

SISTEMA DE CONTROLE E MONITORAMENTO DE TEMPERATURA EM RESERVATÓRIOS

Isabella Nicolay Vaz da Silva
Engenheira de Controle e Automação do
Ensino Superior
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Pará - IFPA, Campus
Belém
Belém, Brasil
nicolayisabella04@gmail.com

Renan Michel Machado da Silva
Engenheiro de Controle e Automação do
Ensino Superior
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Pará - IFPA, Campus
Belém
Belém, Brasil
renan13michel@gmail.com

Márcio Nazareno de Araújo Moscoso
Professor do curso de Engenharia de
Controle e Automação
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Pará -IFPA, Campus Belém
Belém, Brasil
marcio.moscoso@ifpa.edu.br

Abstract - *This paper presents the development of an automated system for temperature control and monitoring in industrial reservoirs, with a focus on food processing applications such as tomato sauce pasteurization. The proposed solution aims to ensure thermal stability and product safety through an architecture composed of a Siemens S7-200 Programmable Logic Controller (PLC) integrated with an ESP32 microcontroller responsible for data acquisition. PT100 temperature sensors were used, along with industrial communication protocols such as Modbus RTU over RS485, and the MQTT protocol for remote supervision. Temperature control was implemented using an on-off logic strategy, seeking to reduce energy consumption without compromising process quality. A graphical interface was developed in Python to allow real-time monitoring and data logging for later analysis. Experimental results demonstrated that the system effectively maintained the reservoir temperature within the ideal range (60 °C to 70 °C), ensuring product integrity. The results indicate that the solution is technically effective, economically feasible, and has potential for application in small and medium-sized industries.*

Keywords - *on-off control; Modbus RTU; MQTT; industrial IoT; ESP32; thermal monitoring*

I. INTRODUÇÃO

A fabricação de produtos alimentícios, cosméticos e de higiene geralmente envolve etapas de armazenamento em tanques ou reservatórios industriais, com o objetivo de conservar ou realizar a homogeneização dos materiais. Durante esse processo, a manutenção da temperatura dentro de uma faixa adequada é essencial para garantir a qualidade, segurança e estabilidade do produto final. Um exemplo recorrente é o molho de tomate, cuja pasteurização requer controle rigoroso da temperatura entre 60 °C e 70 °C. Temperaturas abaixo dessa faixa podem comprometer a integridade do produto, promovendo separação de fases e favorecendo o crescimento microbológico. Por outro lado, temperaturas excessivamente elevadas podem levar à degradação de nutrientes como vitaminas e antioxidantes, reduzindo o valor nutricional do alimento [7].

Diante disso, torna-se evidente a necessidade de sistemas de controle térmico que assegurem a manutenção da temperatura dentro de limites bem definidos. A automação industrial, especialmente com o avanço da Indústria 4.0, oferece ferramentas capazes de realizar esse controle de forma precisa, eficiente e com monitoramento remoto em tempo real [4]. O uso de controladores digitais, sensores de alta precisão e protocolos de comunicação industriais contribui para a criação de ambientes industriais inteligentes, seguros e otimizados energeticamente.

Entre as estratégias de controle mais utilizadas no setor está o controle do tipo on-off. Este método, apesar de simples, é amplamente aplicado em sistemas térmicos com características de resposta lenta e inércia térmica, apresentando bons resultados em aplicações que não exigem ajuste contínuo [2]. Sua eficácia pode ser aumentada significativamente quando associado a dispositivos de controle programável, como os CLPs (Controladores Lógicos Programáveis), que garantem maior confiabilidade operacional e capacidade de expansão [1].

Neste contexto, destaca-se o CLP Siemens S7-200, utilizado neste projeto, por sua robustez, versatilidade e compatibilidade com protocolos de comunicação amplamente difundidos na indústria, como o Modbus RTU [1], [4]. A utilização desse protocolo, aliado ao padrão físico RS-485, proporciona alta imunidade a ruídos e permite comunicação eficiente em longas distâncias — aspecto essencial em ambientes industriais com presença de interferência eletromagnética [4].

Além dos CLPs, microcontroladores modernos têm sido amplamente empregados para tarefas de aquisição de dados e conectividade em sistemas IoT (Internet das Coisas). O ESP32, por exemplo, é um microcontrolador de baixo custo com conectividade Wi-Fi e Bluetooth integrada, sendo altamente eficaz em sistemas embarcados que exigem transmissão de dados, controle e flexibilidade de integração [6]. No projeto aqui apresentado, o ESP32 é responsável pela aquisição dos dados provenientes de sensores industriais de temperatura, como o PT100, e pelo envio dessas informações via protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), uma solução leve e eficiente para comunicação em redes instáveis [3].

