



ACIONAMENTO DE DISPOSITIVO SONORO COM USO DE TERMISTOR DO TIPO NTC E CIRCUITO COMPARADOR

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6035

Autores: ANDERSON CARDOSO BARBOSA GUEDES

Resumo: O estudo sobre circuitos elétricos consiste na base da engenharia elétrica. Portanto, conhecer os principais componentes, aparelhos e instrumentos contribui para um bom aprendizado ao longo do curso. Assim sendo, este trabalho consistiu na montagem de um circuito contendo um sensor de temperatura do tipo NTC e de um amplificador operacional na configuração de circuito comparador. Aplicando a propriedade de divisor de tensão, resistores foram instalados de modo acionar o alarme quando a tensão na entrada inversora fosse menor que na entrada não-inversora. Por meio dos resultados obtidos, foi possível verificar que o termistor além de fornecer dados confiáveis, pode ainda, através da temperatura lida, indicar qual a tensão que se passa em determinado ponto do circuito, podendo mapeá-la em tempo real.

Palavras-chave: Circuitos Elétricos, sensor de temperatura, amplificador operacional

ACIONAMENTO DE DISPOSITIVO SONORO COM USO DE TERMISTOR DO TIPO NTC E CIRCUITO COMPARADOR

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Elétrica se divide em diversos campos importantes como geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, automação e controle, eletrônica, máquinas elétricas, comunicação, entre outros. E todos eles possuem algo em comum: a teoria de circuitos elétricos. De acordo com Sadiku (2013), um circuito elétrico é um conjunto de elementos elétricos interconectados cujo objetivo é levar comunicação ou energia de um ponto a outro.

Por meio da construção de circuitos elétricos é possível obter uma diversidade de aplicações capazes de resolver problemas, melhorar, controlar, automatizar e otimizar processos, seja na indústria, comércio, meios de comunicação, transporte, setor agrícola ou na saúde.

O início dos estudos envolve as grandezas de resistência, corrente, tensão e potência, utilizando elementos passivos, como resistores, capacitores e indutores. Porém, quando elementos ativos são adicionados, como sensores, circuitos integrados e controladores, é possível enviar/receber comandos, dados e sinais, seja do tipo sonoro, luminoso, elétrico ou mecânico. E uma das formas mais comuns de relacionar grandezas elétricas para tais aplicações é fazendo uso de termistores.

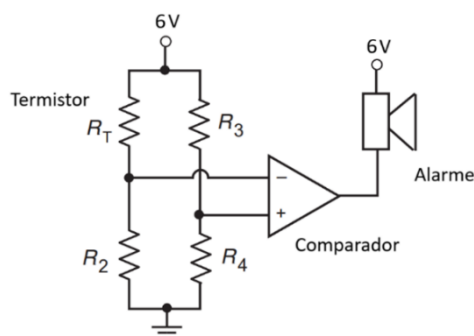
A partir desse projeto foi possível por em prática os conhecimentos adquiridos no componente curricular de Circuitos Elétricos I, como associação de resistores, divisor de tensão e o funcionamento do AmpOp (Amplificadores Operacionais). Adicionando um termistor, a temperatura pode ser lida em tempo real em função da tensão medida. Ambientes que necessitam de um rigoroso controle de temperatura como câmaras frigoríficas, incubadoras, unidades de saúde ou estufas, por exemplo, podem ser analisados com esse tipo de circuito, ajudando na tomada de decisões para os casos em que a temperatura não estiver dentro dos parâmetros desejados.

Este projeto teve como objetivos montar um circuito comparador que aciona um dispositivo sonoro a partir da variação de temperatura sofrida por um termistor, obter familiaridade com circuitos que envolvem elementos passivos e ativos, aprender a montar circuitos que enviam sinais analógicos em função de variáveis físicas detectadas no ambiente por meio de sensores e mostrar as diversas aplicações de termistores e amplificadores operacionais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Balbinot (2011), termistores são semicondutores cerâmicos que apresentam alteração de resistência elétrica em função da variação de temperatura. Eles podem ser do tipo NTC (do inglês, Coeficiente Negativo de Temperatura), ou seja, enquanto a temperatura diminui a resistência aumenta e vice-versa, bem como do tipo PTC (Coeficiente Positivo de Temperatura), ou seja, se a temperatura aumenta a resistência também, do mesmo modo que com a redução da temperatura tem-se a redução da resistência. No caso em questão, o termistor foi do tipo NTC. A Figura 1 apresenta de modo simplificado o circuito projetado.

