

## 14º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2023

### Forno de Temperatura Controlada para Tratamento Térmico

GABRIELLI BERTOLANI DE LIMA<sup>1</sup>, JOÃO FRANCISCO FURLAN DO AMARAL<sup>2</sup>, MARCOS JOSÉ BATISTA<sup>3</sup>, VINÍCIUS PIRES LOPES<sup>4</sup>, ALEXANDRE CAMARGO DE MENEZES<sup>5</sup>, RODRIGO EDUARDO PREDOLIN<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Formando em técnico mecatrônico, IFSP Campus Avaré, [bibibertolani@gmail.com](mailto:bibibertolani@gmail.com).

<sup>2</sup> Formando em técnico mecatrônico, IFSP Campus Avaré, [jegloaofds@gmail.com](mailto:jegloaofds@gmail.com).

<sup>3</sup> Formando em técnico mecatrônico, IFSP Campus Avaré, [mb2287381@gmail.com](mailto:mb2287381@gmail.com).

<sup>4</sup> Formando em técnico mecatrônico, IFSP Campus Avaré, [pireslopesvinicius@gmail.com](mailto:pireslopesvinicius@gmail.com).

<sup>5</sup> Orientador, Professor EBTT da área de Elétrica, [alexandre.camargo@ifsp.edu.br](mailto:alexandre.camargo@ifsp.edu.br).

<sup>6</sup> Coorientador, Professor EBTT da área de Mecânica, [rodrigo.predolin@ifsp.edu.br](mailto:rodrigo.predolin@ifsp.edu.br).

**RESUMO:** No processo de fabricação de facas, o tratamento térmico é um processo crucial que visa agregar dureza, resistência e tenacidade do aço utilizado. Uma das formas de realizar o tratamento térmico é com a utilização de um forno de temperatura controlada. Este tipo de forma baseia-se na busca por um controle preciso e eficaz do processo de tratamento térmico. Essa abordagem personalizada oferece as condições necessárias para alcançar os melhores resultados possíveis no tratamento de materiais ferrosos, atendendo às necessidades específicas do processo. O presente projeto teve como objetivo construir um forno de temperatura controlada, visto que uma solução comercial do mesmo não tinha um preço acessível. Inicialmente foram realizados os cálculos de dimensionamento do forno, sendo, posteriormente, realizada a usinagem da caixa de comando. O projeto foi finalizado, entretanto, estão sendo realizados testes dos parâmetros do controlador de proporcional, integral e derivativo, para que possa ter um ganho rápido e preciso de temperatura atendendo as necessidades do projeto.

**PALAVRAS-CHAVE:** forno; temperatura; controlada; precisão; processo.

### Controlled Temperature Oven for Heat Treatment

**ABSTRACT:** In the knife manufacturing process, heat treatment is a crucial process that aims to add hardness, resistance and tenacity to the steel used. One of the ways to carry out heat treatment is using a temperature-controlled oven. This type of form is based on the search for precise and effective control of the heat treatment process. This personalized approach offers the conditions to achieve the best possible results in the treatment of ferrous materials, meeting the specific needs of the process. The aim of this project was to build a temperature-controlled oven, as a commercial solution was not affordable. Initially, the oven sizing calculations were carried out, and the control box was then machined. The project has been completed, however, tests are being carried out on the parameters of the proportional, integral and derivative controller, so that it can have a quick and accurate temperature gain meeting the needs of the project.

**KEYWORDS:** oven; temperature; controlled; precision; process.

## INTRODUÇÃO

O tratamento térmico é um processo crucial na fabricação de lâminas de facas, visando melhorar a dureza, resistência e tenacidade do aço utilizado. Neste artigo, explora-se os detalhes desse processo quando realizado em forjas. O processo de tratamento térmico de lâminas de facas em forjas envolve três estágios principais: aquecimento, manutenção da temperatura e resfriamento. Na fase de aquecimento, as lâminas de facas são aquecidas a uma temperatura crítica, conhecida como temperatura de austenitização. Isso permite que a estrutura cristalina do aço se transforme em austenita, uma fase com maior mobilidade dos átomos. Logo após, tem-se a fase de manutenção da temperatura, uma vez atingido o estado de austenitização, as lâminas são mantidas nessa temperatura por um período determinado. Esse tempo é essencial para permitir que os átomos de carbono se difundam de maneira homogênea na austenita, preparando o material para a próxima fase. Posteriormente, o resfriamento é a etapa crítica para definir as propriedades finais da lâmina. Pode ser realizado de diferentes maneiras, como têmpera, revenimento ou resfriamento lento. A escolha do método de resfriamento influencia diretamente a dureza, a tenacidade e a estrutura do aço. (Callister Jr., 2020)

O forno elétrico de temperatura controlada é empregado em procedimentos de tratamento térmico para materiais de natureza ferrosa. Este tipo de forno incorpora um sistema de controle PID, que promove uma maior precisão no processo e eficácia no monitoramento e controle da temperatura. O processo de aquecimento é desencadeado por meio de uma resistência, a qual dissemina calor na câmara do forno, que pode chegar até uma temperatura máxima de 1100° C. Destaca-se que a câmara do forno se caracteriza por um notável isolamento térmico.

