para a compostagem. Os materiais nitrogenados aceleram o processo de compostagem, uma vez que o nitrogênio é necessário para o crescimento dos microrganismos. Genericamente, quanto mais baixa é a relação *Carbono/Nitrogênio* mais rapidamente termina a compostagem. Os microrganismos que realizam a decomposição da matéria orgânica absorvem carbono (C) e nitrogênio (N), sendo o tempo necessário para que ocorra a decomposição e a consequente mineralização, governado pela relação entre Carbono e Nitrogênio da matéria-prima. Adicionalmente, o teor de N dos resíduos a serem decompostos deve ter teoricamente 1,7%, quando o conteúdo é inferior a esse valor, o tempo de decomposição será maior (OLIVEIRA et al., 2008)

Nos processos de compostagens para que todo o ciclo esteja completo são necessários aproximadamente de 90 a 120 dias após mistura dos materiais orgânicos (dependendo da relação Carbono/Nitrogênio do resíduo), tendo como resultado um composto normalmente escuro e de textura turfa, utilizado como condicionador de propriedades físicas e biológicas do solo em geral, por fim, um composto fertilizante que fornece os nutrientes essenciais para o suprimento das plantas (BERTICELLI et al., 2016).

Normalmente o material proveniente da compostagem; possui cor escura, é rico em húmus e contém de 50% a 70% de matéria orgânica. Esse produto resultante pode ser classificado como

adubo orgânico para os sistemas de plantio, pois é preparado a partir de esterco de animais e/ou restos de vegetais que, em estado natural. Recebe esse nome pela forma como é preparado: montam-se pilhas compostas de diferentes camadas de materiais orgânicos. A tonalidade e as características finais do composto orgânico, depende diretamente da natureza da matéria-prima utilizada no processo. Assim, quanto maior a variedade de matérias existentes em uma compostagem, maior vai ser a variedade de microorganismos atuantes no solo e a qualidade final do composto (PEIXOTO, 2011)

2.1 Influência da Temperatura

A degradação biológica da matéria orgânica é acompanhada principalmente pelo controle da temperatura, como um dos fatores principais da performance da compostagem. É o fator mais indicativo do equilíbrio biológico na massa de compostagem o que reflete a eficiência do processo. A compostagem deve registrar temperaturas de 40 a 60°C, até os primeiros 30 (trinta) dias, como indicador de condições satisfatórias de equilíbrio no seu ecossistema (DE OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006; CRUZ et al., 2017; MORALES et al., 2017).

De uma maneira geral, quando a matéria orgânica é decomposta o calor criado pelo metabolismo dos microorganismos se dissipa e o material, normalmente, não se aquece. Todavia, na compostagem de resíduos orgânicos, em montes, ou em condições controladas, trabalhando-se com grandes massas, o calor desenvolvido se acumula e a temperatura alcança valores elevados, podendo chegar à cerca de 80°C (OLIVEIRA et al., 2004).

Assim, no processo de compostagem a energia produzida pelos microrganismos promove um incremento de temperaturas. Quando essas encontram-se superiores a 40°C começam a predominar os microrganismos termofílicos, responsáveis pela decomposição acelerada da matéria orgânica. Nessa fase as temperaturas ultrapassam os 55°C, promovendo a eliminação dos microrganismos patogênicos para os humanos ou para as plantas. Acima dos 65 °C a maioria dos microrganismos serão eliminados, incluindo aqueles que são responsáveis pela decomposição, necessitando assim, controlar as temperaturas com umidade e aeração mantendo a níveis desejados (FERNANDES et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2008; ADOLFO, 2016). Para melhor compreensão da variação da temperatura na compostagem, foi identificada por Trautmann 17 quatro importantes fases da temperatura durante o processo:

- a) *Fase mesofílica*: É a fase em que predominam temperaturas moderadas, até cerca de 40 °C. Tem duração média de dois a cinco dias;
- b) *Fase termofílica*: Quando o material atinge sua temperatura máxima (> 40 °C) e é degradado mais rapidamente. Esta fase pode ter a duração de poucos dias a vários meses, de acordo com as características do material sendo compostado;
- c) *Fase de resfriamento*: é marcada pela queda da temperatura para valores da temperatura ambiente;
- d) *Fase da maturação*: é o período de estabilização que produz um composto maturado, altamente estabilizado e humificado, livre de toxicidade.

