

Sensor de Temperatura DS18B20

Projeto final da disciplina de Instrumentação Eletrônica para Engenharia - FGA0132. Professora: Claudia Patricia Ochoa Diaz

Juliana de Souza Bispo

*Faculdade de Ciências e Tecnologias em Engenharia
Universidade de Brasília
ju.souzbispo@gmail.com*

Sofia Victória Bispo da Silva

*Faculdade de Ciências e Tecnologias em Engenharia
Universidade de Brasília
Sofia6anos@gmail.com*

Abstract—Este trabalho descreve o Projeto Final da disciplina Instrumentação Eletrônica para Engenharia. Neste trabalho foi escolhido o sensor de temperatura DS18B20, entre os vários tipos de sensores estudados durante a disciplina, foi feito um experimento de calibração e implementação de compensação neste sensor.

I. INTRODUÇÃO

A medição precisa de temperatura é uma necessidade em diversas áreas, abrangendo desde a automação industrial e dispositivos médicos de alta precisão até o fundamental monitoramento ambiental [1]. Em muitos desses cenários, a confiabilidade dos dados é determinante para a segurança e eficiência dos processos.

A motivação prática deste trabalho é o monitoramento térmico de aquários e ecossistemas aquáticos, pois a estabilidade da temperatura é crucial para a saúde de peixes e corais, que não toleram variações superiores a 5°C. Para hobbyistas e criadores, falhas na detecção de mudanças térmicas podem comprometer o ecossistema, o que destaca a necessidade de sistemas de monitoramento acessíveis e confiáveis.

Para atender a essa demanda, o sensor DS18B20 (figura 1) apresenta-se como uma solução prática e altamente confiável, notadamente por sua saída de dados digital e a disponibilidade de encapsulamentos robustos e à prova d'água [2]. Diferentemente de sensores analógicos, que tipicamente demandam circuitos adicionais para condicionamento de sinal e conversão, o DS18B20 realiza internamente todas as etapas de leitura, processamento e comunicação digital através do protocolo 1-Wire [3].

Esta arquitetura não só simplifica o hardware, mas também permite que múltiplos sensores operem de forma eficiente em um único barramento de dados, facilitando a implementação de sistemas de monitoramento em pontos distribuídos. Entretanto, a acurácia de qualquer instrumento de medição, incluindo o DS18B20, pode ser suavemente afetada por variações no processo de fabricação e pelas condições ambientais de operação. É por essa razão que a calibração emerge como um processo crucial, essencial para validar e garantir a precisão dos dados coletados, minimizando desvios e estabelecendo a confiança metrológica necessária para a aplicação.

Neste contexto, o presente trabalho se propõe a descrever e documentar um experimento detalhado de calibração do sensor DS18B20, visando validar e, em seguida, aplicar

uma compensação digital para corrigir os desvios observados, demonstrando a melhoria no desempenho. A metodologia deste estudo está organizada da seguinte forma: o Desenvolvimento inicia com o detalhamento do Circuito de Instrumentação (hardware e software), seguido pela especificação do Experimento de Calibração e a apresentação da Curva de Alimentação. Posteriormente, as seções de Estimação de Parâmetros e Implementação de Compensação tratam do modelamento e da demonstração gráfica dos resultados, respectivamente. Por fim, o trabalho apresenta a Discussão dos resultados e a Conclusão.



Fig. 1. Sensor DS18B20 [2].

II. DESENVOLVIMENTO

A. O sensor DS18B20

O DS18B20 é um sensor ativo de temperatura digital que se baseia nas propriedades dos semicondutores para realizar medições precisas. O seu funcionamento principal reside na variação das propriedades elétricas de transistores bipolares (TBJ) internos que são sensíveis à temperatura [4]. Especificamente, a medição é alcançada utilizando o princípio da relação Proportional to Absolute Temperature (PTAT) [5], que explora as propriedades dos transistores bipolares em silício.