## MATERIAL E MÉTODOS

Na realização da construção desse projeto, diversos materiais foram empregados, alguns dos quais foram substituídos por versões mais avançadas e modernas. Por exemplo, o controlador PID, originalmente o REX C-100, foi aprimorado para o modelo Novus N1030. No que diz respeito à resistência, optou-se por utilizar o fio Kanthal A1 16 AWG. Também foram incorporados elementos como uma caixa de passagem, que desempenhou um papel fundamental na construção da caixa de comando, além de um disjuntor de 20A, chave gangorra, termopar tipo K e elementos como tijolo isolante de densidade 0,8 kg/m<sup>3</sup> e manta refratária de 96 kg/m<sup>3</sup>. A estrutura foi construída com cantoneiras de aço, enquanto o revestimento foi realizado por meio de chapa de aço de 0.9mm.

Um destaque relevante no sistema é o controlador PID, que desempenha uma função essencial na regulação da temperatura do forno. Seu papel é assegurar a manutenção estável e precisa da temperatura, de acordo com a configuração desejada. Esse controlador opera por meio de três parâmetros distintos: proporcional (P), integral (I) e derivativo (D).

O termo proporcional, como o próprio nome indica, age de acordo com a magnitude do erro. Quanto maior a diferença entre a temperatura real e o ponto de referência desejado (set point), maior será a correção aplicada. Esse ajuste é regido por um parâmetro chamado K<sub>p</sub> (Constante Proporcional), que controla a intensidade dessa ação.

No componente integral, representado pelo K<sub>i</sub> (Constante Integral), entram em jogo as pequenas imprecisões. Ele opera com base no erro ao longo do tempo, significando que quanto mais tempo um erro de temperatura persiste, mais forte será sua influência na correção. Esse aspecto é crucial para estabilizar a temperatura do sistema.

Por fim, a parte derivativa, guiada pelo K<sub>d</sub> (Constante Derivativa), entra em ação quando há mudanças no erro. Seu papel é identificar e prever um erro iminente, permitindo uma correção mais rápida. Esse componente traz agilidade ao sistema, sendo particularmente vantajoso em sistemas de controle de temperatura, como o nosso, onde a resposta é mais lenta. Com a parte derivativa, é possível introduzir rapidez na correção da temperatura.

Na etapa de cálculos, começou-se pelo cálculo da resistência e dos outros elementos elétricos. No cálculo da resistência, foi utilizada a Equação 1, da Lei de Ohm, onde tinha-se a tensão de 220V e a corrente de 15A como parâmetros.

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{Equação 1}$$

onde:

R - resistência ( $\Omega$ );

U - tensão (V);

I - Corrente (A);

$$R = \frac{220V}{15A} \approx 14,67 \Omega$$

Em seguida tem-se o cálculo da potência, dado pela equação 2.

$$P = I \times U \quad \text{Equação 2}$$

onde,

P - Potência (W);

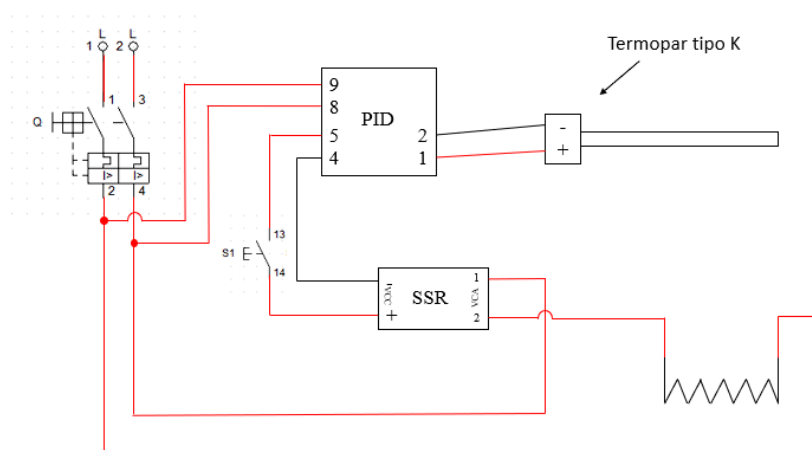
I - Corrente (A);

U - Tensão (V);

$$P = 15A \times 220V = 3.300 W$$

Na seleção do disjuntor, com o uso de tabelas de fabricantes, foi feita a seleção como critério de máxima corrente e considerando a carga resistiva do circuito. Com o valor de corrente estabelecido, o sistema operará com uma corrente de 15A, foi escolhido um disjuntor de 20A. Após a conclusão dos cálculos, avançou-se para a elaboração do diagrama elétrico que pode ser visto na Figura 1.

Com base nesse planejamento, deu-se início à usinagem da caixa de comando, que tem como base uma caixa de passagem destinada a acomodar os componentes, tais como disjuntor, chave gangorra e controlador. Essa etapa pode ser vista nas Figura 2 .



