

Desenvolvimento de uma estufa de baixo custo para filamentos de impressoras 3D

Development of a low-cost greenhouse for 3D printer filaments

Desarrollo de un invernadero de bajo costo para filamentos de impresora 3D

Recebido: 14/05/2023 | Revisado: 27/05/2023 | Aceitado: 28/05/2023 | Publicado: 02/06/2023

Cláudio Fortes Baêta

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5363-1764>

Instituto Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: claudiofortes7@gmail.com

Eric Valero Carvalho da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0385-7619>

Instituto Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: evcdasilva@gmail.com

Resumo

A tecnologia de impressão 3D vem sendo amplamente pesquisada para aprimoramento em todo o mundo, por ser uma tecnologia relativamente nova que permite a impressão de geometrias que outros processos de fabricação não conseguiam. A maioria das impressoras de hoje que estão no mercado são do tipo FDM, que utiliza de filamentos sensíveis para fazer as impressões. Essa pesquisa é caracterizada como um estudo experimental, na qual objetivou-se construir um protótipo que utiliza o sistema PID de baixo custo, com capacidade de alcançar 50 °C e de alta resistência térmica. Nessa perspectiva, o objetivo do estudo se define por investigar as possibilidades de desenvolvimento de uma estufa de baixo custo para filamentos de impressora 3D. Considera-se que o objetivo da pesquisa foi alcançado, uma vez que o desempenho que o protótipo atingiu foi muito satisfatório pelo baixo custo investido e por ser uma área nova da qual o grupo está explorando. Verificou-se também que o controle PID torna o processo bem mais preciso, uma vez que sem ele, o sistema se torna mais inconstante, podendo interferir por exemplo, em processos industriais. Através do estudo realizado, adquiriu-se também conhecimentos sobre a transferência de calor, eletrônica e programação, o que é importante considerar, pois para se realizar esse tipo de experimento, consequentemente pauta-se em saberes teóricos para que a prática funcione corretamente, e no caso desse estudo, ambos teoria e prática puderam ser aprimorados.

Palavras-chave: Filamentos de impressoras; Controle PID; Impressoras 3D.

Abstract

3D printing technology has been widely researched for improvement around the world, as it is a relatively new technology that allows the printing of geometries that other manufacturing processes did not allow. Most printers on the market today are of the FDM type, which uses sensitive filaments to make impressions. This research is characterized as an experimental study, in which the objective was to build a prototype that uses the low cost PID system, capable of reaching 50 °C and of high thermal resistance. In this perspective, the objective of the study is defined by investigating the possibilities of developing a low-cost greenhouse for 3D printer filaments. It is considered that the objective of the research was achieved, since the performance that the prototype achieved was very satisfactory due to the low cost invested and because it is a new area that the group is exploring. It was also verified that the PID control makes the process much more precise since without it, the system becomes more unstable, being able to interfere, for example, in industrial processes. Through the study carried out, knowledge was also acquired about heat transfer, electronics and programming, which is important to consider, because to carry out this type of experiment, consequently, it is based on theoretical knowledge so that the practice works correctly, and in the case of this study, both theory and practice could be improved.

Keywords: Printer filaments; PID Control; 3D printers.

Resumen

La tecnología de impresión 3D ha sido ampliamente investigada para su mejora en todo el mundo, ya que es una tecnología relativamente nueva que permite la impresión de geometrías que otros procesos de fabricación no permitían. La mayoría de las impresoras del mercado actual son del tipo FDM, que utiliza filamentos sensibles para realizar impresiones. Esta investigación se caracteriza por ser un estudio experimental, en el cual el objetivo fue construir un prototipo que utilice el sistema PID de bajo costo, capaz de alcanzar los 50 °C y de alta resistencia térmica. En esta perspectiva, el objetivo del estudio se define investigando las posibilidades de desarrollar un invernadero de bajo costo para filamentos de impresoras 3D. Se considera que se logró el objetivo de la investigación, ya que el desempeño que logró el prototipo fue muy satisfactorio por el bajo costo invertido y porque es un área nueva que el grupo está

explorando. También se verificó que el control PID hace que el proceso sea mucho más preciso ya que sin él, el sistema se vuelve más inestable, pudiendo interferir, por ejemplo, en procesos industriales. A través del estudio realizado también se adquirieron conocimientos sobre transferencia de calor, electrónica y programación, lo cual es importante considerar, ya que, para realizar este tipo de experimentos, en consecuencia, se basa en conocimientos teóricos para que la práctica funcione correctamente, y en el caso de este estudio, tanto la teoría como la práctica podrían mejorar.

Palabras clave: Filamentos de impresora; Control PID; Impresoras 3D.

1. Introdução

A tecnologia de impressão 3D vem sendo amplamente pesquisada para aprimoramento em todo o mundo, por ser uma tecnologia relativamente nova que permite a impressão de geometrias que outros processos de fabricação não permitia. Esse fato abre um novo leque de oportunidades de atuação nas áreas de engenharia e design (Júnior, *et al.*, 2020). Atualmente esses segmentos estão buscando ferramentas que possibilitem a criação de novos materiais que possibilitem melhor custo-benefício para as obras e ofereçam modernidade ao mesmo tempo.

