



# Construção de um forno de refusão com componentes de baixo custo

## Construction of a reflow oven using low-cost components

Rafael Micael Balduino<sup>1</sup>, Eduardo Vinicius Botega<sup>2</sup>, Jonas Joacir Radkte<sup>3</sup>

### RESUMO

O desenvolvimento tecnológico permite que atualmente qualquer pessoa possa criar pequenos equipamentos eletrônicos em casa, tanto por simples curiosidade como para automatizar pequenas tarefas do dia-a-dia. As pessoas que se aventuram nesse desenvolvimento são chamados de makers e, normalmente, utilizam o microcontrolador Arduino para fazer tais projetos. Além do Arduino são necessários vários outros componentes eletrônicos, que podem ser organizados em uma placa de circuito impresso. A soldagem dos componentes pode ser realizada manualmente ou com o auxílio de uma forno de refusão, quando são utilizados componentes SMD. O alto custo e escassez no mercado desse tipo de forno criam uma necessidade de produção caseira desse equipamento. Com o intuito de atender essa demanda, o presente projeto utilizou um microcontrolador Arduino Nano, para controlar a temperatura de uma chapa de aquecimento. Para isso, foi utilizado um método de controle de processos chamado PID. O forno foi desenvolvido e testado utilizando uma pasta de solda de composição 63% lítio e 37% de chumbo, mas permite que o usuário ajuste os parâmetros do forno para utilização com outros tipos de pasta. O forno construído irá atender as demandas do laboratório de fabricação do campus e os conhecimentos desenvolvidos pelos alunos foram repassados à aproximadamente 40 alunos do ensino médio, através de oficinas e cursos de robótica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Arduino; Controle PID; Forno de refusão; PCB.

### ABSTRACT

Technological development currently allows anyone to create small electronic devices at home, both out of simple curiosity and to automate small day-to-day tasks. People who venture into this development are called makers and normally use the Arduino microcontroller to make such projects. In addition to the Arduino, several other electronic components are needed, which can be organized on a printed circuit board. The soldering of components can be carried out manually or with the aid of a melting furnace, when SMD components are used. The high cost and scarcity of this type of oven on the market create a need for home production of this equipment. In order to meet this demand, this project used an Arduino Nano microcontroller to control the temperature of a heating plate. For this, a process control method called PID was used. The oven was developed and tested using a solder paste with a composition of 63% lithium and 37% lead, but allows the user to adjust the oven settings for use with other types of paste. The oven built will meet the demands of the campus' manufacturing laboratory and the knowledge developed by the students was passed on to approximately 40 high school students, through workshops and robotics courses.

**KEYWORDS:** Arduino; PID controller; Reflow oven; PCB.

<sup>1</sup> Bolsista de extensão. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil. E-mail: [rbalduino@alunos.utfpr.edu.br](mailto:rbalduino@alunos.utfpr.edu.br). ID Lattes: 6582093904245111.

<sup>2</sup> Aluno de extensão. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil. E-mail: [edubot.2003@alunos.utfpr.edu.br](mailto:edubot.2003@alunos.utfpr.edu.br). ID Lattes: 6056829003611454.

<sup>3</sup> Docente do Departamento Acadêmico de Física, Estatística e Matemática. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil. E-mail: [jonas@utfpr.edu.br](mailto:jonas@utfpr.edu.br). ID Lattes: 7202527344656915.



## INTRODUÇÃO

As placas SMD são amplamente utilizadas na fabricação de dispositivos eletrônicos devido à sua capacidade de acomodar componentes de forma compacta e eficiente. Ao contrário dos componentes com furos passantes, os componentes SMD são soldados diretamente na superfície da placa de circuito impresso. Isso resulta em dispositivos eletrônicos mais compactos e leves, ideais para aplicações modernas.

A soldagem é feita de uma pasta de microesferas da liga metálica. Ela é passada nas ilhas de cada entrada do componente, quando se obtém a temperatura correta a pasta se espalha pelas ilhas. Assim, quando a fonte de calor for removida a liga metálica volta ao estado sólido prendendo os componentes na placa (JUSTI, 2009).

