

Projeto Controle de Temperatura com PID em Malha Fechada

André Saibert Mattos & Thiago Oliveira Castro

IFMT – Octayde Jorge Da Silva

andrescmattos@hotmail.com & thiagoliveira_007@hotmail.com

Resumo – O presente trabalho tratasse de um projeto que realiza o controle de temperatura em um dissipador de calor, o intuito do projeto é fazer com que o microcontrolador ESP32 faça o controle da temperatura do bloco de alumínio, através da comunicação PWM. O PWM controla a corrente que passa pelas resistências alojadas no interior do dissipador desta forma irá definir se o bloco ganha ou perder calor. A temperatura de referências é definida pelo o usuário através de um potenciômetro, sendo possível também por meio de um outro potenciômetro acionar um ventilador que gera um distúrbio para o que o ESP responda, e faça o controle correto de temperatura.

1. INTRODUÇÃO

Controlar a temperatura de ambientes construídos vêm se tornando um desafio cada vez mais necessário e complexo, devido ao aumento da temperatura ambiente global devido a fatores como efeito estufa acelerado e grande presença de poluição nas cidades. É conhecido que os seres humanos possuem temperaturas ideais para sua sobrevivência e melhor rendimento em tarefas do dia a dia, como no trabalho ou na prática de esportes. O alto nível de desenvolvimento da tecnologia aplicada à engenharia torna essa tarefa mais simples e fornece resultados cada vez mais satisfatórios. Baseado nesses fatores, este trabalho apresenta uma solução para o controle de temperatura em ambientes construídos para regiões tropicais e subtropicais,

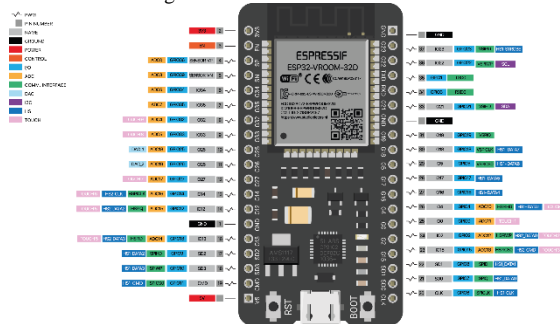
onde a temperatura é na maior parte, mais elevada. Para tanto, conseguir refrescar estes ambientes é muitas vezes o suficiente para manter a temperatura ideal, sem a necessidade de aquecer estes ambientes.

2. Revisão Teórica

2.1 Micro Controlador ESP32

“ESP32 é uma série de microcontroladores de baixo custo e baixo consumo de energia. Também é um sistema-em-um-chip com microcontrolador integrado, Wi-Fi e Bluetooth. ESP32 foi criado e desenvolvido por *Espressif* Sistemas, uma empresa Chinesa com sede em Xangai e é fabricado pela TSMC usando seu processo de fabricação de 40 nm.” (*Espressif*, 2021)

Figura 1: Datasheet ESP32 MCU



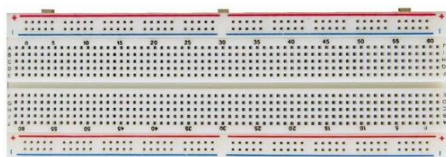
Fonte: <https://www.studiopieters.nl/esp32-pinout/>

2.2 Protoboard

“A Protoboard, também conhecida como placa de ensaio, matriz de contato ou *breadboard* (em inglês), é uma placa que permite a montagem e teste de circuitos sem a necessidade de soldar,

apenas “espetando” os componentes na placa. Com isso, é possível montar um circuito que não conhecemos muito bem seu comportamento e efetuar diversos testes, tendo a liberdade de substituir os componentes da forma que desejar e só soldar o circuito em uma placa definitiva quando tudo estiver testado e funcionando perfeitamente.” (ATHOS, 2021)