Outro ponto interessante que as impressoras 3D estão revolucionando na sociedade, é o aumento de acessibilidade de pessoas comuns em criarem protótipos e revolucionando diferentes mercados sem nem mesmo sair de casa e com relativo baixo custo (Formiga & Carneiro, 2021). Quanto mais as tecnologias avançam, mais acessível elas ficam, e os benefícios que as mesmas trazem para a sociedade fica disponível para todas as pessoas dos mais diferentes campos de atuação e classes sociais, promovendo a democratização tecnológica.

A maioria das impressoras de hoje que estão no mercado são do tipo FDM, que utiliza de filamentos para fazer as impressões. Porém, estes filamentos possuem um problema, são muito fáceis de absorver umidade do ar e quando isso ocorre, o filamento fica quebradiço e reduz a qualidade das impressões causando descontinuidade durante a extrusão, o que reduz a resistência da peça impressa (Figueiredo & Cesar, 2022). Nesse caso, ao se tratar da tecnologia das impressoras 3D, um dos principais cuidados que se tem que ter é com esses filamentos para a preservação do desempenho das mesmas (Spohr *et al.*, 2021).

Nessa perspectiva, o objetivo do estudo se define por: investigar as possibilidades de desenvolvimento de uma estufa de baixo custo para filamentos de impressora 3D. Mediante a este objetivo, a pesquisa visa descrever o processo da construção de um protótipo de utiliza um sistema PID de baixo custo e com alta resistência térmica que possa enfrentar justamente as dificuldades do problema levantado nessa pesquisa.

2. Metodologia

Essa pesquisa é caracterizada como um estudo experimental, na qual objetivou-se construir um protótipo que utiliza o sistema PID de baixo custo, com capacidade de alcançar 50 °C e de alta resistência térmica. Os modelos experimentais podem ser definidos como “a materialização de uma parte da realidade, por meio da representação simples de uma ocorrência. Para tanto, deve apresentar uma precisão adequada, com comprovação e demonstração das limitações em relação à realidade que irá representar” (Ferreira *et al.*, 2005).

Dessa forma, compreende-se que o desenvolvimento de pesquisas científicas com base em modelos experimentais torna-se importante na medida em que estes auxiliam na compreensão dos fenômenos naturais a ajudam no aprimoramento ou desenvolvimento de materiais (Silveira & Córdova, 2009). A pesquisa foi realizada no período de fevereiro a março de 2022, com as atividades desenvolvidas na própria residência do pesquisador visto que a pesquisa ocorreu em período de pandemia da Covid-19. Em um primeiro momento, realizou-se um brainstorm para dar início ao projeto, essa ação gerou novas ideias da qual direcionaram o início do trabalho.

Após esse momento inicial de brainstorm, foi feito um levantamento de peças que poderiam ser utilizadas para montar o protótipo. Dessa forma, identificou-se que a estufa deveria ser fabricada de isopor e seu interior forrado com papel alumínio. Esses materiais escolhidos são importantes pois, além de terem um o baixo custo, o isopor confere a estrutura uma alta resistência de condutividade térmica e o papel alumínio pode ajudar a reduzir a perda térmica por radiação. A perda térmica por radiação é um dos problemas dos filamentos, e nesse caso utilizar materiais que possam ajudar a reduzir perdas é um passo importante (Santana, *et al.*, 2016).

Em relação a organização da montagem da estrutura do filamento, optou-se por fazer uma estufa que apenas abrigasse um carretel de filamento para reduzir as 5 quantidades de peças utilizadas e a perda de aquecimento em grandes áreas desnecessárias. Essa é mais uma consideração a ser feita na estrutura dos filamentos de impressoras 3D, na qual observou que os mesmos poderiam ser melhorados apenas com essa alteração estrutural (Santana, *et al.*, 2018). A Figura 1 a seguir ilustra a montagem sugerida no experimento.

Figura 1 - Caixa já com o filamento e revestido.

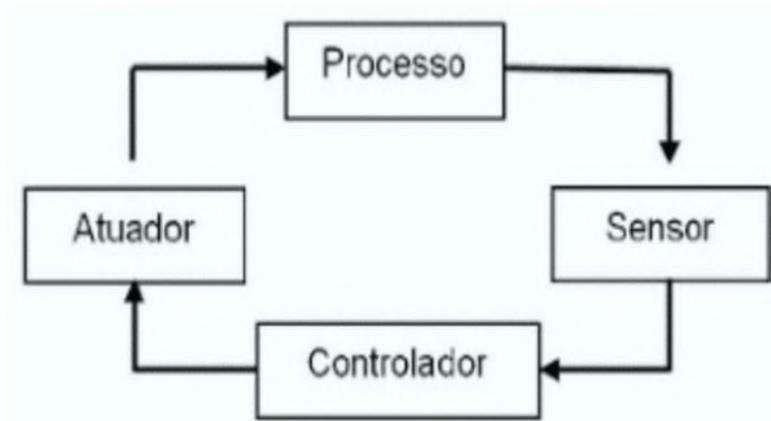


Fonte: Acervo dos pesquisadores (2023).