O comportamento da Tensão Base-Emissor (V_{BE}) de um transistor operando sob uma corrente constante possui um coeficiente de temperatura negativo, ou seja, ela diminui linearmente à medida que a temperatura ambiente aumenta. Este é

um comportamento intrínseco de dispositivos semicondutores [4].

A medição da Diferença de Tensão (ΔV_{BE}) se dá pela a diferença de tensão base-emissor (ΔV_{BE}) entre dois transistores idênticos, Q_1 e Q_2 , que são forçados a operar em diferentes densidades de corrente (por exemplo, em uma razão de 10:1) [5]. Esta diferença de tensão é diretamente proporcional à temperatura absoluta e é descrita pela equação fundamental:

$$\Delta V_{BE} = \frac{kT}{q} \cdot \ln \left(\frac{I_{C2}}{I_{C1}} \right) \quad (1)$$

Onde T é a temperatura absoluta em Kelvin, $\frac{k}{q}$ é uma constante física (o equivalente de tensão para a temperatura), e $\ln \left(\frac{I_{C2}}{I_{C1}} \right)$ é uma razão de correntes fixa e definida pelo projeto do circuito integrado [5].

Como a tensão ΔV_{BE} é diretamente proporcional à temperatura absoluta (T), ela se torna uma grandeza linear ideal. Esta tensão PTAT é então amplificada e enviada a um Conversor Analógico-Digital (ADC) interno de até 12 bits para ser convertida no valor digital de temperatura que é lido pelo microcontrolador [3].

Apesar de o princípio físico basear-se na temperatura absoluta T (em Kelvin), o hardware e o firmware internos do DS18B20 realizam a conversão para graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) antes de armazenar o resultado no registrador de temperatura. Esta conversão é realizada usando a fórmula:

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15 \quad (2)$$

Portanto, o valor digital de 12 bits que é lido pelo microcontrolador é a temperatura já na escala Celsius.

B. Hardware

Para o experimento, o sistema foi desenvolvido com a plataforma Arduino UNO, reconhecida por sua acessibilidade e eficiência em prototipagem rápida. A placa, apresentada na figura 2, é equipada com o microcontrolador ATmega328P e é programada através da IDE Arduino para executar as operações necessárias ao processamento do sistema.

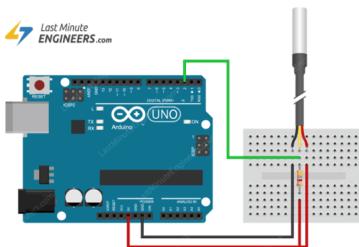


Fig. 2. Circuito montado para testar o sensor [7].

No projeto, o Arduino UNO foi conectado aos seguintes componentes:

- Sensor de temperatura DS18B20
- Resistor de pull-up de $4,7\text{ k}\Omega$ para o barramento 1-Wire
- Cabo USB para comunicação serial e alimentação

- Display 16x2 i2c
- Protoboard para interconexões

Como mostrado na figura 3, a transição do ambiente simulado para a implementação física foi realizada de forma sistemática, mantendo os mesmos parâmetros de configuração em ambas as plataformas. Esta metodologia permitiu identificar e corrigir problemas de conexão e compatibilidade de forma antecipada, reduzindo significativamente o tempo de desenvolvimento e aumentando a confiabilidade do sistema final.

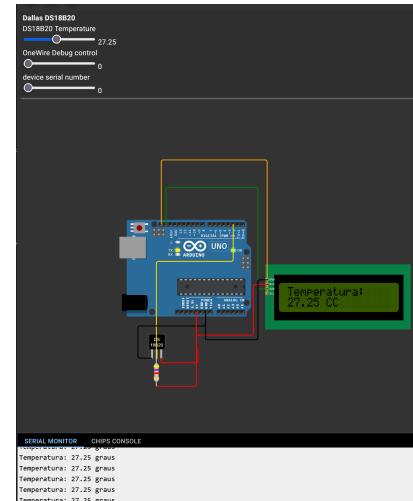


Fig. 3. Circuito simulado no ambiente Wowki para validação do projeto [10].