O composto estabilizado, além de ter temperatura igual à ambiente, apresenta-se quebradiço quando seco, moldável quando úmido, não atrai moscas e não tem cheiro desagradável.

2.2 Influência da Umidade

No processo de decomposição da matéria orgânica, a umidade garante a atividade microbiológica. Isso porque, entre outros fatores, a estrutura dos microrganismos consiste de aproximadamente 90% de água e na a produção de novas células, a água precisa ser obtida do meio, no caso, da massa de compostagem. Além disso, todo o nutriente necessário para o

desenvolvimento celular precisa ser dissolvido em água, antes de sua assimilação

Do ponto de vista teórico, o teor ótimo de umidade na compostagem é 100%. Entretanto, alguma consideração de ordem prática, além de certos procedimentos operacionais, reduz este valor para limites máximos e mínimos (OLIVEIRA et al., 2004).

Considerando elevados teores de umidade, na massa de compostagem, promovem a aglutinação de partículas, o que baixa a resistência estrutural da leira, restringindo sobremaneira a difusão de oxigênio. Este fato reduz a temperatura média da leira (para faixa mesofílica de 20 a 40°C) e a concentração de oxigênio para valores menores que 5% . Ocorrendo esses problemas, a velocidade de degradação da matéria orgânica diminuirá, e condições anaeróbicas se instalarão na massa de compostagem acarretando todas suas consequências indesejáveis: odores, atração de vetores, chorume, etc (LEITE, 2015; CRUZ et al., 2017).

Já para baixos teores de umidade cessam a atividade microbológica. Este fato geralmente leva a um produto final fisicamente estável , mas biologicamente instável. Uma das grandes discussões científicas na compostagem, tem ocorrido em relação aos valores mínimos que realmente cessam a atividade biológica de degradação do processo. Alguns pesquisadores postulam que 40% seria o teor mínimo possível de garantir uma razoável atividade de degradação na massa de compostagem. Outros pesquisadores, consideram que este valor pode ser menor e indicam que o teor mínimo seria de 30% (LEITE, 2015; CRUZ et al., 2017; MORALES et al., 2017)

Dessa forma, a faixa de umidade ótima para se obter um máximo de decomposição está entre 40 a 60%, principalmente durante a fase inicial, pois é necessário que exista um adequado suprimento de água para promover o crescimento dos organismos biológicos envolvidos no processo e para que as reações bioquímicas ocorram adequadamente durante a compostagem.

2.3 Alguns Materiais Utilizados

A maioria dos resíduos coletados no Brasil, mais de 50% em peso úmido, é composto de matéria orgânica facilmente putrescível, que pode ser compostada, dentre esses materiais destacam-se maior frequência segundo Peixoto (2011) os itens seguintes:

- a) Penas - Penas de galinha, peru e outras aves também podem ser aproveitadas na compostagem, uma vez que são muito ricas em N;
- b) Cinzas - Cinza de madeira proveniente de lareira ou de fogão a lenha, especialmente se for peneirada para que fique sem pedaços de carvão. Uma pequena quantidade de cinza de madeira pode ser acrescentada à pilha de composto, a cada 45cm, aproximadamente, colocando-se posteriormente mais M.O.;
- c) Lixo doméstico - Quase todo lixo orgânico de cozinha é um excelente material para ser compostado. Existem apenas algumas exceções digna de nota: óleos e gordura animal. Restos de carne costumam atrair animais e moscas. Se você não conseguir esconder estes restos bem fundo em sua pilha, é melhor desprezá-los;
- d) Serragem - A serragem deve ser distribuída na pilha em camadas finas para que não haja concentração de material em um mesmo local. Se isto ocorrer, a degradação será extremamente lenta. Se a serragem for muito fina poderá bloquear a entrada de ar. A forma ideal de compostar serragem é fazer fazer uma espécie de sanduíche entre as camadas de esterco;
- e) Poda de arbustos e cerca viva - Podas de arbustos e galhos de árvores são normalmente volumosos e difíceis de serem degradados, a menos que sejam picados ou retalhados,

mas de vez em quando uma camada de podas volumosas pode ser utilizada na pilha. Este material torna a pilha volumosa permitindo dessa maneira uma penetração de ar mais eficiente;