O pesquisador envolvido nesse projeto possuía um Arduino Uno na qual foi disponibilizada para uso no desenvolvimento da estufa de filamentos. O Arduino Uno é uma placa indicada para projetos de fácil programação (Lima, 2013), e no caso desse projeto foi utilizada para processar as informações e fazer os cálculos necessários para verificação do sistema. Esta foi considerada uma das peças com maior custo do projeto, e uma vez que já estava disponível, faz-se um levantamento das outras peças que seriam necessárias para a construção desse protótipo.

De início cogitou-se a ideia de se utilizar uma resistência de um Grill com defeito, porém, esse tipo de resistência possui uma potência superior ao necessário para o objetivo desse projeto, e então foi decidido utilizar uma lâmpada de carro modelo H4 de 12 V que possui uma potência de 60 W, podendo alcançar 100 °C segundo o fabricante General Eletrics (Mcroberts, 2018). Como o sistema que foi construído é um sistema fechado, seguiu-se o seguindo o esquema a seguir (Figura 2) para dar início a execução do projeto:

Figura 2 - Esquema de sistema fechado.

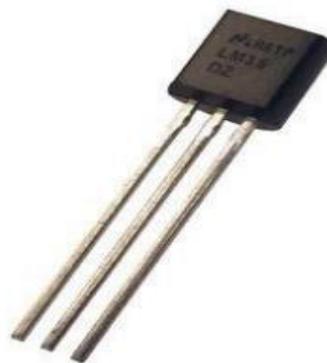


Fonte: RTI automação.

O sistema fechado consiste em uma sequência de ações que dependentes umas das outras para que o sistema opere de forma correta (Monk, 2013). Sendo assim, já de posse do atuador que é a peça que exerce a função na estufa, no caso, a lâmpada que aquecerá. O processo é a própria estufa que é onde deve-se aquecer o filamento. O Controlador é o Arduino Uno que realizou os cálculos e os ajustes necessários para mandar a ação correta para o atuador. Sendo assim, até essa etapa do projeto, faltava apenas o sensor para terminar o sistema fechado.

Pensando nisso, foi feito uma pesquisa para encontrar um sensor barato, com fácil comunicação com o Arduino e que fosse encontrado na cidade do pesquisador para ter fácil acesso ao material. O sensor que encontrado foi o LM35. Esse sensor de temperatura trabalha de 4 V a 20 V, tem uma saída de 0 mV a 10 mV e operando em variações de temperatura de aproximadamente $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $150\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, conforme aponta sua imagem na Figura 3 a seguir.

Figura 3 - Sensor de temperatura LM35.



Fonte: Blog Másterwalker shop.

Definidas as premissas básicas para a execução da montagem do protótipo, tais como a escolha do modelo que seria feito e os materiais necessários para realizar a experimentação, o tópico a seguir irá abordar os resultados alcançados ao colocar em prática as questões abordadas nesta metodologia.

3. Resultados e Discussão

Como mencionado no tópico anterior, foi usado o Arduino para fornecer tensões de 3,3 V a 5 V, utilizando uma lâmpada de 12 V, verificou-se que seria necessário algum componente intermediário para realizar o acionamento da lâmpada. De início, tentou-se utilizar um relé pois era um item de fácil acesso dos pesquisadores. Nessa perspectiva, após algumas pesquisas, percebeu-se que para o sucesso do sistema PID, seria necessário controlar a potência com que a lâmpada fosse acionada, excluindo assim a possibilidade de se utilizar um relé pois ele só permite a posição ligado com 100% da potência ou desligado (Banzi & Shilih, 2015).

Pensando em contornar este problema, optou-se por utilizar as saídas PWM do Arduino, visto que as saídas PWM do Arduino permitem criar ondas periódicas quadradas variando o tempo que o sinal digital é ativado, podendo variar de 0 a 255, sendo 255 como ligado a 100% (Gimenes & Pereira, 2015). Porém, as saídas PWM também não seriam o bastante para alimentar a lâmpada na questão desse experimento, e por isso utilizou-se um MOSFET como intermediário. O MOSFET é um componente que funciona como um relé, porém, sem partes móveis, o que permite o seu acionamento em frequências que os relés convencionais não aguentam e que, neste caso, controlaria a potência com que a lâmpada fosse ativada (Ribeiro, *et al.*, 2018).

Para que fosse selecionado o MOSFET ideal, era necessário saber a corrente e tensão de trabalho da lâmpada. Tendo a potência da mesma e a tensão, foi possível utilizar uma fórmula simples para encontrar a tensão: $I = P/V$. Sendo: I = Corrente (A); P = Potência (W); V = Tensão (V) (Sangar, 2022). Utilizando esta fórmula, a uma tensão de 12 V com a potência de 60 W chegou-se ao entendimento de que a corrente requerida é de 5 A. Tendo essa informação, buscou-se por um MOSFET que fosse compatível com essa exigência, e então encontrou-se em uma sucata de placa mãe de computador o MOSFET 2SK3296 de canal P que após buscar suas especificações do fabricante, verificou-se que o mesmo seria ideal para esse projeto.