O sistema inteiro é alimentado pela porta USB do computador, que fornece 5V de tensão contínua para a placa Arduino. O Arduino, por sua vez, fornece alimentação de 5V regulada para todos os componentes do circuito através de seus pinos de alimentação.

O sensor DS18B20 é conectado ao barramento 1-Wire, utilizando um resistor de pull-up de $4,7\text{k}\Omega$ entre o pino de dados e a alimentação de 5V, conforme especificado pelo fabricante para garantir a integridade da comunicação digital. O protocolo 1-Wire permite que múltiplos sensores operem no mesmo barramento, embora neste projeto tenha sido utilizado apenas um sensor para simplificação.

A comunicação entre o sensor e o microcontrolador é realizada através do pino digital 12 do Arduino, que atua como mestre do barramento 1-Wire. O sensor DS18B20 possui três terminais: alimentação (VDD), terra (GND) e dados (DQ). As conexões em mais detalhe podem ser vistas no esquemático elétrico apresentado no final do documento.

C. Software

A nível de software, utilizamos um código simples em C, para podermos fazer os testes antes da compensação e mostrar as temperaturas medidas no Monitor Serial do aplicativo do Arduino e no display LCD I2C [3]. O sistema foi inicialmente desenvolvido e validado utilizando uma abordagem mista que combinou prototipagem física e simulação computacional no

ambiente Wokwi [10], permitindo a verificação do funcionamento do circuito antes da implementação física.

O algoritmo principal foi organizado em funções modulares, seguindo boas práticas de programação embedded, com inicialização robusta dos periféricos e tratamento de erros para garantir operação confiável do sistema [8].

1) *Inicialização do Sistema (Setup)*: A função `setup()` implementa a sequência de inicialização completa dos periféricos, incluindo comunicação serial, display LCD e sensor de temperatura. Durante a inicialização, são realizadas verificações de hardware para detectar possíveis falhas, garantindo uma operação confiável do sistema. Essas rotinas de verificação ajudam a identificar problemas no hardware antes que o sistema comece a capturar e exibir os dados.

2) *Algoritmo Principal de Aquisição (Loop)*: A função `loop()` implementa o núcleo do sistema de aquisição, utilizando temporização baseada em `millis()` para leituras periódicas, evitando o uso de `delay()` bloqueante e garantindo responsividade do sistema.

3) *Características Técnicas da Implementação*: A arquitetura de software adotada apresenta as seguintes características técnicas:

- Resolução de medição: 12 bits (0.0625°C)
- Intervalo de amostragem: 1 segundo (configurável)
- Comunicação serial: 9600 bauds
- Protocolo de sensor: 1-Wire com biblioteca `DallasTemperature`
- Interface de display: I2C com biblioteca `LiquidCrystal_I2C`
- Tratamento de erros: Verificação de conexão e validade de leitura

A implementação do código `DS18B20_sem_calibracao.ino` serve como base para a versão com calibração `DS18B20_com_calibração.c`, mantendo a mesma estrutura fundamental enquanto adiciona as funcionalidades de caracterização e compensação do sensor. Isso permitirá que o sistema alcance maior precisão e adaptabilidade a diferentes condições ambientais e características do sensor. A implementação e os códigos utilizados estão presentes no Repositório do GitHub deste Projeto Final [8].

D. Experimento de calibração

O procedimento experimental foi estruturado para caracterizar a resposta estática do sensor DS18B20, submetendo-o a três condições térmicas distintas e representativas: água resfriada (ponto frio), água à temperatura ambiente e água aquecida (ponto quente). Antes de iniciar a calibração formal, foi realizado um teste preliminar para verificar o funcionamento do sensor e compreender seu comportamento, com base no estudo teórico. O sensor foi imerso em cada um dos três copos por 3 minutos, com o objetivo de observar as variações de temperatura em cada condição. Essa abordagem visa validar o sensor em uma faixa abrangente, cobrindo

tanto as temperaturas ideais para o funcionamento de aquários quanto situações críticas de falha.