- f) Folhas - Para utilizar as folhas estas devem ser bem picadas para que não haja compactação e também para acelerar na decomposição;
- g) Grama - Placas de grama são um ótimo isolante térmico e ajudam a manter as moscas afastadas. Tente cobrir a pilha do composto com as raízes para cima e a grama para baixo. Se você fizer isto no outono, na primavera a grama já terá desaparecido;
- h) Rocha moída e conchas - Rochas e conchas possuem muitos dos materiais necessários para o crescimento de plantas. Partículas finas de pó de granito ou de mármore dissolvem-se relativamente rápido em qualquer pilha de composto que esteja úmida. Ostras moídas, conchas de bivalvos e de lagostas, só para citar alguns, terão o mesmo efeito que rocha moída. A casca de ostras moída pode substituir um bom calcário;

2.4 Materiais a serem evitados

Quando sua pilha encolher e ficar menor, você até pode acrescentar certos materiais para aumentar o seu volume, adicionando terra, calcário e húmus. Lama, areia e cascalho adicionam pouco nutriente, bem como microorganismos para seu composto. Abaixo, uma lista de alguns materiais a serem evitados.

- a) Carvão mineral e vegetal;
- b) Papel colorido;
- c) Plantas doentes (devem ser queimadas e suas cinzas podem ser adicionadas à pilha de composto)
- d) Materiais não biodegradáveis;
- e) Fezes de animais de estimação;
- f) Lodo de esgoto não tratado;
- g) Produtos químicos tóxicos.

2.5 Vantagens do Processo

Segundo um estudo realizado por Do Nascimento 6 as principais vantagens do processo de compostagem são:

- a) A matéria orgânica composta se liga às partículas (areia, limo e argila), ajudando na retenção e drenagem do solo melhorando sua aeração;
- b) Aumenta a capacidade de infiltração de água, reduzindo a erosão;
- c) Dificulta ou impede a germinação de sementes de plantas invasoras;
- d) Aumenta o número de minhocas, insetos e microorganismos desejáveis, devido a presença de matéria orgânica, reduzindo a incidência de doenças de plantas;
- e) Mantém a temperatura e os níveis de acidez do solo;
- f) Ativa a vida do solo, favorecendo a reprodução de microorganismos benéficos às culturas agrícolas;
- g) Aproveitamento agrícola da matéria orgânica;

- h) Processo ambientalmente seguro;
- i) Eliminação de patógenos;
- j) Economia de tratamento de efluentes;
- k) Redução do odor;
- l) Rastreabilidade;
- m) Economia no transporte

3. Controle Operacional

Um fato é ter o conhecimento do teor dos parâmetros ótimos para a compostagem de um determinado material, o outro, é saber como monitorar esses parâmetros ótimos durante o processo de compostagem. Esse controle é mais difícil nos sistemas de compostagem conduzidos em pátios (sistemas abertos) onde além da interferência do período chuvoso (condições climáticas) existe, de um modo geral, a influência da própria matéria prima (constituição, peso específico, tamanho da partícula), do sistema de compostagem utilizado e do modo de aeração (CRUZ et al., 2017).

A fração orgânica do lixo urbano, por exemplo, quando em compostagem, necessita frequentemente de correção da umidade e, não suporta limites superiores a 60% senão o excesso de água será exposto na forma de chorume, o que significa um impacto negativo para o processo. Já os materiais celulolíticos (palhas, capins, bagaço de cana etc.) suportam umidade inicial muito mais elevada (70 a 85%), sem que isto afete o processo e necessite de correção durante a compostagem (EGREJA FILHO, 1999; LEITE, 2015).