**Figura 1:** Diagrama Elétrico - Fonte: Autoria Própria.



**Figura 2:** Usinagem da Caixa de Comando - Fonte: Autoria Própria.

Depois de finalizar a montagem da caixa de comando, prosseguiu-se a etapa de construção da estrutura. As cantoneiras foram preparadas para que um dos membros da equipe pudesse realizar a soldagem conforme mostrado nas Figuras 3 e 4. Em seguida, a equipe se dedicou à elaboração do suporte destinado a fixar a caixa de comando à estrutura principal. Perfurando o material e aplicando calor para torná-lo maleável o suficiente, fazendo ser possível realizar uma dobra de 90° conforme ilustrado na Figura 5.



**Figura 3:** Corte da Cantoneira - Fonte: Autoria Própria.



**Figura 4:** Estrutura Após a Soldagem - Fonte: Autoria Própria.



**Figura 5:** Realização da Dobra da Haste que suporta a Caixa de Comando - Fonte: Autoria Própria.

Os procedimentos de preparação foram realizados, e a caixa de comando foi adequadamente posicionada na estrutura, como ilustrado na Figura 6.

Posteriormente, efetuou-se a fixação das placas de revestimento juntamente com a tampa, como demonstrado na Figura 7, com o propósito de permitir a execução do processo de pintura.



**Figura 6:** Caixa de Comando Fixada - Fonte: Autoria Própria.



**Figura 7:** Fixação das Chapas de Revestimento e Tampa - Fonte: Autoria Própria.

Após a conclusão da pintura, prosseguiu-se com a construção da resistência Figura 8 e, em seguida, a realização da montagem final do forno Figura 9.



**Figura 8:** Construção da Resistência - Fonte: Autoria Própria.



**Figura 9:** Forno Montado - Fonte: Autoria Própria.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após concluir o dimensionamento do projeto, em consonância com as demandas do membro do grupo, partiu-se para a etapa de construção, montagem e configuração tanto do forno quanto do controlador PID. Em seguida, deu-se início aos testes de desempenho, por meio desses, durante a avaliação, foi detectado um desempenho inadequado do relé, o qual foi substituído. Além disso, optamos pela adoção de um controlador mais moderno. Após inúmeros testes feitos, a configuração no



controlador, obteve-se um resultado satisfatório de estabilização da temperatura, mas o ganho proporcional não apresentou bons resultados, mesmo sendo ajustado para o maior valor possível apresentou um ganho muito alto de temperatura em um curto período de tempo, fazendo com que o disjuntor fosse desarmado.

## CONCLUSÕES

A parte física e toda a estrutura do projeto de construção de um Forno de Temperatura Controlada para Tratamento Térmico está concluída, e no atual momento, o projeto está em fase de teste dos parâmetros do controlador de proporcional, integral e derivativo, para que possa aquecer estabelecer uma curva de aquecimento de maneira adequada. Os testes iniciais mostraram que, embora o comportamento da temperatura esteja próximo ao ideal, ainda é necessário ajustar os valores dos parâmetros para obter a precisão e a curva de aquecimento desejada.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Todos os autores exerceram papéis semelhantes e importantes para o trabalho, com exceção do M. J. B. que possuía mais experiência com a mecânica e elétrica, orientando os outros participantes quando necessário.

## AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de dedicar este espaço para expressar nossa sincera gratidão às pessoas que foram fundamentais para o desenvolvimento do projeto.

Agradecemos ao A. M. G. e ao G. G. D. pelo apoio e curadoria, importantíssimos durante todo o processo. Agradecemos também ao R. E. P. pelas orientações relacionadas à estrutura do forno e ao D. E. B. pela colaboração na parte de programação e elétrica.

## REFERÊNCIAS

CALLISTER, W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 10 ed, 2021. LTC. ISBN : 9788521637288..

**Forno Elétrico Vertical 14L - Temperatura Controlada**. Aldien Comercio de Fornos LTDA. Disponível em: <https://www.aldien.com.br/produtos/forno-eletrico-vertical-14l-temperatura-controlada/>. Acessado em: 28 maio 2023.

Quintão, R. O. **Desenvolvimento de um controlador adaptativo de temperatura para fornos elétricos a resistência aplicados na soldagem de componentes SMD**. 20 fev. 2019. 73 f. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil. Disponível em: [https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1704/1/MONOGRAFIA\\_DesenvolvimentoControladorAdaptativo.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1704/1/MONOGRAFIA_DesenvolvimentoControladorAdaptativo.pdf). Acesso em: 17 de março de 2023.

Santos, R. A. **Controle automatizado de fornos para tratamento térmico em aços**. 31 março 2016. 115 f. Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil.. Disponível em: [http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/11088/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_Controle%20automatizado%20de%20fornos%20para%20tratamento%20t%C3%A9rmico%20em%20a%C3%A7os.pdf](http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/11088/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Controle%20automatizado%20de%20fornos%20para%20tratamento%20t%C3%A9rmico%20em%20a%C3%A7os.pdf) Acesso em: 28 de maio de 2023.