Para validação, utilizou-se o método de comparação direta com um padrão de referência, o Termômetro Digital Tipo Espeto TP101 figura 4. Este termômetro, conforme especificações do fabricante [9], possui faixa de medição de -50°C a $+300^{\circ}\text{C}$, resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$ e exatidão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ na faixa de -20°C a 80°C . O desvio do sensor foi então determinado em relação a este instrumento, que serviu como referência confiável para a calibração.

Embora o estímulo de temperatura seja aplicado fisicamente, o princípio de funcionamento do sensor segue o modelo analítico da tensão bandgap de silício. A diferença de tensão base-emissor (ΔV_{BE}) utilizada para a conversão é descrita pela Equação 1.



Fig. 4. Termômetro Digital Tipo Espeto TP10 [9]

O experimento de calibração foi realizado seguindo os seguintes passos:

- 1) Preparação dos recipientes: foram utilizados três copos com água em diferentes condições térmicas: temperatura ambiente, água gelada do filtro e água aquecida.
- 2) Inserção dos sensores: o sensor DS18B20 e o termômetro de referência TP101 foram imersos simultaneamente no mesmo copo, garantindo que não tocassem o fundo ou as paredes do recipiente.
- 3) Estabilização da leitura: cada sensor permaneceu imerso por 3 minutos, permitindo que as medições se estabilizassem. Durante esse período, foram registradas leituras a cada 1 minuto.
- 4) Intervalo entre medições: após medir a temperatura de um copo, os sensores foram retirados e deixados em repouso por 10 minutos, permitindo que retornassem à temperatura ambiente antes da próxima medição.
- 5) Repetição do procedimento: o mesmo processo foi repetido para os três copos de água, garantindo dados consistentes para calibração.
- 6) Registro e análise: as medições obtidas pelo DS18B20 e pelo termômetro TP101 foram anotadas na Tabela I, juntamente com a porcentagem de erro do sensor em relação ao termômetro.

TABLE I
COMPARAÇÃO DAS MEDIÇÕES DE TEMPERATURA

Aferições da Água	Termômetro TP101				Sensor DS18B20			
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	Média	1 ^a	2 ^a	3 ^a	Média
Fria	4,9	4,6	4,5	4,66	5,7	5,4	5,3	5,46
Natural	26,8	26,8	26,8	26,8	26,7	26,7	26,7	26,7 F.
Quente	72,2	69,9	68,3	70,13	71,0	68,3	66,6	68,63

E. Estimação de parâmetros

O erro percentual e o desvio foram calculados para cada temperatura utilizando as equações abaixo, onde T_{sensor} é a temperatura obtida pelo sensor DS18B20 (em °C) e T_{ref} é a temperatura de referência do termômetro TP101 (em °C), os resultados obtidos estão presentes na tabela II:

$$\text{Erro (\%)} = \frac{|T_{sensor} - T_{ref}|}{T_{ref}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Desvio (°C)} = T_{ref} - T_{sensor} \quad (4)$$

TABLE II
PARÂMETROS DAS MEDIÇÕES DE TEMPERATURA

Aferições da Água	Termômetro TP101	Sensor DS18B20	Erro	Desvio
	Média	Média	(%)	(°C)
Fria	4,66	5,46	17,16	-0,8
Natural	26,80	26,7	0,37	+0,1
Quente	70,13	68,63	2,13	+1,5

Para calcular a compensação que devemos fazer, primeiramente calculamos o desvio das medidas em relação às medidas do termômetro de referência, presentes na tabela II. Ao decorrer dos testes do experimento, notamos que a variação em temperaturas mais elevadas era abaixo dos valores de referência e as temperaturas mais baixas eram acima dos valores de referência.