Do ponto de vista operacional, a preocupação básica consiste em corrigir os teores limites (máximos e mínimos), ou seja, manter os parâmetros determinantes do sucesso da compostagem em uma faixa ideal de controle de forma a não sacrificar a velocidade de degradação e a qualidade do produto final.

Dessa forma o presente trabalho trás o desenvolvimento de um sistema microcontrolado para monitorar os parâmetros de temperatura e umidade em um processo de compostagem. Tal sistema possui um software com interface gráfica implementado em Java e utiliza sensores interligados ao Arduino UNO, os quais realizam a aquisição dos dados e posteriormente são apresentados na interface gráfica. Em seguida estão apresentadas as etapas para a confecção deste sistema.

3.1 Especificações técnicas

Atualmente é comum o uso de microcontroladores no controle de processos industriais. Um microcontrolador é um sistema microprocessado encapsulado em um único chip, com memórias, clock e periféricos mais limitados que um computador. O uso desses circuitos integrados não somente reduz custo da automação como também propicia mais flexibilidade.

Dentre as plataformas de desenvolvimento que utilizam microcontroladores, o Arduino tem ganhado um grande destaque. Arduino trata-se de uma plataforma de prototipagem aberta baseada em hardware e software flexíveis e de fácil utilização. O ambiente Arduino foi desenvolvido para ser fácil para iniciantes que não possuem experiência com desenvolvimento de software ou eletrônica. Há uma diversidade de placas Arduino no mercado, inclusive implementações nacionais. Cada qual com características que a diferem das demais, como velocidade (clock), memórias, pinos de entrada e saída, entre outras. Uma característica comum entre as várias versões é o custo relativamente baixo e a flexibilidade.

A placa Arduino que será utilizada neste trabalho é a Arduino UNO. Dentre as principais características da UNO está o uso do microcontrolador ATmega328, tensão de operação de 5V, 14 pinos de entrada/saída digital, 6 pinos de entrada/saída analógicos, 32KB de memória flash, 2 KB de SRAM, 1 KB de EEPROM e velocidade de clock de 16 MHz. Todos os elementos da plataforma Arduino: documentação, esquemas eletrônicos e software, estão disponíveis de forma gratuita e são de código aberto.

3.2 Sensor de Temperatura - LM35

Existem no mercado hoje em dia, diversos tipos de sensores de temperatura, que vão desde os NTC's, PTC's e diodos até os mais variados tipos de termopares, dentre outros. Porém, estima-se que talvez nenhum dos citados anteriormente seja de tão simples manuseio e exija tão poucos aparatos eletrônicos para que funcione, quanto o modelo LM35, pois o circuito usual é bastante simples, necessitando apenas do sensor propriamente dito, um sistema amplificador de sinal e de uma interface que realize a leitura do sinal amplificado, quem sabe até mostrando um valor de temperatura diretamente em um visor ou display ou até mesmo disparando algum elemento eletrônico como, por exemplo, um transistor quando a situação for apropriada.

O sensor LM35 é um sensor de precisão, fabricado pela National Semiconductor¹, que apresenta uma saída de tensão linear relativa à temperatura em que ele se encontrar no momento em que for alimentado por uma tensão de 4-20Vdc e GND, tendo em sua saída um sinal de 10mV para cada Grau Celsius de temperatura, sendo assim, apresenta uma boa vantagem com relação aos demais sensores de temperatura calibrados na escala KELVIN, não necessitando nenhuma subtração de variáveis para que se obtenha uma escala de temperatura em Graus Celsius. Abaixo está disposto na Figura 3 o diagrama de blocos do LM35.

