

Sensores Térmicos: Uma Proposta de Método de Construção de um Sensor de Baixo Custo

Guilherme A. Floriano¹, Éliton P. Melo B¹,
Ryan Guilherme M. Nascimento¹, Rodolfo C. Rebouças¹

¹Campus Quixadá – Universidade Federal do Ceará (UFC)
Av. José de Freitas Queiroz, 5003, 63.903-580 – Quixadá – CE – Brazil

{guilhermearaujo, ryannascimento}@alu.ufc.br, elitonp.melo@gmail.com

Abstract. *This paper presents an analytical and comparative analysis of a proposed construction for a resistive thermal sensor; emphasizing practicality and low production cost. Using mathematical and computational models, the study aims to verify the copper resistance curve as temperature changes. The data will be used in a comparative analysis to assess the reliability and feasibility of low-cost temperature sensors, as well as simpler tools for data acquisition, considering conventional copper resistance results.*

Resumo. *Neste trabalho será realizado uma análise analítica e comparativa de uma proposta de construção de um sensor térmico resistivo levando em consideração a praticidade e o baixo custo de produção, utilizando modelos matemáticos e computacionais. Essa análise tem por objetivo verificar a curva de resistência do cobre ao longo da variação de temperatura. Tais dados serão utilizados em uma análise comparativa para verificar a confiabilidade e viabilidade não só de sensores de baixo custo para medição apropriada dos valores de temperatura como de ferramentas mais simples para obtenção dos dados, levando em consideração os resultados convencionais da resistência deste metal.*

1. Introdução

A termistividade é geralmente empregada como a capacidade dos materiais de variar a sua resistência conforme a sua temperatura. Por meio de análises mecânicas, é possível quantificar essa variação e utilizar essa propriedade para criar sensores de temperatura eficazes. No entanto, por mais que na prática qualquer semicondutor possa ser usado para criar tais sensores, devido às diversas propriedades dos materiais, alguns metais são mais apropriados que os outros na confecção de termistores [Childs 2001].

Neste artigo, a ênfase será colocada na análise analítica e comparativa em uma proposta de uma construção de um sensor de baixo custo e praticidade de materiais, focando em avaliar a precisão, confiabilidade e eficácia do método empregado em comparação com outros já solidificado no mercado, realizando medições de forma a comparar esses resultados com constantes já definidas como padrões e resultados experimentais bem aceitos pelo meio científico.

A análise estatística será aplicada para avaliar o nível de confiabilidade e resolução dos materiais empregados, tendo como objetivo, em primeira análise, se as propostas

apresentadas podem ser consideradas de fato como confiáveis, utilizando dados como os apresentados por [Dellinger and of Standards 1911]. Por fim, a análise comparativa servirá para posicionar os resultados com os amplamente utilizados no mercado, tendo por base o nível de facilidade da aquisição dos materiais e a resolução dos resultados obtidos.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Dilatação térmica

A dilatação térmica é uma propriedade dos metais de variar seu tamanho conforme uma diferença de temperatura. Em sensores, ela fornece uma maneira de converter variações de temperatura em leituras mensuráveis, o que é fundamental para projetos como este. Para sistemas termo resistivos, podemos definir a seguinte fórmula [Childs 2001] [of Physics et al. 1963]:

$$\alpha = \frac{R(100^\circ) - R(0^\circ)}{100^\circ C * R(0^\circ)}$$

Dessa forma, podemos comparar os resultados obtidos com os valores do metais puros para modelar possíveis margem de erros.

2.2. Sensores Térmicos Resistivos

Os sensores de temperatura operam com o princípio de que a resistência elétrica de certos materiais - como o cobre - varia de forma previsível e linear com a temperatura, e, dessa forma, são amplamente usados devido à sua precisão e sensibilidade. Eles são divididos em duas categorias, Sensores Térmicos Resistivos(RTD) propriamente ditos, quando os metais usados são condutores ou Termistores, quando os metais utilizados são semi-condutores [Doebelin 1990] . Neste trabalho, devido às propriedades dos materiais, será utilizado como base os cálculos dos RTDs [Childs 2001] [Doebelin 1990]. De forma que, Para RTD's com coeficientes lineares, temos:

$$R_t = R_0 * (\alpha T)$$

Onde: R representa a resistência a cada temperatura especificada e α é a constante já conhecida

3. Trabalhos Relacionados

Sendo assim, com essas duas simples propriedades muito sensores de temperatura já foram construído e estudados ao longo dos tempos, buscando novas alternativas tanto para sensores mais simples, como em [Jack et al. 2016] e [Maiti and Kar 2010], como para algumas alternativas mais diferentes das já aplicadas no mercado, tal qual [Singgih et al. 2020], que trouxe modelos experimentais para criação de novas soluções.