O sensor PT100, baseado no princípio dos termômetros de resistência, é amplamente utilizado em ambientes industriais pela sua precisão, linearidade e estabilidade em medições ao longo do tempo [5]. Sua escolha se justifica especialmente em aplicações que exigem confiabilidade e repetibilidade nos processos térmicos, como em tanques de aquecimento de produtos alimentícios.

Para viabilizar a supervisão e análise contínua dos dados, foi desenvolvido um sistema gráfico de monitoramento em Python, que permite a visualização em tempo real das medições de temperatura. Essa interface, associada a um data logger que armazena os dados históricos, torna possível a avaliação de desempenho térmico do sistema, a detecção de falhas e o aprimoramento contínuo do processo.

Portanto, este projeto propõe o desenvolvimento de um sistema de controle e monitoramento de temperatura com integração IoT, empregando controle on-off via CLP e comunicação entre dispositivos através dos protocolos Modbus RTU e MQTT. A proposta visa não apenas garantir a estabilidade térmica do processo, mas também otimizar o consumo energético e proporcionar uma solução de baixo custo e alta eficiência para ambientes industriais automatizados.

Além da precisão no controle térmico e da integração de tecnologias emergentes, aspectos como eficiência energética, segurança operacional e impacto ambiental também desempenham papéis cruciais no desenvolvimento de sistemas industriais modernos. A busca por maior eficiência energética é uma constante na indústria, especialmente em processos térmicos, que estão entre os maiores consumidores de energia. A utilização de sistemas automatizados com controle preciso — como o controle on-off aliado a sensores confiáveis e supervisão contínua — permite reduzir o tempo de operação desnecessária dos aquecedores, minimizando o consumo de energia e contribuindo para a sustentabilidade do processo [2], [4].

A segurança operacional também é significativamente aprimorada com a automação e o monitoramento remoto. O uso de CLPs, sensores industriais como o PT100, e microcontroladores com conectividade IoT proporciona respostas rápidas a variações fora da faixa esperada, acionando alarmes ou desligando o sistema automaticamente em caso de falha. Isso reduz o risco de acidentes, degradação do produto ou danos ao equipamento, garantindo maior confiabilidade operacional [1], [5].

Por fim, o sistema contribui indiretamente para a redução do impacto ambiental, ao evitar o superaquecimento dos materiais, reduzir o desperdício de energia elétrica e preservar a qualidade dos produtos — evitando descartes por falhas térmicas. Segundo Mackay et al. [4], a integração de boas práticas de comunicação e controle industrial resulta não apenas em ganhos econômicos, mas também em melhorias ambientais, atendendo a padrões internacionais de sustentabilidade e eficiência.

II. METODOLOGIA UTILIZADA

A. Componentes da planta de simulação

A simulação do controle térmico foi realizada com base em uma planta experimental composta por elementos comuns a processos térmicos industriais. As figuras a seguir ilustram os principais componentes utilizados:



Fig. 1. Recipiente de vidro, resistência e PT100.

Na Fig. 1, o recipiente simula o reservatório industrial. A resistência é responsável pelo aquecimento do fluido, enquanto o sensor PT100 monitora a temperatura com precisão.



Fig. 2. Rotâmetro.

Na Fig. 3, foi utilizado o rotâmetro para medir a vazão da água, permitindo o controle do fluxo durante os testes e possibilitando a inserção de perturbações na planta.



Fig. 3. Válvulas solenoide.

As válvulas solenoides ilustradas na Fig. 3, foram empregadas para introduzir variações no fluxo de água, simulando perturbações no processo térmico, importantes para validar a eficiência do controle on-off.



Fig. 4. Controlador de temperatura utilizado.

Na Fig. 4, O controlador de temperatura foi utilizado para monitoramento e comparação com resultados gerados no gráfico durante o experimento.

B. Diagrama P&ID da planta

A Figura 4 apresenta o Diagrama de Instrumentação e Tubulação (P&ID) da planta térmica, evidenciando a disposição dos componentes e suas respectivas conexões.

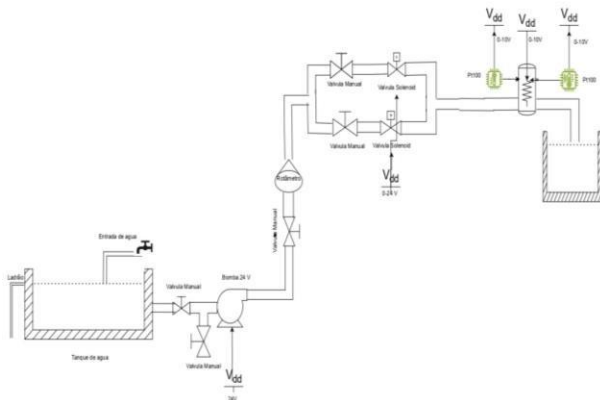


Fig. 5. Diagrama P&ID da planta térmica.