Figura 1 - Esquema do circuito comparador com uso de termistor

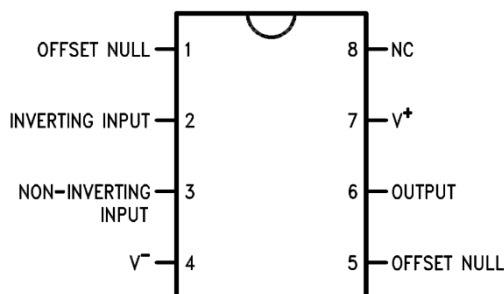


Fonte: Adaptado de Silva, 2025.

Ao fazer uso de um Amplificador Operacional utilizado na configuração de circuito comparador (malha aberta), o objetivo é analisar as tensões para saber onde ela é maior em determinado ponto do circuito. Nessa configuração o ganho de malha tende a infinito. Mas na prática, a tensão na saída possui como valor máximo as tensões de alimentação dos terminais V^+ e V^- do AmpOp.

A Figura 2 apresenta a especificação dos terminais do amplificador operacional.

Figura 2 - Descrição dos terminais do Amplificador Operacional LM741



Fonte: Adaptado de JAMECO Eletronics, 2025.

3 METODOLOGIA

Ao trabalhar com um circuito comparador, se a tensão na entrada inversora (tensão no ponto que liga R_T e R_2) torna maior que a tensão na entrada não-inversora (tensão no ponto que liga R_3 e R_4), a tensão de saída (tensão no alarme) passa a ser igual a tensão na alimentação negativa (V^-), que no caso em questão é o *ground* (terra), ou seja, o alarme permanece desligado.

À medida que a temperatura diminui e a resistência no termistor aumenta, a tensão na entrada inversora começa a cair. Quando ela se torna menor que a tensão da entrada não-inversora, a tensão na saída do comparador passa a ser a tensão da alimentação positiva (V^+), o que corresponde a tensão do gerador que alimenta o circuito, acionando o alarme.

Quando dois resistores R_x e R_y estão associados em série e alimentados por uma tensão V , o resistor funciona como um divisor de tensão. Assim sendo, a tensão em V_x , por exemplo, pode ser obtida por meio da razão entre o produto da tensão total V e R_x pela soma de R_x e R_y . Essa relação está representada pela equação 1.

$$V_x = \frac{R_x}{R_x + R_y} \cdot V \quad (1)$$

Por meio da aplicação do divisor de tensão é possível prever que o alarme será disparado quando a razão entre a resistência R_2 pela soma das resistências R_2 e R_T for menor que a razão entre a resistência R_4 pela soma das resistências R_3 e R_4 . Essa relação está representada pela equação 2.

$$\frac{R_2}{R_T + R_2} < \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad (2)$$

Escolhendo os valores de R_3 e R_4 e isolando R_2 na equação 2, é possível obter o valor máximo do resistor a ser associado em série com o termistor de modo que, ao atingir a temperatura determinada, o alarme seja disparado. No caso, o valor de R_2 deve ser menor que a razão entre o produto de R_4 e R_T por R_3 . Isso está representado pela equação 3.

$$\begin{aligned} \frac{R_2}{R_T + R_2} &< \frac{R_4}{R_3 + R_4} \\ R_2 R_3 + R_2 R_4 &< R_T R_4 + R_2 R_4 \\ R_2 R_3 &< R_T R_4 \\ R_2 &< \frac{R_T R_4}{R_3} \end{aligned} \quad (3)$$

Assim, esse projeto consistiu na montagem de um circuito contendo um termistor que, interconectado a um AmpOp na configuração de circuito comparador, acionava um dispositivo sonoro a partir de uma temperatura especificada.