No entanto, mesmo aplicando técnicas mais simples, muitos trabalhos como o já citados ainda empregam materiais e práticas mais simples, eles ainda utilizam materiais de mais difícil aquisição, como leitores de altas precisão e equipamentos de manipulação de temperatura mais eficientes e modernos. Dessa forma, isso dificulta a reprodução de

tais métodos em um ambiente mais restrito, como no meio acadêmico e domiciliar, que possuem recursos limitados e, algumas vezes, de difícil acesso.

Posto isso, esse trabalho tem por objetivo procurar alternativas que permitam uma fácil reprodução nesses cenários já citados, empregando equipamentos e instrumentos baratos e comuns, principalmente para o contexto institucional, avaliando se existe uma alternativa viável que produza resultados, sendo esses validados utilizando métodos como os apresentados nos trabalhos de [Iero et al. 2021] e [Kako 2023]

4. Construção do Sensor

4.1. Materiais Utilizados

Para o desenvolvimento e construção do sensor RTD, utilizamos uma variedade de materiais e ferramentas em busca de um alto nível de precisão e durabilidade, mas que fossem baratos e de fácil acesso. A lista de materiais inclui: Resistor de $1K\Omega$ pedaço de cobre de $1mm^2$ de seção reta e 10 cm de largura, fios de cobre para ligação do circuito, ferro de solda para promover uma fonte de calor constante, placa de circuito impresso (PCB) para permitir a fixação do protótipo em um meio sem interferências, e um microcontrolador Raspberry Pi Pico para auxiliar nas medições com mais precisão.

4.2. Detalhes

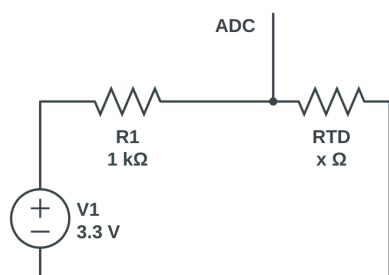
Como a resistência teórica do cobre é muito baixa [Dellinger and of Standards 1911], ao aplicar uma tensão consideravelmente alta, como a saída $3.3V$ do microcontrolador escolhido, a corrente ficaria muito alta e geraria um curto circuito. Mas, em contrapartida, ao aplicar uma tensão baixa, os dispositivos de baixo custo utilizados não tem resolução suficiente para que o cálculo seja realizado.

Dessarte, foi escolhido por usar a saída de $3.3V$ em conjunto com um resistor de $1K\Omega$, que não só evita que ocorra um curto circuito, como permite que a tensão em teoria seja baixa o suficiente para que seja mensurável pelo microcontrolador.

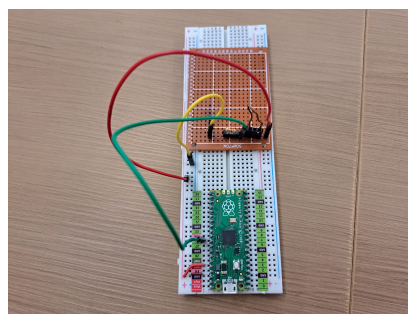
Logo, um circuito em série simples foi montado em uma PCB, onde em uma extremidade foi colocado uma ponta de prova para introduzir a fonte de tensão $3.3V$, em série com o resistor de $1K\Omega$ e o RTD e, por fim, na outra extremidade colocamos a ponta de prova para introduzir o aterramento proveniente do mesmo microcontrolador. Vale ressaltar que um fio foi destacado entre os resistores de maneira que fosse possível calcular a diferença de potencial (DDP) entre os terminais do RTD para um conversor analógico digital (ADC) da Raspberry Pi pico e, como o outro referencial do RTD é o aterramento, o valor lido pelo ADC é efetivamente a DDP do metal a ser calculada a resistência. O esquemático e o protótipo do sensor pode ser conferidos abaixo

5. Metodologia

Tendo em vista a análise comparativa abordada neste trabalho, os estudos realizados focam em oferecer uma forma de cálculo padronizada, podendo ser replicado facilmente. Sendo assim, algumas análises serão realizadas para construção e validação do sensor, tanto de valores específicos como para comparação com os resultados obtidos:



**Circuito para cálculo da
termistividade do RTD**



Protótipo do Sensor

Figure 1. Esquemático e Construção do protótipo do sensor respectivamente

5.1. Cálculo da tensão elétrica

Como já citado anteriormente, os níveis de tensões aplicados sobre o resistor de cobre é muito baixo, de forma que multímetros convencionais não tem precisão suficiente para mensurar corretamente esses valores.

