

# CONTROLADOR DE TEMPERATURA: CIRCUITOS DE LEITURA E CONTROLE DE TEMPERATURA

Joyce Nakamura Lopes de Sousa<sup>1</sup>, Marcelo Antonio Pavanello<sup>1,3</sup>  
<sup>1,3</sup> Departamento de Engenharia Elétrica, Centro Universitário FEI  
 joycenakamura@hotmail.com, pavanello@fei.edu.br

**Resumo:** O objetivo do projeto é construir um controlador de temperatura microcontrolado, para realização de medidas em circuitos integrados em altas temperaturas., . Para validações e simulações do circuito, foi utilizada protoboard e, posteriormente, desenvolvido o layout de circuito impresso e esquemático através do software *Altium*. Além da confecção, foram realizados testes para validação do estágio de potência, aquecedor e porta amostras, ensaiando-os utilizando um aquecedor de 30Ω em temperatura ambiente.

## 1. Introdução

O projeto de pesquisa objetiva o projeto e a construção de um porta-amostras controlado por computador (a interface com o computador será desenvolvida em outro projeto, paralelamente a este), de modo que permita a realização de medidas elétricas em temperaturas superiores à ambiente, até 300 °C, com área de 25mm x 25mm e que seja adaptável aos microprovsadores de ambiente aberto existentes no Centro Universitário FEI.

Neste artigo serão apresentados os resultados do processo de seleção os componentes eletrônicos necessários para a leitura do(s) sensor(es) de temperatura posicionados no porta-amostras, de modo a garantir que a superfície não apresente gradientes térmicos importantes. Também será apresentado o microcontrolador que realizará o controle dos subsistemas de leitura e aquecimento do porta-amostras, além de estabelecer comunicação com o computador, que será o elemento de interface com o usuário, enviando e recebendo dados.

Por fim, será apresentada a montagem realizada para ensaios iniciais, o layout que integra todos os circuitos e o resultado de testes do aquecedor.

## 2. Componentes Eletrônicos do Circuito

A metodologia empregada para escolha dos componentes foi tomar como referência a arquitetura do circuito do controlador de temperatura modelo K20, fabricado pela MMR Technologies Inc., que é utilizado no Centro Universitário FEI atualmente.

Devido a precisão de 12-bits do ADC (analog-to-digital converter) intrínseco do ESP32, foi escolhido como o modelo MAX31865 da fabricante Maxim Integrated [1] e os critérios utilizados para escolha foram resolução de 16-bits, a possibilidade de compra de uma placa de desenvolvimento que já contasse com a interface I2C ou SPI para comunicação com o microcontrolador e não estar obsoleto no mercado. Seguindo a mesma linha de critérios, o DAC (*digital-to-*

*analog converter*) escolhido foi o MCP4725 da fabricante Microchip [2].

Como microcontrolador, foi escolhido o ESP32-WROOM-32 da fabricante Espressif [3] por contar com uma CPU Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6, as interfaces SPI e I2C, que eram necessárias para comunicação com o ADC e o DAC, além de Wi-Fi e Bluetooth integrados, que podem ser utilizados futuramente.

Para garantir bons resultados e precisão na leitura dos sinais através dos circuitos ADC e DAC, foram escolhidos reguladores de tensão de alta precisão da fabricante Analog Devices como LT6654AHS6-5 e LT6654AHS6-4.096 [4].

## 3. Montagem para Teste e Confeção do Layout

Para validar o funcionamento parcial da aplicação, foi feita a montagem dos circuitos ADC, DAC e o do microcontrolador ESP32 em protoboard. Esta montagem foi suficiente para fazer as validações iniciais, utilizando sinais que simulem o cenário real produzido pelo sensor de temperatura (ADC) e para atuação no sinal PWM (*Pulse Width Modulation*) que será capaz de controlar a temperatura do porta-amostras.

Após realizar a validação parcial do circuito como leitura do sensor PT100 e comparações dos valores lidos com os obtidos pelo equipamento disponível no Centro Universitário FEI, foi transferido o circuito para o software *Altium* para gerar o circuito esquemático e a PCB (*Printed Circuit Board*). O layout conta com *dual layer* e contempla os circuitos integrados, os circuitos de comunicação serial para integração do circuito eletrônico com o computador, os reguladores de tensão de precisão e o circuito que será responsável por controlar o estágio de potência.

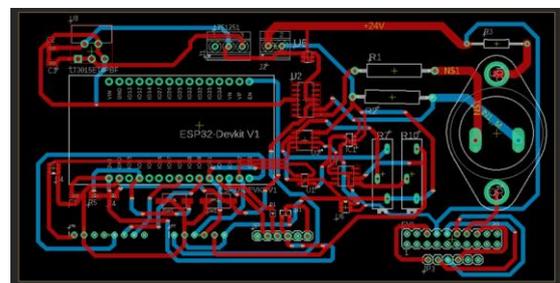


Figura 1 - Visualização dos layers Bottom, Top e footprints.