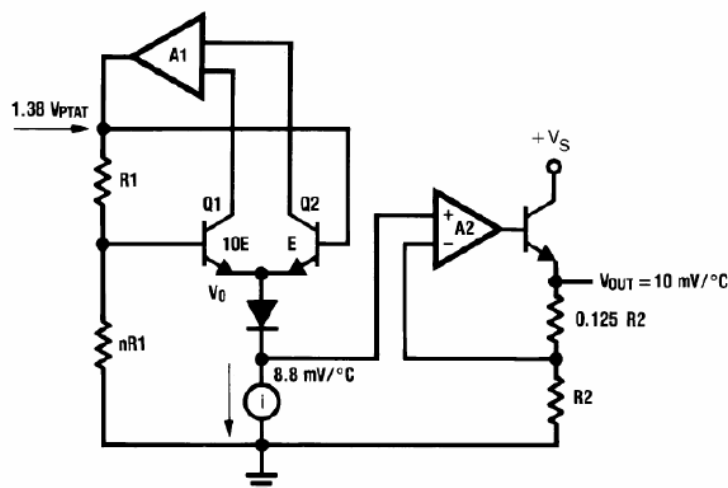


Figura 3: Diagrama de Blocos do LM35

Este sensor poderá ser alimentado com alimentação simples ou simétrica, dependendo do que se desejar como sinal de saída, mas independentemente disso, a saída continuará sendo de 10mV/ $^{\circ}\text{C}$. Ele drena apenas 60 μA para estas alimentações, sendo assim seu auto-aquecimento é de aproximadamente 0.1 $^{\circ}\text{C}$ ao ar livre.

3.3 Sensor de Umidade – Grove

Este sensor de umidade pode ler a quantidade de umidade presente no solo ao seu redor. O sensor Grove indicado na figura 5 utiliza duas sondas que conduzem a corrente através do solo e, em seguida, lê-se a resistência para obter o nível de umidade. Com mais água no solo, fica fácil a condução de eletricidade (menor resistência), enquanto o solo seco conduz pouca eletricidade (maior resistência).



Figura 4: Sensor de Umidade – Grove

Este sensor trabalha imerso na terra em contato direto com a água, por essa combinação o sensor possui um revestimento banhado à ouro para evitar com o tempo a oxidação. Possui fonte de alimentação entre 3.3Vcc à 5Vcc com sinal de tensão de saída entre 0 à 4.2Vcc e corrente de 0 à 35mA.

3.4 Sensor de Gás-MQ-2

O material de sensibilidade do MQ-2 (sensor de Gás) é o SnO₂ (dióxido de estanho) que proporciona baixa condutividade (resistência elevada) no ar limpo (ar em condições normais sem a presença de gases inflamáveis). Quando há presença de gases inflamáveis, aumenta a condutividade (baixa resistência) com o aumento da concentração do gás. O sensor MQ-2 tem alta sensibilidade ao LPG, propano e hidrogênio, podendo também ser usado para metano ou gases combustíveis.

O sensor necessita de duas tensões, a tensão de aquecimento (VH) e a tensão de teste (VC). VH é usado para impor a correcta temperatura de trabalho do sensor enquanto VC alimenta o circuito de detecção. A diferença de potencial em RL (VRL) varia em função da concentração dos gases combustíveis. Pode usar-se no entanto o mesmo circuito de alimentação, isto é, a mesma tensão, para os dois pinos. Para que o sensor tenha um bom funcionamento é necessário colocar uma resistência RL dentro dos valores aconselhados pelo fabricante. Este valor pode variar conforme a necessidade de calibração, é aconselhado, no entanto um valor entre 5kΩ e 47kΩ.

4. A Solução Proposta

Para monitorar e controlar o sistema de compostagem foi implementada uma Interface Gráfica com Usuário (Graphical User Interface - GUI) em Java, onde os resultados são apresentados em modo gráfico para o usuário. Essa interface é formada através de componentes GUI, conhecidos por controles ou widgets. Esses componentes são objetos que fazem a interação com usuário por teclado, mouse ou outros dispositivos que venham a servir para entrada de dados.

O sistema desenvolvido realiza a conexão da interface implementada com o hardware Arduino UNO por meio da porta serial. Para aquisição dos dados são utilizados três sensores distintos o LM35, o Grover e o MQ-2 com o objetivo de realizar a medição de Temperatura, umidade e gás respectivamente. A Figura 5 ilustra o sistema de hardware implementado .