Dessarte, o microcontrolador Raspberry Pi Pico foi escolhido por possuir um conversor analógico (a tensão efetiva no RTD) digital (valor lido pela placa) com 12 bits de resolução, podendo calcular valores de até 0.000805664, que é bem próximo dos valores teóricos da resistividade do cobre [Dellinger and of Standards 1911].

Esses valores são lidos constantemente por um código que converte esse valor digital para uma tensão efetiva e salva numa base de dados para que seja possível analisar e comparar esses dados de forma a reduzir possíveis interferências ocorridas no projeto. Tais dados foram passados por outro código que realiza cálculos de médias utilizando métodos estatísticos para eliminação de valores discrepantes [Araujo et al. 2024].

5.2. Cálculo da corrente elétrica e Resistência

Adicionalmente, para poder mensurar a resistência de uma forma mais simplificada, foi calculada a voltagem entre os terminais do resistor de $1K\Omega$ utilizado no circuito e dividido pela sua resistência, por meio da lei de ohm. Esse método é o mais confiável pois não precisa levar em consideração a resistência do cobre, que é justamente o que queremos calcular.

Agora tendo disponível a corrente total do circuito em série, podemos simplesmente dividir o valor da voltagem calculado anteriormente pela corrente para achar o valor da resistência experimental obtida do cobre.

5.3. Cálculo da temperatura

Por fim, após realizados esses cálculos, será formulada uma relação para converter a tensão elétrica lida pelo sensor em um temperatura real, podendo ser utilizado por outros sistemas como um termômetro, já que somente a tensão elétrica não traz as informações suficientes para uso correto de sensor. Sendo assim, para a temperatura base utilizada, a tensão elétrica será nula e, para temperaturas maiores, a tensão não nula será convertida em temperatura por meio de uma função extraída da análise de dados e, por trabalhos anteriores, provavelmente linear.

6. Resultados Esperados

Posto isso, espera-se que seja possível projetar uma função linear tanto da variação de resistência, levando o mesmo para a tensão e que, dessa maneira, seja possível mensurar a temperatura com uma fórmula simples, não sendo necessário um controlador com resolução muito alta.

Por fim, é esperado que os resultados obtidos possam ser aproximados suficientemente bem dos resultados ideais, ou seja, as impurezas não vão gerar erros significativos para a faixa de dados que os sensores irão operar.

7. Resultados

Dessa forma, os experimentos para análise da resistência do cobre utilizando os métodos já mencionados e os dados alocados em uma base de dados, disponível junto com o código base. Os dados obtidos estão dispostos da seguinte forma:

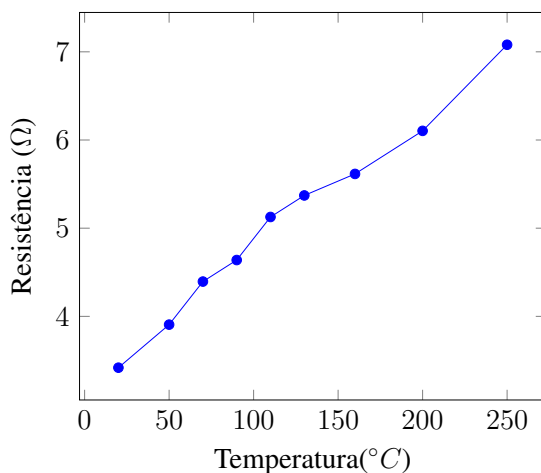


Figure 2. Gráfico contendo a variação de Resistência por Temperatura observada

Como podemos ver, o gráfico apresenta um comportamento aproximadamente linear como era esperado dos resultados teóricos. No entanto, ao observar os valores de resistência obtidos e comparar com os resultados de resistividade já observados [Dellinger and of Standards 1911], temos que baseado nas dimensões do cobre utilizado, o resultado difere bastante do previsto, dado que a previsão era: $R = \rho * \frac{L}{A} = 1.7 * 10^{-8} * \frac{10 * 10^{-2}}{1 * 10^{-6}} = 0.0017 \Omega$

Durante o experimento muitos métodos foram utilizados para tentar aproximar esse valor para o esperado, visto que o comportamento aproximadamente linear está presente, mas os dados estão algumas ordens de grandeza de diferença.