Figura 2: Protoboard

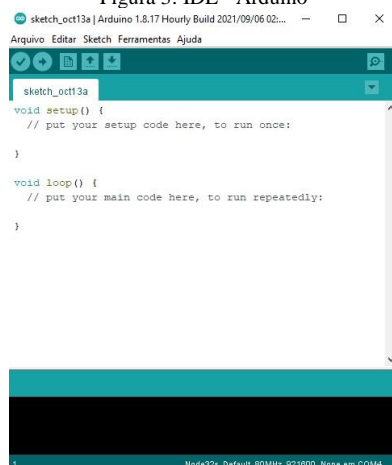


Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1006852465-10-protoboard-breadboard-830-pontos-furos-pic-raspb-_JM

2.3 IDE – Arduino

“A IDE do Arduino é um ambiente de desenvolvimento integrado. Em outras palavras, é um espaço onde você tem tudo que precisa para programar sua placa baseada nessa plataforma escrevendo seus códigos de maneira satisfatória, rápida e eficiente” (Torres, 2013)

Figura 3: IDE - Arduino



Fonte: Autoria Própria e consultar dados. (ORACLE, 2021)

Módulos de display LCD de caracteres alfanuméricos são interfaces de comunicação visual muito úteis e atraentes. Eles se encontram em quase todos os aparelhos domésticos, eletroeletrônicos, automóveis, instrumentos de medição etc. São dispositivos que possuem interfaces elétricas padronizadas e recursos internos gráficos e de software que permitem facilmente a permuta por outros de outros fabricantes, sem que seja necessário alterar o programa de aplicação. Por ser altamente padronizado seu custo é baixo. É um recurso antigo, deve ter uns vinte anos de idade ou mais, mas continua atual, com suas inúmeras formas, cores, tamanhos e preços. A tecnologia predominante continua sendo o LCD (Liquid Crystal Display), porém já se pode encontrar alguns baseados em LEDs orgânicos (OLED). (PUHLMANN, 2015)

O Módulo Adaptador I2C para Display LCD foi desenvolvido com a finalidade de simplificar a conexão de display LCD ao microcontrolador. Para uma conexão de 4 bits entre o display LCD e o microcontrolador é necessário ao menos 6 cabos, logo, se o microcontrolador tiver poucas portas digitais isso poderá ser um problema. Com o Módulo Adaptador I2C para Display LCD são necessários apenas 2 cabos de comunicação entre o display LCD e o microcontrolador.

Em um projeto mais extenso e que é necessário à utilização de muitas portas digitais por parte de outros dispositivos, o Módulo Adaptador I2C para Display LCD pode ser a solução simples e prática para que você economize algumas portas digitais na ligação do seu display LCD. (Oliveira, 2018)

2.4 LCD 16x2 com I2C

Figura 4 LDC com I2C



Fonte: <https://solectroshop.com/pt/lcd/285-16x2-1602-tela-azul-iic-i2c-lcd.html>

2.5 Potenciômetro

Um potenciômetro é um tipo especial de resistor de três terminais cuja resistência pode ser ajustada por meio mecânico, girando ou deslizando um eixo móvel, formando assim um divisor de tensão ajustável.

Os potenciômetros encontram inúmeras aplicações em vários campos da tecnologia, como por exemplo em amplificadores de áudio, instrumentos musicais eletrônicos, mixers de áudio, eletrodomésticos, televisores, equipamentos industriais, joysticks, osciloscópios analógicos, e muitos outros.

Basicamente, os potenciômetros são usados de duas formas em circuitos eletrônicos: como divisores de tensão ajustáveis (aplicação mais comum) ou ainda como limitadores ajustáveis de corrente.

Figura 5 potenciômetro



Fonte: <http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/curso-de-eletronica/como-funciona-um-potenciometro/>

2.6 capacitores

Capacitor é um dispositivo capaz de acumular cargas elétricas quando uma diferença de potencial é estabelecida entre seus terminais. A capacitância dos capacitores, por sua vez, é a medida de quanta carga o dispositivo é capaz de acumular para uma determinada diferença de potencial.

Os capacitores, geralmente, são produzidos de forma simples, formados por duas placas condutoras paralelas, chamadas de armaduras, que podem ou não ser preenchidas com um meio altamente dielétrico (isolante).