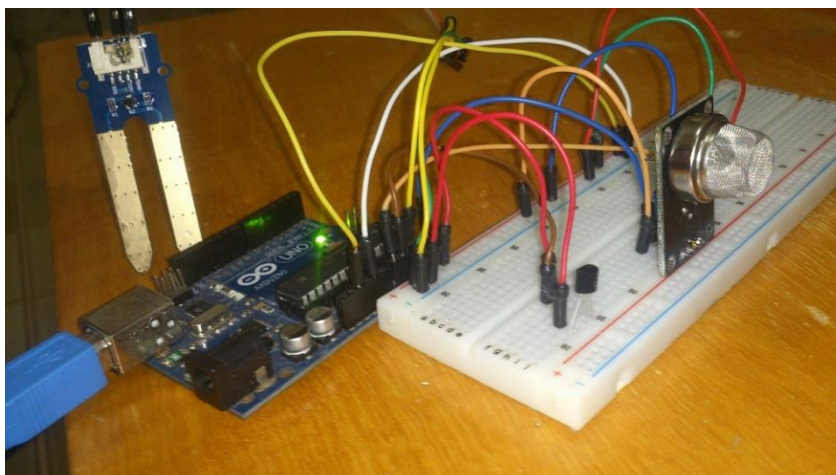


Figura 5: Hardware do Sistema Desenvolvido

A realização da aquisição de dados para o sistema por meio da comunicação serial com Java e Arduino no Windows é possível utilizando uma biblioteca específica. Uma biblioteca de software é uma grande coleção de procedimentos, onde todos os procedimentos estão relacionados.

A biblioteca foi utilizada é a Biblioteca Serial RXTX, que permite que o Arduino receba e envie dados para o computador. Assim, via linha de comando é permitido uma comunicação de duas vias, onde, além de imprimir no console a saída serial, é possível também enviar comandos ao mesmo, mantendo uma comunicação bidirecional entre os dispositivos. A interface gráfica mostra o limite máximo e mínimo de temperatura e umidade pré-estabelecidos como parâmetros de sucesso para o processo de compostagem, e em seguida os respectivos valores em tempo real do processo analisado. Para um controle efetivo do sistema também é apresentado por meio do uso do sensor de gás uma indicação em casos de incêndios devido as altas temperaturas ao qual a compostagem pode ser submetida, parte da tela é apresentada na Figura 6.

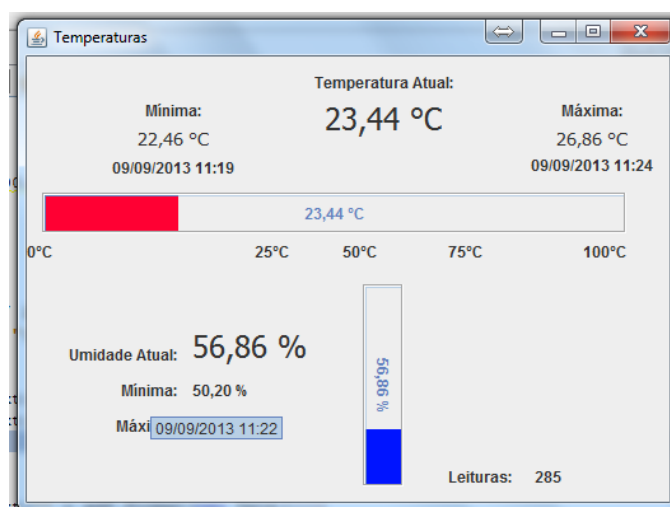


Figura 6: Interface Gráfica do Sistema Desenvolvido

Como pode ser observado o sistema também apresenta um controle de registro do maior e do menor valor de temperatura e umidade ocorrido durante as medições, além da data e horário de cada uma dessas ocorrências para que o controle operacional de cada uma das etapas da compostagem possa ser realizado com sucesso.

5. Conclusão

Neste artigo foi apresentada uma solução inovadora que consiste na utilização do Arduino UNO conectado à uma interface gráfica desenvolvida em java por meio de porta serial. O sistema desenvolvido possui conexão com três sensores distintos o LM35, o Grover e o MQ-2 com o objetivo de realizar a medição de Temperatura, umidade e gás respectivamente.