Ele pode operar com até 20 V e 35 A o que é mais do que suficiente para alimentar o sistema projetado dessa pesquisa, visto que não se queria utilizar um sistema de refrigeração, já que o MOSFET costuma esquentar, então optou-se por utilizar 2 em paralelo uma vez que encontrou-se o mesmo de graça e isso faria com que eles trabalhassem com uma carga menor e assim, não esquentassem (Song, 2022). Para facilitar a montagem, os testes e manter o sistema mais seguro, o LM35 como também os MOSFETs foram soldados em uma placa PCB ilhada que é indicada para que pudesse fazer circuitos próprios e caseiros parecendo com placas de circuito integradas.

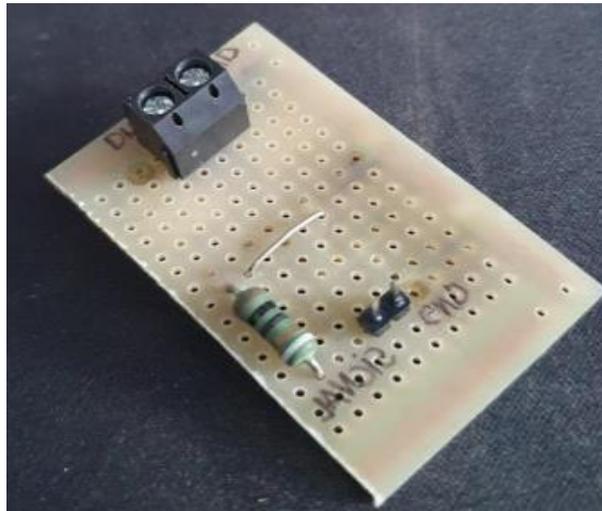
É possível observar que utilizamos um resistor de $940 \Omega \pm 5\%$. Este resistor serve para evitar que pequenos ruídos acionem o MOSFET em momentos indesejados, como ilustra as Figuras 4, 5 e 6 a seguir.

Figura 4 - LM35 soldado na placa



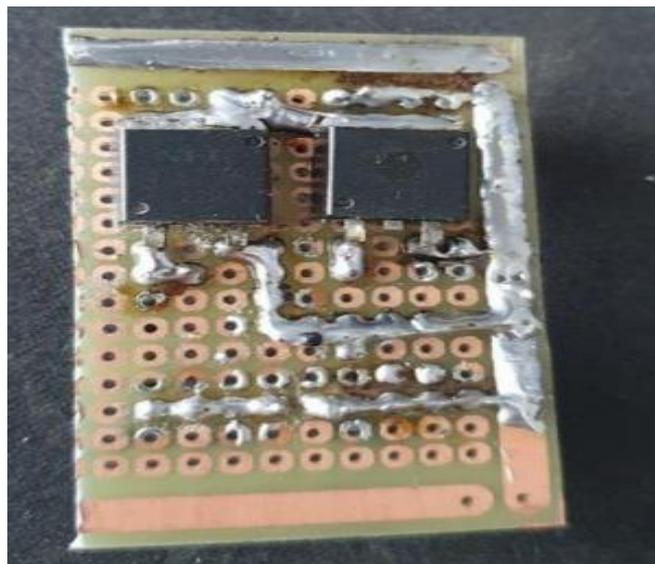
Fonte: Acervo dos pesquisadores (2023).

Figura 5 - Parte superior da placa do MOSFET.



Fonte: Acervo dos pesquisadores (2023).

Figura 6 - Parte inferior da placa do MOSFET



Fonte: Acervo dos pesquisadores (2023).

Além disso, para alimentar todo o sistema, foi utilizado uma fonte chaveada de 12 V, 360 W que é mais do que suficiente para alimentar todo o projeto. A Figura 7 a seguir demonstra o modelo de fonte chaveada de 360 W que foi utilizado nesse projeto.

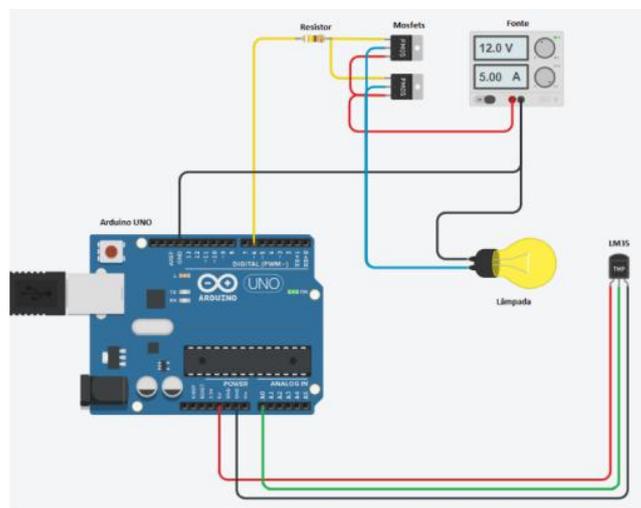
Figura 7 - Fonte chaveada 360 W.