Os capacitores podem ser usados para outros fins além da sua função principal, que é armazenar cargas elétricas. Esses dispositivos podem ser usados em circuitos alimentados por correntes elétricas alternadas, quando se deseja a formação de uma corrente elétrica contínua, como nos casos de eletrodomésticos, como geladeiras, liquidificadores, máquinas de lavar e etc.

Uma corrente elétrica, no entanto, não fluirá pelo circuito enquanto os capacitores não se encontrarem completamente carregados. Isso pode reduzir o desgaste produzido pelas grandes variações de corrente elétrica geradas no momento em que um dispositivo eletrônico é ligado ou desligado.

2.7 LM35

O Sensor de Temperatura LM35 é um sensor de precisão, 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 em “KELVIN”, não necessitando nenhuma subtração de variáveis para

que se obtenha uma escala de temperatura em Graus Celsius.

O LM35 não necessita de qualquer calibração externa ou “trimming” para fornecer com exatidão, valores temperatura com variações de 0,25°C ou até mesmo 0,75°C dentro da faixa de temperatura de -55°C à 150°C.

Este sensor tem saída com baixa impedância, tensão linear e calibração inerente precisa, fazendo com que o interfaceamento de leitura seja especificamente simples e o custo do sistema como um todo seja significativamente baixo.

Figura 6 Sensor LM35

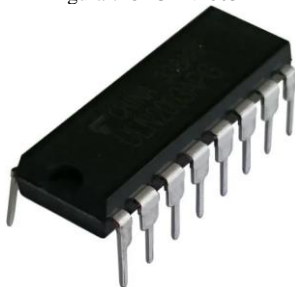


Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1068725404-sensor-de-temperatura-lm35-lm-35-arduino-raspberry-pic-arm-_JM

2.8 ULN2003A

O circuito integrado ULN2003A é um componente ideal para fazer o controle de um motor de passo de baixa corrente. O ULN2003A tem 7 entradas que podem controlar até 7 saídas, consegue trabalhar com até 50Vdc.

Figura 7 CI ULN2003A



Fonte: <https://www.baudaeletronica.com.br/ci-uln2003.html>

2.9 Resistencia

Resistores ou Resistências, são o componente mais básico e comum de todos os componentes eletrônicos utilizados. Há alguns tipos diferentes de resistores disponíveis, desde o tamanho reduzido em montagem em superfície até grandes resistências de potência.

A principal função de um resistor dentro de um circuito elétrico ou eletrônico é de "resistir" (daí o nome do resistor), regular ou para definir o fluxo de elétrons (correntes) que o atravessam. Assim transformando energia em forma de calor com o efeito joule.

Os resistores denominam-se "componentes passivos", isto é, não contêm nenhuma fonte de energia ou amplificação, mas apenas atenuam ou reduzem o sinal de tensão ou corrente que os atravessa. Esta atenuação resulta em energia elétrica que é perdida na forma de calor. Na prática, são muito comuns as resistências de carvão, as de filme de carbono ou metálico e as de fio (bobinadas).

O seu valor nominal é apresentado por faixas coloridas (código de cores), que obedecem ao seguinte critério: partindo da extremidade, as duas primeiras cores formam um número com dois algarismos; a terceira cor corresponde ao expoente da potência de 10 que multiplica o número inicial; a quarta cor corresponde à tolerância que mostra, percentualmente, a faixa de valores em que pode variar a resistência do resistor.

Figura 8 Resistências



Fonte: <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-resistencia-eletrica.htm>

3. Metodologia

Para começarmos a confecção do trabalho primeiramente foi escolhido uma maneira viável de fazer a montagem, desta forma os materiais escolhidos para fazer o trabalho foram:

- Microcontrolador ESP32;
- Um sensor de temperatura LM35;
- Duas Resistências de 22 ohms e 3w de dissipação ;
- Dissipador de calor (o mesmo utilizado em processadores);
- Dois Potenciômetros;
- Um modulo LDC;
- Um capacitor 1000uf 25V;
- Uma protoboard;
- Um CI ULN2003A;
- Ventilador USB;

Após coletar os materiais foi pensado na montagem, ela foi feita da seguinte forma, com o auxílio de uma furadeira de bancada foi feito 2 furos passantes e 1 central de 5 mm no dissipador de calor, nesses 2 furos passantes foi fixado as resistências, o sensor LM35 foi colocado no furo central. Essa montagem tem o objetivo de colocar o LM para fazer a leitura de temperatura do bloco de alumínio (o dissipador), e as resistências são responsáveis por passar o calor para aquecer o bloco.