4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

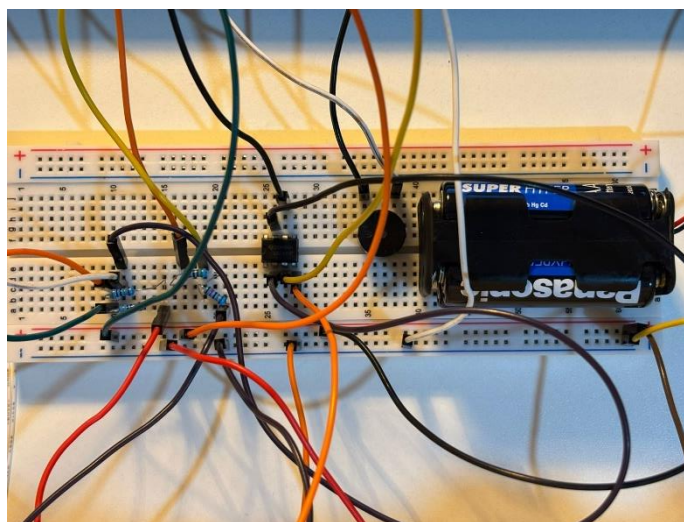
4.1 Materiais

- 01 Circuito Integrado LM741;
- 01 Buzzer ativo 5 V;
- 14 Jumpers do tipo MF 30 cm;
- 02 Multímetros usados na função de termômetro e voltímetro;
- 04 Pilhas AA de 1,5 V cada;
- 01 Protoboard;
- 04 Resistores nos valores de 51 k Ω , 68 k Ω e 300 k $\Omega \pm 1\%$;
- 01 Suporte para pilhas de 1,5 V;
- 01 Termistor do tipo NTC 3950 $\pm 1\%$;

4.2 Métodos

O circuito em funcionamento fora montado conforme apresentado na Figura 3, utilizando uma *protoboard* de dimensões 83 x 55 x 10 mm, contendo 830 furos que são identificados por meio de 10 linhas representadas por letras ('a' até 'j') e por 60 colunas representadas por números (1 até 60).

Figura 3 - Circuito comparador com uso de termistor NTC



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Os terminais do termistor (R_T) foram posicionados nos furos c10-c11. Como não havia resistor de 150 k Ω , foram utilizados dois resistores em paralelo de 300 k Ω , conforme aprendizados obtidos nas aulas práticas de Circuitos elétricos I. Esses dois resistores que representam o R_2 tiveram seus terminais posicionados nos furos b11-c15 e a11-b15. Para conectar o nó que liga R_T e R_2 conforme Figura 1 à entrada inversora (terminal 2) do AmpOp, foi utilizado um *jumper* conectado aos furos e11-d26.

Os resistores R_3 (51 k Ω) e R_4 (68 k Ω) foram instalados em série, respectivamente, nos furos c17-c19 e b19-b21. Para conectar o nó entre R_3 e R_4 à entrada não inversora (terminal 3) do AmpOp foi utilizado um *jumper* posicionado nos furos e19-d27. Para conectar R_T e R_3 ao positivo da fonte, conforme Figura 1, foram utilizados *jumpers* posicionados, respectivamente, nos furos a10 e e17.

Para conectar R_2 e R_4 ao negativo da fonte conforme Figura 1, outros 2 *jumpers* foram posicionados, respectivamente, nos furos a15 e a21.

O terminal 4 (V^-) do AmpOp foi conectado ao negativo do gerador, enquanto o terminal 7 (V^+) foi conectado ao positivo do gerador. Já o terminal 6 (tensão de saída do AmpOp), foi conectado ao terminal positivo do alarme (furo f35). O terminal negativo do alarme (furo f38), foi conectado ao negativo do gerador.