Com o objetivo de construir um equipamento que faça a soldagem destes componentes de uma maneira eficiente, foi utilizado um Arduino. Um microcontrolador acessível e versátil, utilizado para fazer leituras com sensores, controlar atuadores e interagir com o usuário, sendo possível realizar várias funções. Existem muitos modelos deste controlador, com diversos tamanhos e especificações (FERRONI, 2015). O escolhido para este projeto foi o modelo Nano, pois se tratar de uma versão de tamanho e preço reduzido, mas com velocidade e memória suficiente para o que é designado.

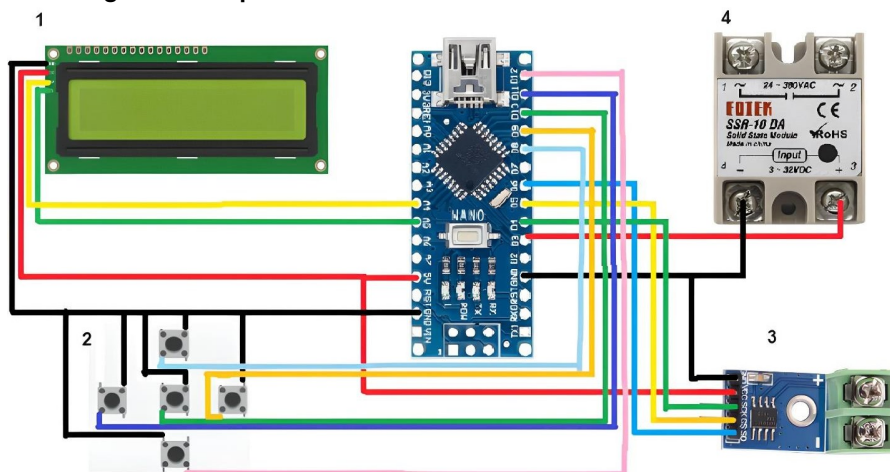
Utilizando o microcontrolador foi aplicado a técnica de controle PID sobre o processo de aquecimento. Para isso, foi utilizada uma porta digital PWM do Arduino. O PID é uma forma de controle utilizado na engenharia para realizar o controle de um processo industrial, que busca chegar a um valor objetivo de forma adaptável ao meio, para controlar variáveis como temperatura, volume, umidade, entre outras (SMITH, 2008).

O conhecimento teórico e prático envolvendo conceitos básicos de eletrônica, programação e construção foram utilizados para a realização de cursos e oficinas em dois colégios públicos da cidade de Francisco Beltrão – PR. O objetivo destes cursos foi fornecer aos alunos do ensino médio conhecimentos básicos sobre robótica e envolvê-los em atividades construtivas. Desta forma, procurou-se estimulá-los ao estudo de disciplinas básicas com matemática e física, além de despertar o interesse por programação e desenvolvimento de equipamentos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de construir um forno de refusão de baixo custo, foi utilizado um microcontrolador Arduino Nano, uma chapa de ferro de passar roupas, um termopar, um relé de estado sólido, um display LCD e cinco botões de pressão. O desenho esquemático da eletrônica é apresentado na Figura 1. A montagem do circuito eletrônico foi realizado em uma placa ilhada, que permite fixar os componentes de forma prática e rápida. Para projetar esse circuito foi utilizado o EasyEDA, que é um software online e gratuito.

Figura 1 – Esquemático do circuito eletrônico do forno de refusão



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O Arduino é responsável pelo monitoramento e controle da temperatura da chapa de aquecimento. A leitura da temperatura é realizada através de um termopar do tipo K juntamente com um conversor analógico-digital modelo MAX6675. O acionamento da resistência elétrica da chapa de aquecimento é realizado através de um relé de estado sólido, modelo SSR 10DA.