Fonte: Baú da Eletrônica.

Para fazer a comunicação entre estes componentes, foi necessário providenciar uma entrada analógica no Arduino para fazer a leitura do LM35, uma alimentação de 5 V e GND também para o LM35. Para os MOSFET(s), é necessária uma saída PWM e um GND, além de manter o esquema da ligação junto com o resistor comentado anteriormente, como mostra a Figura 8 do sistema elétrico a seguir.

Figura 8 - Sistema elétrico.



Fonte: Plataforma Thinkcard.

Na tabela seguinte é demonstrado o custo geral do projeto para se ter uma comparação com modelos comerciais que podem variar de R\$ 140,00 a R\$ 400,00. Ressaltando que alguns itens podem ser reciclados de outras placas ou utilizado componentes menos potentes como uma fonte de 180 W.

Quadro 1 – Custos do projeto.

Tabela de custo	
Componente	Custo
Arduino uno	R\$ 26,13
Sensor LM35	R\$ 5,70
2x MOSFET 2SK3296	R\$ 4,80
Resistor 940 Ω	R\$ 0,95
Conector Borne KRE	R\$ 1,80
Fonte 360 W	R\$ 35,79
Folha de isopor 10 mm	R\$ 5,50
Lâmpada H4	R\$ 6,54
Barra de pinos	R\$ 6,90
Total	R\$ 94,11

Fonte: Aliexpress.

Para detectar a oscilação do sistema, foi utilizado controle Proporcional Integrativo Derivativo (PID), pois seu funcionamento básico é controlar com precisão todo o processo com maior eficiência. Um PID pode ser usado para várias aplicações, como pressão, vazão e nesse caso para controle de temperatura de uma estufa, pois há necessidade de muita precisão (Silva, 2022). Para evitar alterações no processo, a variável ideal é manter a temperatura do processo em ajuste em determinado tempo. Logo, PID é definido pela seguinte equação, sendo $u(t)$ sinal de saída:

$$u(t) = Kp * e(t) + Ki * \int_0^t e(\tau) * d\tau + Kd * \frac{de(t)}{dt}$$

Onde:

Kp : Ganho Proporcional

Ki : Ganho integral

Kd : Ganho Derivativo

e : Erro

t : Tempo

τ : Tempo de integração

A ação proporcional é responsável por eliminar oscilações da saída, como se fosse uma amplitude de erro, conhecido como off-set, sendo sinal inversamente proporcional ao sinal do ganho. Já a ação integral produz um sinal em relação a duração do erro, gerando uma análise mais rápida e consequentemente uma resposta também, chegando 12 numa referência do sistema, assim como corrige em tempo variável, vem o nome de tempo integral. Por fim a ação derivativa produz sinal em relação a velocidade do erro, para assim ter tempo de resposta melhor para estabilizar sistema e até prever o erro (Barbosa, 2018).

Para realizar a programação, utilizou-se um programa próprio do Arduino e então o programa pode ser carregado e monitorado por um cabo USB. Em um primeiro momento foi feito o teste de sensor de temperatura, e para utilizá-lo com os valores corretos, foi necessário calcular para transformar a variação de 0 mV a 10 mV para uma escada de temperatura, no caso, graus Celsius. Assim ao realizar o teste, observou-se que este sensor é muito sensível a ruídos, o que atrapalharia bem na hora

de aplicar o sistema PID (Perez, *et al.*, 2013). Para controlar esse problema, foi utilizado uma técnica que conhecida como média móvel onde é realizado uma média dos valores de várias leituras do sensor para se obter uma leitura mais contínua.

Na imagem a seguir (Figura 9), demonstra-se a diferença das leituras, sendo o vermelho a leitura com ruído e a azul, a média móvel.

Figura 9 - Leitura da temperatura com e sem média móvel.



Fonte: Acervo dos pesquisadores (2023).

Observa-se na imagem acima uma diferença considerável quando o sistema funciona com ou sem o controle de ruídos. O restante do programa é comentado de forma autoexplicativa e seguindo a explicação do PID. Vale ressaltar também que os valores de k_i , k_d e k_p são completamente empíricos, sendo necessário testá-los até atingir valores mais aceitáveis e não experimentais como os demonstrados no teste do protótipo. As Figuras 10, 11 e 12 a seguir, ilustram as informações contidas no programa.

Figura 10 - Parte 1 do programa.

```
//----- criando variáveis -----//
float er, p, ei, in, ea, d, pid;

//----- variável do PID -----//

float ki = 1; float kd = 5; float kp = 5;

float sp = 45; //Set point (temperatura desejada)

//-----//

#define aux 40 // Quantidade de interações com a média móvel

const int LM35 = A0; // Define o pino que irá ler o terminal do LM35
float temp_real; // Variável para armazenar a temperatura
int mosfet = 6; // Saída do mosfet

long media_movel(int temp_real); // Média móvel da temperatura
float vetor[aux]; // Vetor da temperatura
float temp_filtrado; // temperatura real com redução de ruídos

void setup() {

  pinMode(mosfet, OUTPUT); // Declarando que a porta do relé é de saída
  Serial.begin(9600); // Declarando a frequência de comunicação com o monitor serial
```

Fonte: Acervo dos pesquisadores (2023).