A opção mais viável de compensar o sistema do sensor é por meio de uma função de regressão linear, que calculamos por meio de um script em Python [8], para definir a melhor reta que minimiza o erro quadrático entre os pontos medidos e a reta de ajuste. A função linear é dada por 5:

$$T_{corrigida} = m \cdot T_{DS18B20} + b \quad (5)$$

Os coeficientes foram calculados pelo algoritmo de Mínimos Quadrados, conforme as equações fundamentais:

$$m = \frac{N \sum(x_i y_i) - \sum x_i \sum y_i}{N \sum(x_i^2) - (\sum x_i)^2} \quad (6)$$

$$b = \bar{y} - m\bar{x} \quad (7)$$

Onde N é o número de pontos de dados, x_i é a leitura do DS18B20, y_i é a leitura de referência, \bar{x} é a média de x e \bar{y} é a média de y .

Após fazermos os cálculos e rodarmos o código em Python, chegamos na Fórmula de Calibração 8:

$$T_{corrigida} = 1.0357 * T_{sensor} + (-0.9344) \quad (8)$$

Curva de calibração

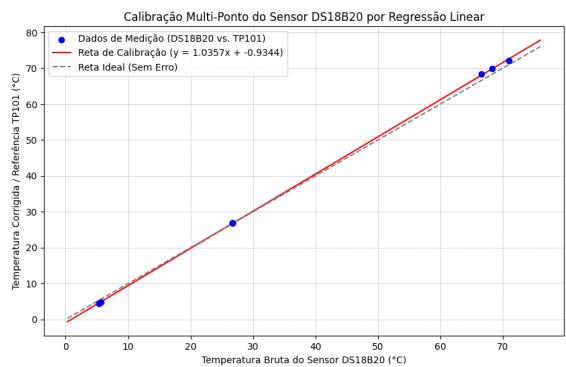


Fig. 5. Curva de calibração plotada com o script em Python Calculo_Compensacao.py [8]

O gráfico de calibração, plotado a partir do código Calculo_Compensacao.py ilustra a relação entre as leituras do sensor DS18B20 e a temperatura de referência, confirmando a necessidade e a eficácia da compensação.

- Pontos Azuis: Representam os dados reais coletados (Água Fria, Natural e Quente). O eixo X mostra a leitura bruta do DS18B20, e o eixo Y mostra o valor de referência do Termômetro TP101.
- Reta Ideal (Cinza, Tracejada): Esta linha diagonal representa a condição de erro zero, onde a leitura bruta do sensor é idêntica à temperatura de referência ($y = x$). Nossos pontos de medição idealmente estariam sobre esta reta.
- Reta de Calibração (Vermelha): É a função 8 calculada pela Regressão Linear. Esta é a melhor reta de ajuste para os pontos azuis. Ela é a chave da compensação: quando a leitura do sensor (eixo X) é aplicada nesta reta, o resultado (eixo Y) é a temperatura mais próxima do valor de referência.

G. Implementação de compensação

Após o cálculo de compensação do sensor, primeiramente implementamos a equação 8 no código que usamos nos testes iniciais para fazer a calibração [8], em seguida repetimos o teste usando o sensor DS18B20 e o termômetro de referência, a fim de comparar e verificar a calibração do sensor. Obtemos as seguintes médias das medidas presentes na tabela III

O script de análise utiliza um conjunto de dados reduzido (três pontos representativos: $\sim 6^\circ\text{C}$, $\sim 25^\circ\text{C}$, $\sim 40^\circ\text{C}$) para quantificar o erro sistemático antes e depois da calibração. Em vez de calcular o erro ponto a ponto, o código calcula a Reta