Para realizar o ajuste de temperatura com precisão, foi implementado um controle proporcional integral derivativo (PID). O efeito proporcional gera um valor proporcional ao erro, o efeito integral atua no sentido de reduzir os erros residuais, e o derivativo tem como objetivo realizar uma ação de predição para deixar o sistema mais preciso.

O controle PID foi implementado no Arduino utilizando uma biblioteca. A biblioteca fornece um valor do ajuste que deve ser aplicado no sinal PWM do microcontrolador, que controla o relé limitando a quantidade de energia que é enviada para a chapa de aquecimento. O cálculo desse ajuste é realizado com base nas temperaturas lidas pelo termopar ao longo do tempo e na temperatura desejada (setpoint) em cada etapa do processo.

O ajuste dos parâmetros do PID, os tempos e as temperaturas de cada estágio do processo de soldagem podem ser realizados no forno através da interface com o usuário. A interface possui um display LCD e cinco botões. O acompanhamento do funcionamento do forno pode ser realizado pelo display LCD.

A estrutura do forno foi projetada no software Onshape, uma ferramenta online e gratuita de desenho assistido por computador (CAD). Uma estrutura metálica foi utilizada para a parte que é aquecida e partes em acrílico foram utilizadas para a montagem do painel de controle. As partes de acrílico foram cortadas em uma fresadora CNC.

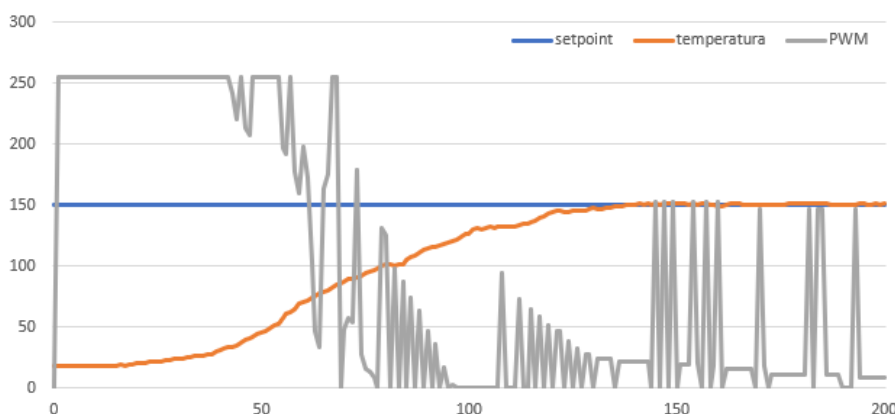
O conhecimento sobre eletrônica obtido pelos integrantes do projeto foi utilizado para o desenvolvimento de cursos para alunos de engenharia do campus e para estudantes de colégios do município de Francisco Beltrão – PR. Em um colégio foi realizado uma oficina sobre o Arduino e em outro foi realizado um curso de robótica com ao alunos do ensino médio.



## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para que o controle PID funcione corretamente é necessário a calibração de três parâmetros ( $k_P$ ,  $k_I$  e  $k_D$ ), associados as componentes proporcional, integral e derivativa. Para determinar os valores destes parâmetros foi utilizado o método de Ziegler-Nichols (OLIVEIRA, 2016). Na Figura 2 são apresentados os valores do setpoint, PWM e temperatura ao longo do tempo, de onde podemos observar que o controle funcionou corretamente.

Figura 2 – Resultados obtidos com o ajuste dos parâmetros do controle PID.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Cada tipo de pasta de solda possui uma composição, o que determina um ponto de fusão específico na qual a pasta fica no estado líquido. Para atender estas especificidades cada liga metálica possui uma curva de aquecimento e um ponto de fusão característico. O tipo de pasta mais comum, e utilizado para os testes do forno, possui 63% de lítio e 37% de chumbo.

A curva de aquecimento pode ser separada basicamente em três principais estágios, que envolvem o pré-aquecimento, soldagem e resfriamento. As temperaturas e os tempos definidos para cada estágio e utilizados nos testes são apresentados no Tabela 1. Os tempos e temperaturas de cada estágio podem ser ajustados pelo usuário para atender as diferentes tipos de pasta e/ou melhorar o processo de soldagem.