## 4. Teste do Aquecedor e Porta-Amostras

Para validar o estágio de potência, aquecedor e porta amostras, foram realizados testes utilizando o aquecedor

de  $30\Omega$  em temperatura ambiente e o circuito de acionamento do estágio de potência.

A curva obtida no controlador K20 antes de colar o aquecedor no porta amostras e utilizando 24V de alimentação teve bom resultado, atingindo temperatura de 573K.

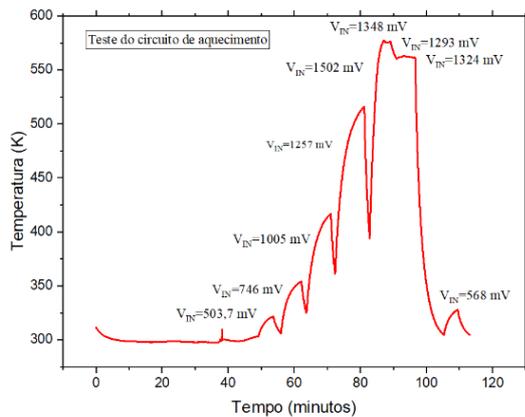


Figura 2 - Curva da temperatura na superfície do aquecedor, em função do tempo, variando a tensão de saída do conversor digital-analógico que polariza o circuito de saída.

O mesmo cenário foi reproduzido com o aquecedor montado numa chapa de cobre que serviu como porta amostras. O porta-amostras, por sua vez, foi montado sobre uma ponta de prova do equipamento LTMP da MMR Technologies, que serviu como carga e como sensor de temperatura. Estas temperaturas também foram medidas com o sensor de temperaturas montado no porta amostras. A diferença entre a temperatura monitorada no sensor montado no porta amostras e indicadas pelo controlador de temperatura K20 disponibilizado na FEI, não ultrapassaram 4 K.

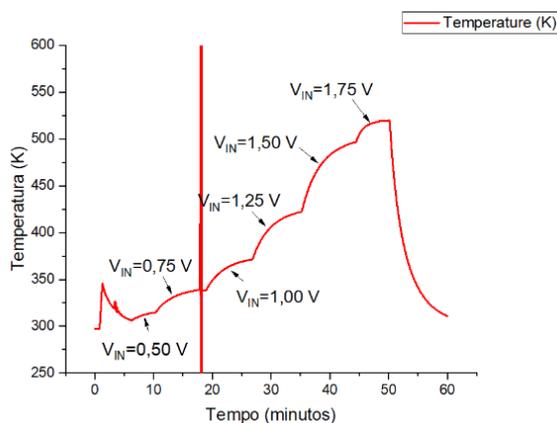


Figura 3 – Curva da temperatura na superfície do aquecedor montado no porta amostras, em função do tempo, variando a tensão de saída do conversor digital-analógico que polariza o circuito de saída.

A partir desta análise, pode-se inferir que a carga térmica fornecida pela ponta de prova impediu que a temperatura ultrapassasse 530K, assim, quando submetido a essa carga, o aquecedor de  $30\Omega$  a

temperatura ambiente não é capaz de elevar a temperatura acima deste valor.

Para verificar essa condição, futuramente será necessário realizar o teste com aquecedor de maior resistência e maior potência, como um de  $20\Omega$ .

#### 4. Conclusões

O projeto possibilitou fazer pesquisas acerca dos componentes que seriam utilizados e seus funcionamentos. Com a conclusão da etapa em que os módulos foram interligados fisicamente, foi possível iniciar os testes para validação dos componentes escolhidos. Foram obtidos avanços relevantes relacionados a confecção do layout, com os componentes devidamente escolhidos foi possível definir o posicionamento deles, interligações e a separação dos estágios de controle e potência dentro da placa.

Também com os componentes definidos e a respectiva chegada deles, foi possível validar o estágio de potência e entender quais melhorias podiam ser feitas e o que já estava de acordo com o esperado.

As curvas mais recentes empregando o aquecedor e o sensor de temperatura instalados no porta-amostras constataam que o aquecedor, com uma resistência de 30 ohms à temperatura ambiente, não apresenta potência suficiente para elevar a temperatura do porta-amostras a 573 K quando submetido à carga térmica.

Devido aos prazos necessários para a entrega dos componentes, que em grande parte exigem importação, e às restrições dos equipamentos atualmente disponíveis para a criação do layout, houve ajustes no cronograma de desenvolvimento dos testes de validação do projeto. Como resultado, está sendo requerida uma revisão para continuidade e melhoria tanto do hardware quanto do software, com a perspectiva de prosseguir com o projeto no futuro.

#### 5. Referências

- [1] MAX31865, RTD-to-Digital Converter Datasheet, Maxim Integrated, 2022.
- [2] MCP4725, 12-Bit DAC Datasheet, Microchip, 2022.
- [3] ESP32 Series, 2.4 GHz Wi-Fi + Bluetooth® + Bluetooth LE SoC Datasheet, Espressif Systems, 2023.
- [4] LT6654, Precision Wide Supply High Output Drive Low Noise Reference, Analog Devices, 2020.

<sup>1</sup> Aluna de IT do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 06/2022 a 05/2023.