A fonte foi montada por meio de uma associação em série de 4 pilhas de 1,5 V cada, obtendo uma tensão nominal de 6 V. Tal associação foi compactada por meio de um soquete.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o *datasheet* disponibilizado pela USINAINFO, a faixa de operação está entre - 40 °C até 300 °C em que cada temperatura neste intervalo está relacionada

com uma resistência específica. Dadas as condições de temperatura do ambiente em que ocorria a operação do circuito, optou-se por informar a relação entre temperatura e resistência no intervalo entre 0 °C e 30 °C, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Relação entre temperatura e resistência do termistor NTC 3950

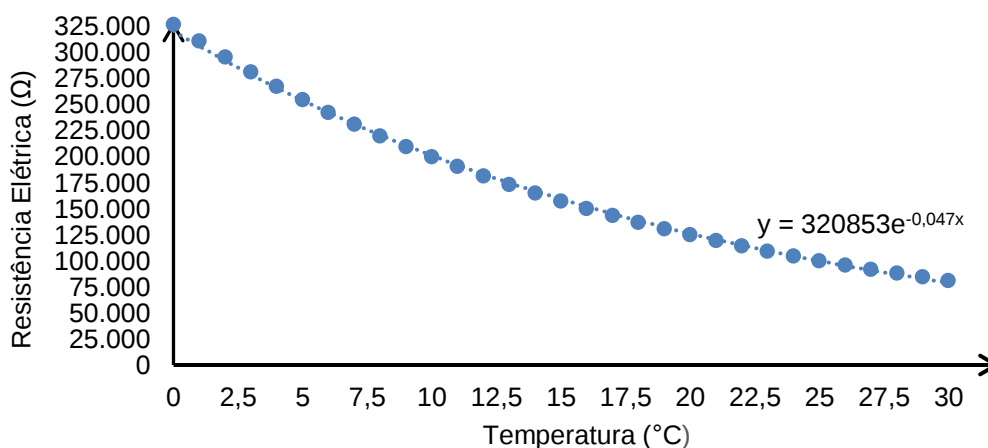
T(°C)	R _{máx} (Ω)	R _{nor} (Ω)	R _{mín} (Ω)	T(°C)	R _{máx} (Ω)	R _{nor} (Ω)	R _{mín} (Ω)
0	334.439	327.240	320.164	16	152.617	150.425	148.250
1	317.883	311.040	304.314	17	145.716	143.623	141.547
2	302.257	295.751	289.355	18	139.171	137.173	135.189
3	287.505	281.316	275.233	19	132.962	131.053	129.158
4	273.571	267.682	261.894	20	126.779	125.245	123.717
5	259.753	254.800	249.916	21	121.124	119.658	118.198
6	247.299	242.583	237.933	22	115.757	114.356	112.961
7	235.523	231.032	226.603	23	110.661	109.322	107.988
8	224.387	220.108	215.889	24	105.634	104.542	103.451
9	213.850	209.772	205.751	25	101.000	100.000	99.000
10	203.384	199.990	196.634	26	96.820	95.819	94.820
11	193.792	190.558	187.360	27	92.838	91.839	90.842
12	184.714	181.632	178.584	28	89.007	88.049	87.093
13	176.121	173.182	170.276	29	85.358	84.440	83.522
14	167.984	165.180	162.408	30	81.987	81.000	80.017
15	159.896	157.600	155.321				

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Segundo Balbinot (2011), os termistores são classificados como dispositivos não-lineares com sensibilidade considerada elevada (normalmente entre 3% e 5% por °C).

O Gráfico 1 apresenta a curva característica da relação entre resistência e temperatura do termistor utilizando os valores de R_{nor} (resistência normal).

Gráfico 1 - Relação entre temperatura e resistência do termistor



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Por meio dele, foi possível verificar que a relação entre resistência e temperatura de um termistor não é linear, mas sim, exponencial. Especificamente, a curva é decrescente pois se trata de um termistor do tipo NTC.

A temperatura escolhida para acionar o alarme foi 21 °C. Para isso, com base na Tabela 1, é necessário que a resistência do R_T esteja compreendida no intervalo $118 \text{ k}\Omega \leq R_T \leq 121 \text{ k}\Omega$.