Tabela 1 – Valores utilizados em cada estágios da curva de aquecimento da PCB.

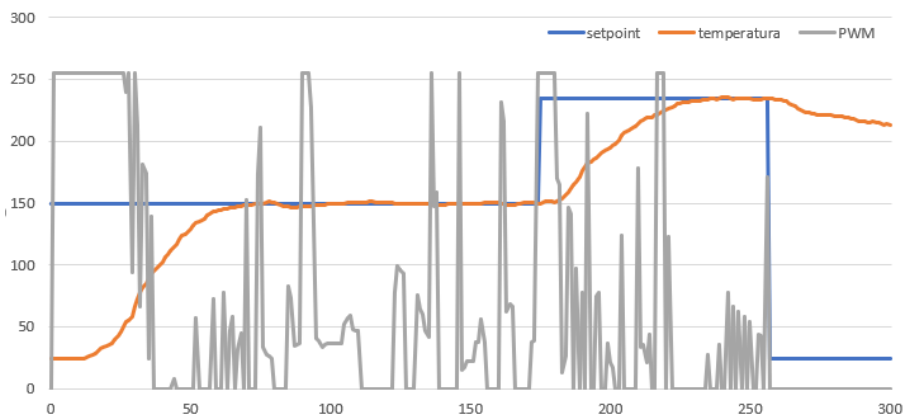
Estágio	Tempo (s)	Temperatura ( $^{\circ}C$ ) %
Pré-aquecimento	80	150
Soldagem	20	230
Resfriamento	120	50

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na Figura 3 é apresentado o setpoint, a curva de temperatura obtida no processo de soldagem SMD e o sinal PWM gerado pelo Arduino para acionamento da resistência elétrica. Conforme pode ser observado, a temperatura se estabilizou no valor do setpoint após um período razoável de tempo. Mais testes serão realizados para ajustar melhor os parâmetros do PID e um cooler será instalado para acelerar o resfriamento.



Figura 3 – Exemplo de figura



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No contexto educacional, o projeto conseguiu atingir seus objetivos de fornecer conhecimentos de programação e eletrônica básica para mais de 50 estudantes do ensino médio e superior. Estes estudantes tiveram a oportunidade de criar pequenos projetos e visualizar seus resultados tanto em um emulador como fisicamente.

## CONCLUSÕES

O presente projeto conseguiu contribuir com o laboratório de fabricação do campus com a construção de um forno de refusão para soldagem SMD. Na realização desse projeto os alunos tiveram a oportunidade de colocar em prática e expandir diversos conhecimentos obtidos em disciplinas básicas do curso de engenharia, tais como algoritmos, desenho técnicos, física, entre outros.

O conhecimento desenvolvido pelos integrantes do projeto deu suporte a realização de cursos e oficinas para alunos do ensino médio e superior. Tais atividades contribuíram para despertar o interesse dos estudantes em cursos tecnológicos, bem como estimular o trabalho em equipe entre os envolvidos.

## Agradecimentos

Agradecimento à PROREC pela bolsa de extensão ao primeiro autor deste trabalho.

## Disponibilidade de Código

O código está disponível em <http://paginapessoal.utfpr.edu.br>.

## Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.



## REFERÊNCIAS

- FERRONI, Eduardo et al. **A plataforma Arduino e suas aplicações**. [S.l.]: *UI<sub>1</sub>PSantarm*, 2015.
- JUSTI, Marcos Antonio. Automatização do controle de processo de refusão de solda Lead Free em uma linha de produção SMD, 2009.
- OLIVEIRA, João Paulo Apoliano et al. Control Plant Generic PID Controllers Using the Second Tuning Method Ziegler-Nichols. **ITEGAM-JETIA**, v. 2, 2016.
- SMITH, Carlos A. **Princípios e Prática do Controle Automático de Processo**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.