Figura 11 - Parte 2 do programa.

```
// ----- Criando a média móvel para estabilizar a leitura do LM35 ----- //
```

```
temp_real = (float(analogRead(LM35))*5/(1023))/0.01;  
temp_filtrado = media_movel(temp_real);
```

```
// ----- Criando o sistema PID ----- //
```

```
// Calculando o erro  
er = sp - temp_filtrado;
```

```
// Controle proporcional  
p = kp*er;
```

```
//Controle integral  
ei = ei + er; // Erro integral  
in = ki*ei; //controle integral
```

```
//Controle derivativo  
d = kd*(er - ea); //Controle derivativo
```

```
//PID  
pid = (p+in+d)/200; //PID = (Kp*er) + (Ki*ei) + (Kd*(er-ea)); Controle PID
```

```
//Limitando os valores para ficarem ideais para saída PWM  
if(pid<0){  
    pid=0;  
}  
if(pid>255){  
    pid=255;  
}
```

```
ea = sp - temp_filtrado; // Erro anterior
```

Fonte: Acervo dos pesquisadores (2023).

Figura 12 - Parte 3 do programa.

```
// ----- Imprimindo valores no Monitor serial ----- //
```

```
Serial.print(sp);  
Serial.print(" ");  
Serial.print(temp_filtrado);  
Serial.print(" ");  
Serial.println(pid*0.3921); // O valor foi multiplicado por 0.3921 apenas para facilitar a leitura do gráfico
```

```
// ----- Acionando o mosfet ----- //
```

```
analogWrite (mosfet,pid);
```

```
}
```

```
// ----- Criando a média móvel ----- //
```

```
long media_movel(float sig){  
    int i;  
    long acc = 0;
```

```
    for(i = aux; i > 0 ; i--) vetor[i] = vetor[i-1];
```

```
    vetor[0] = sig;
```

```
    for (i=0; i < aux; i++) acc += vetor[i];
```

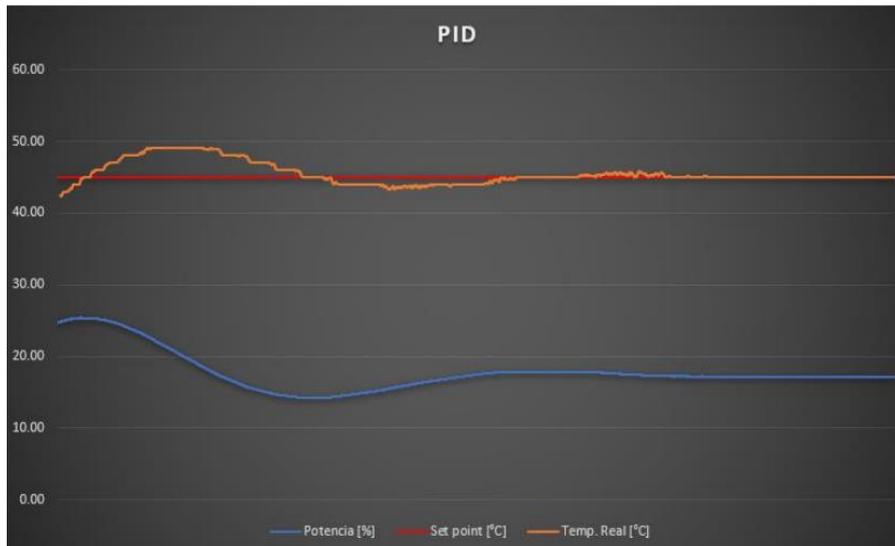
```
    return acc/aux;
```

```
}
```

Fonte: Acervo dos pesquisadores (2023).

Como principal resultado do experimento, verificou-se que o protótipo funcionou perfeitamente. Como já foi dito anteriormente, os valores de regulação do PID são completamente empíricos e por isso, foram feitos vários testes até atingirmos um resultado aceitável que foi $k_i = 0,1$; $k_d = 5$ e $k_p = 3$. Com estes valores, foi possível obter uma variação de média de variação de 1% com a temperatura variando ± 2 °C em alguns pontos depois que a temperatura se estabilizou. No gráfico (Figura 13) a seguir, é possível visualizar os valores obtidos pelo protótipo:

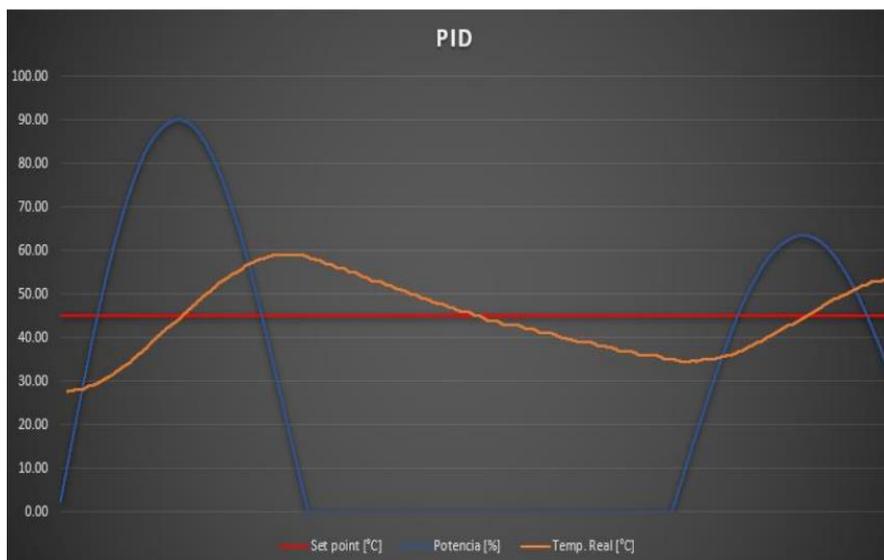
Figura 13 - Gráfico de funcionamento do protótipo.



Fonte: Acervo dos pesquisadores (2023).

Por motivos didáticos, exagerou-se nos valores de controle do PID apenas para ver uma resposta mais rápida do sistema, e então obteve-se o seguinte resultado:

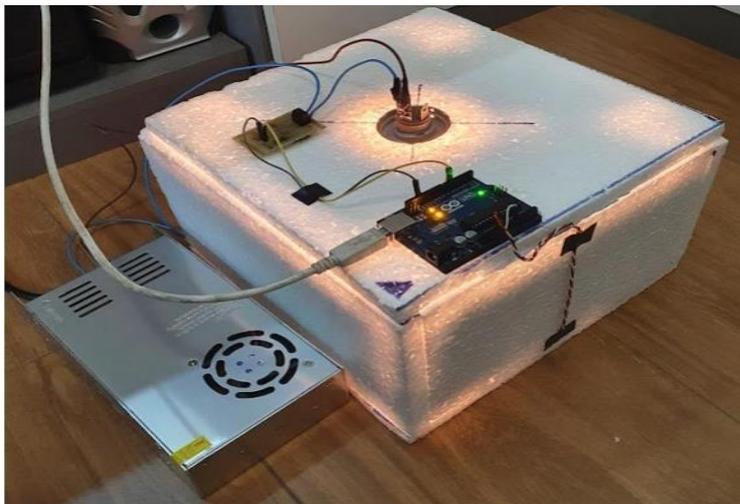
Figura 14 - Gráfico de funcionamento com PID exagerado.



Fonte: Acervo dos pesquisadores (2023).

Neste segundo gráfico, é possível observar como que o mínimo de alteração nos valores de PID ($k_i = 1$; $k_d = 8$ e $k_p = 8$) foram o bastante para fazer com que o protótipo atingisse um comportamento completamente diferente. Neste teste, obteve-se uma média de variação de 2% e uma diferença de +14 °C e -23 °C mostrando um sistema com uma variação muito maior do que o primeiro gráfico. Apesar do medo do isopor não aguentar a temperatura de trabalho da lâmpada, ele trabalhou com 100% da força várias vezes, mantendo-se intacto, reforçando a sua boa capacidade isolante, como é conhecido desse tipo de material e por isso é indicado para esse tipo de trabalho (Higashiyama, 2021). As Figuras 15 e 16 a seguir ilustram o protótipo em funcionamento:

Figura 15 - Protótipo funcionando.



Fonte: Acervo dos pesquisadores (2023).

Figura 16 - Parte interna do protótipo em funcionamento.



Fonte: Acervo dos pesquisadores (2023).

Ou seja, como é possível observar pelas imagens que revelam o resultado da montagem do protótipo, mesmo com diferentes adaptações para que o modelo funcionasse bem, sem que sua estrutura fosse danificada nos períodos de teste. Além disso, a estrutura do protótipo construído permitiu a realização de observações importantes de como deve ser as estufas de filamentos para as impressoras 3D.

4. Considerações Finais

Essa pesquisa teve como principal objetivo descrever o processo da construção de um protótipo de utiliza um sistema PID de baixo custo e com alta resistência térmica. Considera-se que esse objetivo foi alcançado, uma vez que o desempenho que o protótipo atingiu foi muito satisfatório pelo baixo custo investido e por ser uma área nova da qual o grupo está explorando. Foi de total compreensão dos pesquisadores envolvidos, que a tentativa de aplicações do sistema PID em um protótipo caseiro de baixo custo cria uma visão muito mais ampliada sobre as possibilidades de montagem desse tipo de equipamento.

Verificou-se também que o controle PID torna o processo bem mais preciso uma vez que sem ele, o sistema se torna mais instável, podendo interferir por exemplo, em processos industriais. Através do estudo realizado, adquiriu-se também conhecimentos sobre a transferência de calor, eletrônica e programação, o que é importante considerar, pois para se realizar esse tipo de experimento, conseqüentemente pauta-se em saberes teóricos para que a prática funcione corretamente, e no caso desse estudo, ambos teoria e prática puderam ser aprimorados.