Figura 9 Bloco de Alumínio Sendo Furado



Figura 10 Bloco Após ser Furado



Figura 11 Furos Que Foram Feitos



Figura 12 LM35 Colocado no Bloco

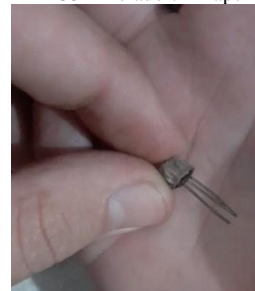


Após os furos feitos, foram colocados os componentes, as resistências foram colocadas em serie para que resistam mais e geram mais calor, em todos os componentes foram enrolados em papel alumínio para que haja folga entre os componentes e o bloco, deixando assim o sistema mais preciso por causa da condutividade melhor.

Figura 13 Componentes colocados



Figura 14 LM35 Enrolado em Papel Alumínio



Com os componentes principais conectados foi feita a regulagem de precisão do LN, para isso foi feita a leitura do datasheet.

No datasheet constava que em sua saída um sinal de 10mV para cada Grau Celsius de temperatura.

Assim para fazer a leitura do sensor, foi definido o pino analógico 4 para fazer a captação dos dados, funciona da seguinte maneira a variável o sensor manda a informação a cada 10 milissegundos, como essa recepção de informações não era constantes, então criamos uma média de informação.

Foi escolhido uma media com 32 amostras para que a oscilação variasse menos, desta forma a temperatura será uma media de 32 leituras, criando assim uma variável que se atualiza a cada 320 milissegundos.

Figura 15 Código que Faz a Leitura a Cada 320 Milissegundos

```
void leitura_Temperatura() {
    if(aux<32) {
        aux++;
        temperatura_soma += (((float(analogRead(pin_lm35))) * 5)/4095.0) / 0.
    }else{
        temperatura_Atual=0.0;
        temperatura_Atual = temperatura_soma/32;
        temperatura_soma=0.0;
        aux=0;
    }
}
```

Com a leitura funcionando foi feita a regulagem do potenciômetro para realizar essa ação foi utilizada a função map que fez o mapeamento do potenciômetro de 0 a o seu max, no caso do ESP32 o máximo é $2^{12} = 4096$. Esse mapeamento faz com que a informação chegue em porcentagem a variação que era de 0 a 4095 vira de 0% a 100%

```
map(controlePwm, 0, 4095, 0, 100));
```

Com o potenciômetro e o sensor regulados e funcionando perfeitamente chegou a hora de fazer os dois funcionarem juntos, e assim iniciou-se os testes.

O potenciômetro agora não funcionara de 0 a 100, mas de 25 a 45, o que representa a temperatura de referência em °C .

Então foi feito o teste com o potenciômetro regulado, observou-se que de fato o ESP respondia quando a temperatura se alterava porem não era de maneira eficiente funcionava apenas como ON-OFF (liga e desliga) o que não é interessante pois pode danificar alguns equipamentos, para solucionar este problema foi utilizado uma configuração de um controlador PID.

Para realizar a configuração do PID foi necessário utilizar o trabalho do Sr. Ivan Seidel como referência. Com este trabalho foi possível compreender como funciona o método PID e criar as funções.