Dentre essas tentativas, capacitores foram incluídos em pontos estratégicos do circuito, como nas saídas de tensão do microcontrolador e nos terminais do RTD, para tentar trazer uma estabilidade ao circuito, mas ainda não era possível distinguir os resultados de um simples ruído.

Além disso, resistores menores substituíram o resistor de 1k para trazer tensões mais próximas da sofrida, no entanto, devido à esses baixos valores, a corrente do sistema

ficou muito baixa e o circuito entrava em curto. Por fim, foi utilizado um divisor de tensão para diminuir o referencial da Raspberry de 3.3V para 1.8V trazendo esse referencial para um mais próximo do esperado no cobre, e que foi a base para a construção desse gráfico, pois os resultados anteriores desse não era distinguidos de ruídos.

Posto tudo isso, percebesse que o principal problema enfrentado pelo microcontrolador foi a falta de resolução para o cálculo correto da tensão, já que considerando o resultado teórico do cobre e a corrente do circuito, essa tensão estaria na ordem de $V = 0,0017\Omega * \frac{3.29V}{1K\Omega} A = 0.000005593$, o que precisa de mais do que os 12 bits suportados, precisando de no mínimo 15 bits de resolução. Além disso, somasse ao fato de que a Raspberry Pi Pico suporta no mínimo um referencial de 1.8V, não podendo diminuir essa tensão a valores mais aproximados da sofrida pelo cobre.

8. Conclusão

Resumindo, nesse trabalho foi realizado uma proposta de construção de um sensor térmico resistivo de baixo custo e de fácil confecção, considerando materiais de fácil acesso, principalmente no meio acadêmico, utilizando conceitos de circuitos elétricos e a integração com microcontroladores.

No entanto, o resultado obtido foi que o método criado não possui a precisão suficiente para calcular com precisão dados os equipamentos e os materiais utilizados, não podendo ser empregado em primeira instância como um sensor confiável.

Como trabalhos futuros, espera-se que seja possível empregar novas soluções com circuitos mais complexos que permitam que o sinal calculado seja mais próximo da realidade, podendo ser realizado novamente os cálculos utilizando os mesmos testes, para validar se o sistema de validação empregado é correto, e apenas o circuito que não possui a complexidade necessária, ou se será necessário mudar o funcionamento do sensor com um todo.

References

- Araujo, G., Guilherme, R., and Melo, E. (2024). Código para um design de sensor rtd. https://github.com/guiaf04/rtd_simple_design. Acesso em: 21-Sept-2024.
- Childs, P. (2001). *Resistance temperature detectors*.
- Dellinger, J. and of Standards, U. S. N. B. (1911). *The Temperature Coefficient of Resistance of Copper*. Number N° 147 in Bulletin of the Bureau of Standards. U.S. Department of Commerce and Labor, Bureau of Standards.
- Doebelin, E. (1990). *Measurement Systems: Application and Design*. McGraw-Hill Mechanical Engineering Series. McGraw-Hill.
- Iero, D., Merenda, M., Carotenuto, R., Pangallo, G., Rao, S., Brezeanu, G., and Della Corte, F. (2021). A technique for improving the precision of the direct measurement of junction temperature in power light-emitting diodes. *Sensors*, 21:3113.
- Jack, K., Nwangwu, E., Etu, I., and Osuagwu, E. (2016). A simple thermistor design for industrial temperature measurement. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 11:57–66.

- Kako, S. (2023). A comparative study about accuracy levels of resistance temperature detectors rtds composed of platinum, copper, and nickel. *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences*, 26:216–225.
- Maiti, T. and Kar, A. (2010). A new and low cost lead resistance compensation technique for resistive sensors. *Measurement*, 43:735–738.
- of Physics, A. I., of Standards, U. S. N. B., of Ordnance Research, U. S. O., and of America, I. S. (1963). *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry*. Number v. 3, pt. 2 in Vol. 7- : AIP conference proceedings. Reinhold Publishing Corporation.
- Singgih, S., Toifur, M., and Suryandari, S. (2020). Experimental design in constructing low temperature sensor based on resistance temperature detector (rtd). *Indonesian Journal of Science and Education*, 4:99.