Como observações para pesquisas futuras, considera-se que caso o projeto seja replicado, é indicado que se use fontes menos potente e apenas um MOSFET mais adequado atenderia ao projeto. Outra coisa que é possível considerar que, após a instalação da lâmpada na parte superior da estufa, a concentração de calor estará sempre na parte superior da estufa, o que não é o ideal. O ideal seria que a lâmpada estivesse instalada na parte inferior para que a convecção gerasse uma temperatura mais homogênea na estufa. E para resolver esse tipo de problema, sugere-se a instalação de um display de cristal junto com uma chave seletora para acompanhamento da temperatura e um controle do PID sem ter a necessidade de um computador por perto.

Referências

- Aliexpress. (2023). Custos do projeto. <https://aliexpress.com>.
- Banzi, M. & Shiloh, M. (2015). *Primeiros Passos com o Arduino: A plataforma de prototipagem eletrônica open source*. Novatec Editora.
- Barbosa, C. M. D., et al. (2018). Automação de um processo alternativo da pasteurização do leite utilizando ação de controle on-off. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 10 (1), 41-52.
- Ferreira, L. M., Hochman, B. & Barbosa, M. V. J. (2005). Modelos experimentais em pesquisa. *Acta Cirúrgica Brasileira*, 20, 28-34.
- Figueiredo, B. B. & Gioconco, F. I. (2022). Um estudo da utilização da impressora 3D na engenharia e na medicina. *RECISATEC-Revista Científica Saúde e Tecnologia-ISSN 2763-8405*, 2 (1), e2170-e2170.
- Formiga, C. V. E. & Carneiro, M. L. (2021). Impressão 3D para construção civil: revisão da literatura e desafios. *Revista de Engenharia e tecnologia*, 13 (4).
- Gimenes, A. H. & Pereira, P. (2015, julho). *Utilização da Plataforma Arduino como Ferramenta de Controle para um Sistema de Nível de Líquidos*. XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica - Unicamp, Campinas, SP.
- Higashiyama, M. E. (2021). *Retrofit do sistema de alimentação de uma impressora 3D industrial para uso de filamentos de baixo custo* (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR.
- Júnior, A., et al. (2020). Um material potencialmente significativo para o ensino da engenharia civil utilizando impressora 3D e realidade aumentada: uma experiência com alunos do ensino médio e do ensino superior. *Brazilian Journal of Development*, 6(3), 10855-10868.
- Lima, G. F. (2013) *Controle de temperatura de um sistema de baixo custo utilizando a placa arduino*. IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN, Currais Novos, Rio Grande do Norte.
- Másterwalker shop. (2023). Sensor de temperatura LM35. <https://blogmasterwalkershop.com.br/>.
- Mcroberts, M. (2018). *Arduino básico*. Novatec Editora.
- Monk, S. (2013). *Programação com Arduino: começando com Sketches*. Bookman Editora.
- Perez, A. L. F., et al. (2013). *Uso da Plataforma Arduino para o Ensino e o Aprendizado de Robótica*. International Conference on Interactive Computer aided Blended Learning, Florianópolis, Santa Catarina.
- Plataforma Thinkcard. (2023). Sistema elétrico. <https://www.tinkercad.com/things/9GrQNZvUKWf-plataformas-de-simulacao-de-circuitos>.
- Ribeiro, A., et al. (2018). O uso da impressão 3D na construção civil. *Anuário Acadêmico-científico da UniAraguaia*, 7(1), 142-144.
- RTI automação. (2023). Esquema de sistema fechado. <https://www.rtiautomacao.com.br/>.
- Sangar, M. M. (2022). *Estudo de células fotovoltaicas (solares) utilizando como elemento construtivo MOSFET com geometria de porta não convencional*. (Dissertação Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, SP.
- Santana, L., et al. (2016). *Avaliação da composição química e das características térmicas de filamentos de PLA para impressoras 3D de código aberto*. IX Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Fortaleza, CE.
- Santana, L., et al. (2018). Estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 23.

Silva, Í. S. (2022). *Utilização de um controle PID de temperatura para estudo de resfriamento termoelétrico* (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE.

Silveira, D. T. & Córdova, F. P. (2009). *A pesquisa científica. Métodos de pesquisa*. Editora da UFRGS. 33-44.

Song, Y. S., et al. (2022). *Projeto de chip IC com reconhecimento térmico combinando materiais de alta condutividade térmica e MOSFET GAA*. 5ª Conferência Internacional de Circuitos, Sistemas e Simulação (ICCS). IEEE, 135-140.

Spohr, D. L., Sánchez, F. A. L. & Marques, A. C. (2021). Estudo da viabilidade de fabricação de filamentos compósitos sustentáveis para impressão 3D a partir de uma matriz PLA reforçada com resíduos de fibras de madeira. *MIX Sustentável*, 7 (4), 115-126.