Figura 16 Códigos Baseados no Trabalho do Sr. Seidel

```
class PID{
public:
    double error;
    double sample;
    double lastSample;
    double kP, kI, kD;
    double P, I, D;
    double pid;
    double setPoint;
    long lastProcess;
    PID(double _kP, double _kI, double _kD){
        kP = _kP;
        kI = _kI;
        kD = _kD;
    }
    void addNewSample(double _sample){
        sample = _sample;
    }
    void setSetPoint(double _setPoint){
        setPoint = _setPoint;
    }
    double process(){
        // Implementação P ID
        error = setPoint - sample;
        float deltaTime = (millis() - lastProcess) / 1000.0;
        lastProcess = millis();
        //P
        P = error * kP;
        //I
        I += ((error * kI) * deltaTime)/3.125;
        //D
        D = (lastSample - sample) * kD / deltaTime;
        lastSample = sample;
        // Soma tudo
        pid = P + I + D;
        return pid;
    }
};
PID meuPid(700, 20, 5);
```

Durante os testes observasse que o dissipador funcionava muito bem o que prejudicava o funcionamento do sistema pois as resistências não eram muito potentes fazendo com que o sistema esfriava mais rápido que se esquentava.

Para solucionar este problema, as aletas do

dissipador foram cobertas por fida adesiva, assim a temperatura demora mais para dissipar.

Figura 17 Dissipador Com as Aletas Tampadas

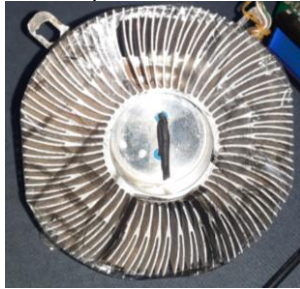
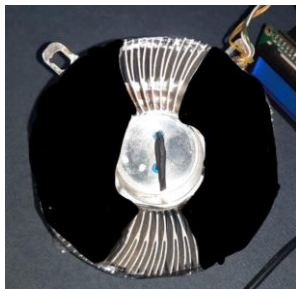


Figura 18 Dissipador colorido no local onde as Aletas Tampadas

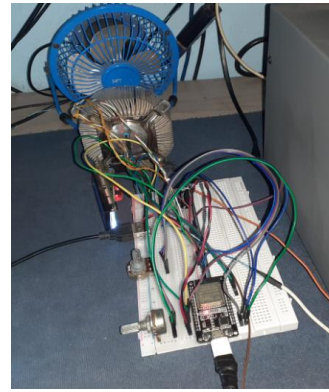


E para finalizar foi acrescentado um ventilador para ventilador USB para fazer o distúrbio.

Figura 19 Ventilador USB



Figura 20 Resultado do circuito



4. CONCLUSÕES

Por fim pode-se concluir que o controlador PID é uma excelente opção para a aplicação sugerida que é o desenvolvimento de um controlador automático de temperatura a partir de uma temperatura definida, se mostrando um excelente algoritmo de controle e fácil de ser implementado.

Surpreendentemente nem todos os três ganhos foram necessários para estabilizar a malha de controle, uma vez que a resposta de saída da planta foi de um sistema de primeira ordem bastando apenas um ganho proporcional para reduzir o erro de estado estacionário.

Contudo também foi observado durante os testes um leve atraso na resposta da temperatura, fazendo o nível oscilar cerca de $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre o instante de leitura.

Para aperfeiçoar ainda mais o controle e tornar este ainda mais estável pode-se em trabalhos futuros colocar um sensor mais preciso e uma fonte mais estável para que a tensão oscile menos.

5. REFERÊNCIAS

ATHOS ELECTRONICS (Brasil). **Protoboard – O que é – Simulador Online**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://athoselectronics.com/protoboard-simulador-online/>. Acesso em: 6 out. 2021.

ESP32: A feature-rich MCU with integrated Wi-Fi and Bluetooth connectivity for a wide-range of applications. [S. l.], 26 set. 2021. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>. Acesso em: 6 out. 2021.

PUHLMANN, Henrique Frank Werner. **Módulo de Display LCD**. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/modulo-de-display-lcd/>. Acesso em: 15 nov. 2021.

SEIDEL, Ivan. **Sistemas de Controle 2: Projeto de sistema de controle digital PID com Arduino**. [S. l.], 2014. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18706/material/Lab%20Projeto.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2021.