TABLE III
PARÂMETROS DAS MEDIÇÕES DE TEMPERATURA

Aferições da Água	TP101	Sens. calibrado	Sens. descalibrado
	Média ($^{\circ}$ C)	Média ($^{\circ}$ C)	Média ($^{\circ}$ C)
Fria	6,1	5,7	5,3
Natural	25,2	25,2	25,3
Quente	40,3	40,2	41,8
Desvio médio	-	0,20	0,85

de Tendência para cada conjunto de dados (Referência, Bruto e Calibrado) em função de um índice sequencial:

$$\text{Reta}(x) = m_{\text{tend}} \cdot \text{índice} + b_{\text{tend}} \quad (9)$$

A reta de referência (a ideal) é comparada com as retas Bruta e Calibrada para isolar o Erro Sistemático Tendencial do sistema. O Erro Sistemático é definido como a diferença entre a reta de tendência do sensor e a reta de tendência da Referência:

$$\text{Erro}_{\text{Bruto}} = \text{Reta}_{\text{Bruta}} - \text{Reta}_{\text{Referência}} \quad (10)$$

$$\text{Erro}_{\text{Calibrado}} = \text{Reta}_{\text{Calibrada}} - \text{Reta}_{\text{Referência}} \quad (11)$$

Este cálculo demonstra o desvio médio e a tendência de desvio do sensor ao longo de sua faixa de operação, o que é crucial para validação metrológica.

O código `Comparacao_Final.py` [8] gera um gráfico 6 com dois subplots para uma análise visual do desempenho:

- Curvas de Temperatura: Plota os pontos medidos e as três Retas de Tendência (Referência, Bruta e Calibrada). A proximidade da Reta Calibrada com a Reta de Referência evidencia a eficácia da calibração.
- Curvas de Erro Tendencial: Plota as curvas de $\text{Erro}_{\text{Bruto}}$ e $\text{Erro}_{\text{Calibrado}}$. O objetivo da calibração é fazer com que a curva de $\text{Erro}_{\text{Calibrado}}$ se aproxime da linha de Erro Zero (ideal).

Análise de Tendência e Erro Sistemático do Sensor de Temperatura

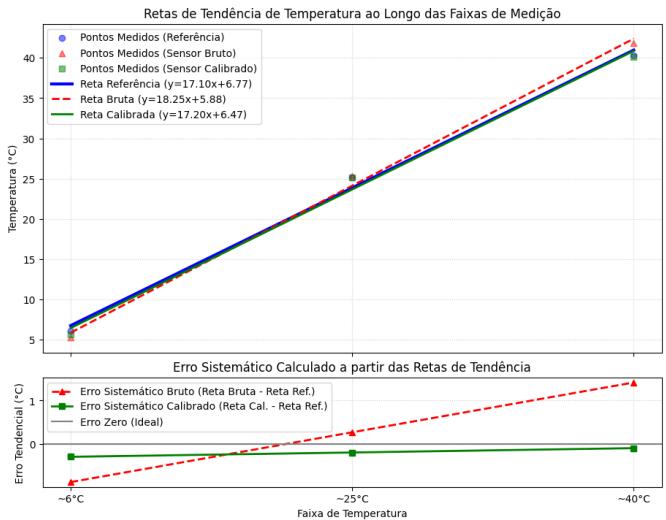


Fig. 6. Curvas dos sensores; Curva do Erro sistemático sem calibração (bruto) e com calibração, plotado a partir do código `Comparacao_Final.py` [8]

III. DISCUSSÃO

A análise dos resultados experimentais revela aspectos importantes sobre o desempenho do sensor DS18B20 e a eficácia do processo de calibração implementado.

Os dados apresentados na Tabela II demonstram que o sensor apresentou comportamento não-linear ao longo da faixa de temperatura testada, com desvios variando de $-0,8^{\circ}\text{C}$ em baixas temperaturas até $+1,5^{\circ}\text{C}$ em temperaturas elevadas. O erro percentual mais significativo foi observado na faixa de temperatura fria ($17,16\%$), enquanto na temperatura ambiente o erro foi mínimo ($0,37\%$).