Conclui-se que através da solução proposta é possível monitorar e controlar importantes parâmetros que determinam o sucesso do processo de compostagem utilizando sistemas microcontrolados. As tecnologias utilizadas possibilitam o desenvolvimento de uma solução de baixo custo, uma vez que foi utilizado o microcontrolador Arduino e tecnologias de software de uso gratuito.

Além disso, tal projeto pode significar uma contribuição importante para o setor agrônomo, uma vez que o processo de compostagem tem uma grande importância, pois uma quantidade considerável de nutrientes estará retornando para o solo na forma mineral e orgânica, proporcionando melhorias químicas, físicas e biológicas.

O protótipo também se mostrou muito flexível, pois pode-se adicionar novos parâmetros de medição de acordo com a necessidade do processo, sem a necessidade de uma mudança muito complexa no software desenvolvido.

Em suma, após os estudos realizados neste trabalho, observa-se que a proposta pode ser uma alternativa satisfatória para os sistemas de compostagem eliminando ou reduzindo consideravelmente ocasiões indesejáveis como a geração de chorume, emissão de odores fétidos, atração de vetores (moscas, mosquitos, baratas, ratos etc.), desenvolvimento de reações anaeróbias que geralmente leva a produção de composto orgânico de péssima qualidade.

Referências

ADOLFO, R. et al. *Inclusão de Atividades de Educação Ambiental em Escola Infantil Através da Reciclagem e Compostagem de Lixo*. In: Forum Internacional de Resíduos Sólidos-Anais. 2017.

BERTICELLI, R. et al. *Compostagem Como Alternativa De Biorremediação De Áreas Contaminadas*. Revista CIATEC-UPF, v. 8, n. 1, p. 12-28, 2016.

BETTENCOURT, A. F. et al. *Compostagem Elaborada a Partir De Diferentes Resíduos Nas Escolas Da Rede Pública De Dom Pedrito*. Revista de Projetos Comunitários e Extensão-Congrega Urcamp, v. 1, 2016.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Política Nacional de Resíduos Sólidos. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*. Diário Oficial da União, 3 de agosto de 2010.

CRUZ, C. V. et al. *Características Físicas E Químicas Na Compostagem Do Lodo De Esgoto Com Três Tipos De Materiais Estruturantes*. In: Forum Internacional de Resíduos Sólidos-Anais. 2017.

DE MACEDO, A. B. R.; CRUZ, E. P. *Análise comparativa da produção de vermicomposto com base na produção de esterco de três fontes animais: um estudo sob a ótica da metodologia MACBETH*. VII SEGeT—Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2010.

DE OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. *Unidade de compostagem para o tratamento dos dejetos de suínos*. Embrapa Suínos e Aves-Documents (INFOTECA-E), 2006.

EGREJA FILHO, F. B. et al. *Avaliação quimiométrica da distribuição de metais pesados em composto de lixo urbano domiciliar*. Química Nova, v. 22, n. 3, p. 324-328, 1999.

FERNANDES, F.; SOUZA, S. G.; ANDREOLI, C. V. *Estabilização de lodo de esgoto. Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final*, p. 29, 2001.

LEITE, T. A. *Compostagem termofílica de lodo de esgoto: higienização e produção de biossólido para uso agrícola*. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MORALES, C. A. S. et al. *Compostagem Como Prática De Valorização Dos Resíduos Sólidos Orgânicos Com Foco Interdisciplinar Na Educação Ambiental*. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 8, n. 1, 2017.

OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. *Compostagem*. Programa De Pós-Graduação Em Solos E Nutrição De Plantas. 2008.

OLIVEIRA, F. N. S.; LIMA, H. J. M.; CAJAZEIRA, J. P. *Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos*. Documentos 89 - Embrapa, 2004.

PEIXOTO, RT dos G. *Compostagem*. Embrapa Solos-Capítulo em livro técnico-científico (ALICE), 2011.