Conforme equação 3, a resistência máxima que o R_2 pode assumir foi de aproximadamente 159,5 k Ω :

$$R_2 < \frac{R_T R_4}{R_3}$$
$$R_2 < \frac{119658 \times 68.000}{51.000}$$
$$R_2 < 159,5 \text{ k}\Omega$$

Para tal, na posição de R_2 foi utilizado um resistor de 150 k Ω (dois resistores de 300 k Ω associados em paralelo), de modo não violar o resultado obtido.

E por meio da equação 1, foi possível obter a tensão no ponto que liga R_3 e R_4 , ou seja, a tensão na entrada não-inversora, sendo de 3,43 Volts. Para que o alarme fosse acionado era necessário que a tensão na entrada inversora (tensão no ponto que liga R_T e R_2) fosse inferior a esse valor.

$$V^+ = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot V$$
$$V^+ = \frac{68.000}{51.000 + 68.000} \cdot 6$$
$$V^+ = 3,43 \text{ Volts}$$

A partir disso, mais uma vez por meio da equação 1, foram determinadas as tensões no termistor e em R_2 (tensão na entrada inversora), tomando inicialmente a temperatura como 0 °C, levando em consideração os dados da tabela 1.

$$V_{term.} = \frac{R_{term.}}{R_{term.} + R_2} \cdot V \quad V_{R_2} = \frac{R_2}{R_{term.} + R_2} \cdot V$$
$$V_{term.} = \frac{327.240}{327.240 + 150.000} \cdot 6 \quad V_{R_2} = \frac{150.000}{327.240 + 150.000} \cdot 6$$
$$V_{term.} = 4,11 \text{ V} \quad V_{R_2} = 1,89 \text{ V}$$

Expandindo tais cálculos até a temperatura de 30 °C, foi possível obter as tensões no termistor e em R_2 , cujos resultados foram apresentados na Tabela 2.

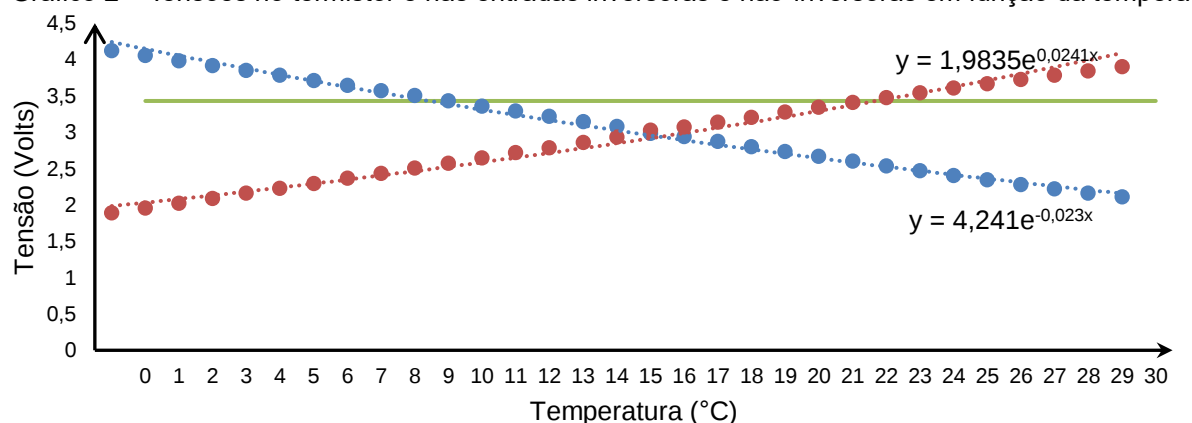
Tabela 2 - Tensões no termistor e em R_2 em função da variação de temperatura

T(°C)	V _{term.} (V)	V _{R2} (V)	T(°C)	V _{term.} (V)	V _{R2} (V)
0	4,11	1,89	16	2,98	3,02
1	4,05	1,95	17	2,93	3,07
2	3,98	2,02	18	2,87	3,13
3	3,91	2,09	19	2,80	3,20
4	3,85	2,15	20	2,73	3,27
5	3,78	2,22	21	2,66	3,34
6	3,71	2,29	22	2,60	3,40
7	3,64	2,36	23	2,53	3,47
8	3,57	2,43	24	2,46	3,54
9	3,50	2,50	25	2,40	3,60
10	3,43	2,57	26	2,34	3,66
11	3,36	2,64	27	2,28	3,72
12	3,29	2,71	28	2,22	3,78
13	3,22	2,78	29	2,16	3,84
14	3,14	2,86	30	2,10	3,90
15	3,07	2,93			

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A partir desses dados, e levando em consideração que a tensão em R_4 (tensão na entrada não-inversora) fora de 3,43 Volts, o Gráfico 2 foi construído relacionando as tensões no termistor, na entrada inversora e não-inversora em função da variação de temperatura.