Após a implementação da compensação linear baseada na regressão por mínimos quadrados, o desvio médio reduziu de $0,85^{\circ}\text{C}$ para $0,20^{\circ}\text{C}$, representando uma melhoria de aproximadamente 76% na precisão das medições. Esta melhoria é particularmente relevante para a aplicação proposta de monitoramento de aquários, onde variações superiores a 5°C podem comprometer a saúde dos organismos aquáticos.

A análise visual apresentada na Figura 6 corrobora os resultados numéricos, mostrando que a curva do sensor calibrado se aproxima significativamente da curva de referência. O protocolo experimental adotado mostrou-se adequado, e a repetibilidade das medições demonstra a robustez do procedimento.

IV. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um estudo completo sobre a calibração e compensação do sensor de temperatura DS18B20, demonstrando metodologias práticas e acessíveis para melhoria da precisão metrológica.

O experimento de calibração caracterizou o comportamento do sensor em três faixas de temperatura distintas, representadas pelos pontos médios $\{4,66^{\circ}\text{C}, 26,80^{\circ}\text{C} \text{ e } 70,13^{\circ}\text{C}\}$. A

compensação digital baseada em regressão linear ($T_{\text{corrigida}} = 1,0357 \times T_{\text{sensor}} - 0,9344$).

O sensor calibrado atende aos requisitos de precisão para monitoramento de aquários, com desvio médio de 0,20°C. Como contribuições principais, o trabalho fornece: metodologia experimental acessível, fundamentação teórica sobre o princípio PTAT, código-fonte documentado [8], e análise quantitativa da melhoria de desempenho.

Como perspectivas para trabalhos futuros, sugere-se a implementação de filtros digitais de média móvel no firmware para redução de ruídos transientes e a integração com módulos IoT (como o ESP32) para o envio de alertas remotos, agregando segurança adicional ao monitoramento ambiental.

REFERENCES

- [1] D. F. Robot, "Gravity: DS18B20 Temperature Sensor," *Mouser*, [Online]. Available: <https://br.mouser.com/ProductDetail/DFRobot/DFR0198?qs=Zcin8yvlhnPOt9ZKO3roFQ%3D%3D>.
- [2] Huinfinito, "Sensor de Temperatura Digital DS18B20 Prova d'Água," *Huinfinito*, [Online]. Available: <https://www.huinfinito.com.br/sensores/931-sensor-de-temperatura-ds18b20-prova-d-agua.html>.
- [3] Eletrogate, "Guia Completo sobre Sensor de Temperatura DS18B20 a Prova d'Água," *Blog Eletrogate*, [Online]. Available: <https://blog.eletrogate.com/guia-completo-sobre-sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-dagua/>.
- [4] B. G. Streetman e S. K. Banerjee, *Solid State Electronic Devices*, 7^a ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2016, pp. 290-300.
- [5] P. R. Gray, P. J. Hurst, S. H. Lewis e R. J. Meyer, *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits*, 5^a ed. New York: Wiley, 2009, pp. 780-795.
- [6] Soldered, "WATERPROOF DS18B20 TEMPERATURE SENSOR" *Datasheet*, [Online]. Available: <https://br.mouser.com/ProductDetail/Soldered/101203?qs=IKkN%2F947nfC1tjkCTJyLKw%3D%3D>.
- [7] Last Minute Engineers *Interfacing DS18B20 1-Wire Digital Temperature Sensor with Arduino*, [Online]. Available: <https://lastminuteengineers.com/ds18b20-arduino-tutorial/>
- [8] Repositório GitHub do Projeto Final *Projeto de Calibração do Sensor DS18B20*, [Online]. Available: <https://github.com/Sofavictoria/Projeto-Final-DS18B20-UnB.git>
- [9] TP101 Digital Thermometer *Datasheet*, [Online]. Available: <https://www.handsontec.com/dataspecs/Instruments/TP101-Thermometer.pdf>
- [10] Simulação *Simulação de Calibração do Sensor DS18B20*, [Online]. Available: <https://wokwi.com/projects/445016128505490433>