Gráfico 2 – Tensões no termistor e nas entradas inversoras e não-inversoras em função da temperatura



— V(R4) ● V(Term.) ● V(R2) Exponencial (V(Term.)) Exponencial (V(R2))

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Com os dados da Tabela 2 e do Gráfico 2, verificou-se que a tensão em R_2 (entrada inversora), representada pela curva em laranja, assume valor menor que a tensão na entrada não-inversora (curva em cinza) entre a queda de temperatura de 22 °C até 21 °C,

quando o alarme começa a soar. Uma vez que a tensão na entrada inversora passa a ser menor que a não-inversora, a tensão na saída do amplificador operacional passa a ser a mesma na sua alimentação positiva ($V^+ = 6\text{ V}$), fazendo com que o alarme seja disparado, o que foi verificado na prática.

Também por meio da Tabela 2 e do Gráfico 2 foi possível verificar que entre as temperaturas de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ as tensões no termistor e no R_2 se tornaram muito próximas. Porém, de acordo com a Tabela 1, é justamente nessa faixa de temperatura que o termistor assume resistências próximas a $150\text{ k}\Omega$, ou seja, se aproximando da resistência do R_2 .

Embora esse fato não traga nenhuma mudança na saída do comparador (a não ser o alarme continuar soando, pois, a temperatura já está abaixo de $21\text{ }^{\circ}\text{C}$), isso evidencia a propriedade de divisão de tensão de um resistor quando associado em série. Se dois resistores possuem a mesma resistência, então, as tensões nas quais eles estão submetidos também serão iguais.

Aqui, destaca-se essa importante propriedade, pois, é por meio da divisão de tensão (acompanhada da variação da resistência do termistor), que se tem variações nas entradas inversora e não-inversora do AmpOp, que na configuração de comparador depende justamente desse efeito para alterar sua tensão na saída, fazendo com que o alarme dispare ou não.

Ainda sobre o Gráfico 2, embora a faixa de operação de temperatura (entre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $30\text{ }^{\circ}\text{C}$) fosse bem inferior ao que é permitido segundo o fabricante (entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $300\text{ }^{\circ}\text{C}$), foi possível verificar a relação exponencial entre a tensão no termistor com sua temperatura. Se a relação entre resistência e temperatura era de uma curva exponencial decrescente, e sendo resistência e tensão grandezas diretamente proporcionais, era de se esperar que o gráfico entre tensão e temperatura obedecesse a uma curva exponencial decrescente também. E isso foi confirmado.

O circuito comparador foi testado verificando a temperatura do ar na saída de um Ar-Condicionado que opera entre $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. A Tabela 3 contém a relação entre temperatura e tensão no R_2 (tensão na entrada inversora do AmpOp).

Tabela 3 - Tensão medida na entrada inversora em função da temperatura no termistor

$T(^{\circ}\text{C})$	$V_{R_2}\text{ (Volts)}$
16	3,04
17	3,16
18	3,23
19	3,29
20	3,37
21	3,45
22	3,58
23	3,68
24	3,78
25	3,80
26	3,83
27	3,87
28	3,94
29	4,06
30	4,10

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A partir das tensões medidas e informadas na Tabela 3 pode-se concluir que os valores de tensão no R_2 estão muito próximos dos esperados conforme a tabela 2. Para iguais temperaturas, a diferença máxima entre a tensão medida com a esperada foi de 0,2 Volts. Isso é explicado pelo fato de que na prática a tensão de alimentação medida na fonte não foi de 6 V, mas sim, de 6,2 V. Ainda, na queda de temperatura de 22 °C para 21 °C foi quando se verificou o acionamento do alarme conforme esperado.

Com isso, levando em consideração as incertezas dos resistores e do termistor, as incertezas de medida do termômetro e voltímetro, somada a diferença da tensão no gerador esperada com a medida, os resultados obtidos foram satisfatórios e com isso pode-se concluir que o termistor pode ser aplicado em outros projetos para diversas outras aplicações, enviando/recebendo dados, sinais e comandos confiáveis.

Ademais, importante informar que antes do circuito ser testado na saída de ar de um Ar-Condicionado, experimentos foram realizados na tentativa de acionar o alarme em função de amostras de água em diferentes temperaturas. Porém, o acionamento do alarme só ocorreria na temperatura de 15 °C, quando o esperado era 21 °C. Com isso, foi possível concluir que o termistor não funciona bem para medir temperaturas de líquidos, mas sim, temperaturas do ambiente (ar atmosférico local).

5 CONCLUSÃO

Por meio da realização desse projeto foi possível compreender melhor as diversas aplicações de circuitos integrados (como o amplificador operacional), que no caso em questão esteve configurado para um circuito comparador, de modo poder saber em qual ponto do circuito havia uma maior tensão, apropriando-se dos efeitos de um divisor de tensão.

Também, utilizando um termistor do tipo NTC exposto a variação de temperatura do ambiente, foi possível entender como que sua resistência elétrica varia. Então, por meio da variação dessa grandeza que implica em variação da resistência e consequentemente da tensão local, pode-se entender como esse efeito pode ser aproveitado por um circuito comparador para enviar sinais e comandos (ativar um alarme, no caso).

Por fim, destaca-se o aprendizado adquirido bem como o aprimoramento das habilidades e capacidades de desenvolver projetos capazes de resolver problemas do cotidiano, aplicando os conhecimentos teóricos e práticos obtidos em sala de aula e no laboratório.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), instituição ao qual faço parte e que proporcionou diversas oportunidades de experimentos e projetos como este em questão.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, Charles; SADIKU, Matthew. **FUNDAMENTOS DE CIRCUITOS ELÉTRICOS**. 5 ed. Porto Alegre. Editora AMGH, 2013.

BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas – Vol. 1**. 2 ed. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2011.

JAMECO Eletrônica. **Datasheet do Circuito Integrado LM 741**. National Semiconductor. Ago. 2000. Disponível em: <https://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/840763.pdf?srsId=AfmBOorMmq02WZB7Cdqri-1Yi_MGwv_qDjLxnYclrGMNDkft-i_wqmju> Acesso em: 11 de jan. de 2025.

SILVA, Stefânia de Oliveira. **Projeto 7**: Circuito comparador com termistor e alarme. 1 ed. Bom Jesus da Lapa: Universidade Federal do Oeste da Bahia, 2025.

USINAINFO. **Datasheet do termistor NTC 3950**. Disponível em: <https://www.usina-info.com.br/impressora-3d-e-cnc-arduino/sensor-de-temperatura-ntc-100k-3950-para-impressora-3d-5717.html?srsId=AfmBOopGcuq6mLLcGF3d0PO8_0ZW6_JPrSrd-caY09iOI2YRS2ZVyQHB>. Acesso em: 12 de jan. de 2025.

SOUND DEVICE ACTIVATION PROJECT WITH USE OF NTC TYPE THERMISTOR AND COMPARATOR CIRCUIT

Abstract: *The study of electrical circuits consists of the basis of electrical engineering. Therefore, knowing the main components, devices and instruments contributes to good learning throughout the course. Therefore, this work consisted of assembling a circuit containing an NTC-type temperature sensor and an operational amplifier in the comparator circuit configuration. Applying the voltage divider property, resistors were installed to trigger the alarm when the voltage at the inverting input was lower than that at the non-inverting input. Through the results obtained, it was possible to verify that the thermistor, in addition to providing reliable data, can also, through the temperature read, indicate the voltage that occurs at a certain point in the circuit, being able to map it in real time.*

Keywords: *Electrical circuits, temperature sensor, operational amplifier*