C. Comunicação entre dispositivos

A integração entre os dispositivos da planta experimental foi realizada por meio de dois protocolos distintos, cada um atendendo a uma necessidade específica do sistema: o Modbus RTU, utilizado para comunicação local entre o CLP e o microcontrolador ESP32 via RS485, e o MQTT, empregado para supervisão remota por meio da interface gráfica em Python.

D. Comunicação via Modbus RTU sobre RS485

O Modbus RTU é um protocolo amplamente adotado em ambientes industriais devido à sua simplicidade, confiabilidade e fácil implementação. Neste projeto, foi utilizado em conjunto com a camada física RS485, possibilitando a interligação robusta entre o CLP Siemens S7-200 e o ESP32, que atua como escravo Modbus.

Entre as principais características dessa implementação, destacam-se:

- Longo alcance de comunicação: a interface RS485 permite transmissões de até 1.200 metros sem necessidade de repetidores, com alta imunidade a ruídos eletromagnéticos, o que é ideal para ambientes industriais.
- Organização de dados em registradores: o Modbus estrutura as informações em registradores de entrada, saída e status, o que facilita a leitura das variáveis de processo e o controle de atuadores.
- Topologia multiponto: o barramento RS485 permite conectar até 32 dispositivos simultaneamente sem o uso de switches ou hubs.
- Compatibilidade entre equipamentos: por ser um protocolo aberto e amplamente suportado, o Modbus RTU facilita a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes.

No contexto do sistema implementado, o sensor PT100 tem seu valor lido pelo ESP32, convertido em temperatura e armazenado em um registrador Modbus (endereço 30001). O CLP Siemens, atuando como mestre, lê esse valor para

executar a lógica de controle on-off, acionando ou desligando a resistência de acordo com os limites estabelecidos.

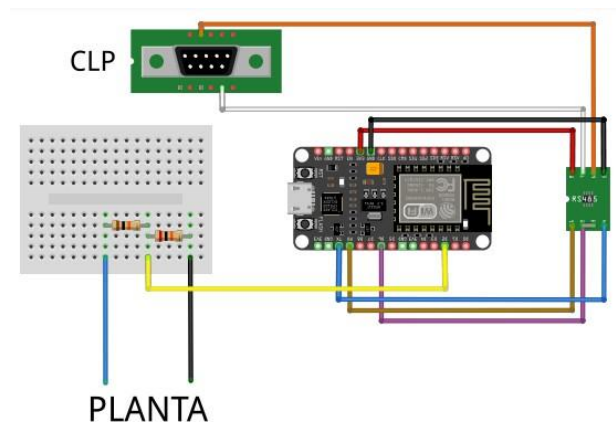


Fig. 6. Circuito eletrônico da comunicação Modbus RS485.

E. Comunicação via MQTT

O protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) foi empregado para permitir o monitoramento remoto em tempo real da temperatura do reservatório, por meio de uma aplicação desenvolvida em Python. Esse protocolo é especialmente adequado para aplicações de Internet das Coisas (IoT), pois opera com baixa sobrecarga de dados e alta eficiência em redes instáveis.

As principais vantagens do MQTT no sistema são:

- Modelo publicador/assinante: ao contrário do modelo cliente-servidor, o MQTT utiliza um broker central que gerencia a troca de mensagens entre os dispositivos. No projeto, o ESP32 atua como publicador dos dados de temperatura, e a aplicação em Python é o assinante.
- Retenção de mensagens: o broker armazena temporariamente as mensagens publicadas, garantindo que os dados sejam entregues mesmo se o assinante se conectar posteriormente.
- Alta escalabilidade: o modelo do protocolo permite a conexão simultânea de múltiplos dispositivos, sem sobrecarregar a rede.
- Comunicação assíncrona e de baixa latência: as mensagens são trocadas em tempo real, com baixo tempo de resposta, o que é essencial para supervisão precisa de variáveis de processo.
- Interoperabilidade: o MQTT é compatível com diversos sistemas e plataformas, permitindo a expansão futura do sistema.

A interface gráfica, desenvolvida em Python com a biblioteca Tkinter, é responsável por apresentar os dados de temperatura em tempo real e armazená-los em um data logger. A estrutura e os resultados obtidos por meio dessa interface serão discutidos na próxima seção.

F. Códigos Utilizados

A implementação do sistema proposto exigiu o desenvolvimento de códigos específicos para três plataformas: o microcontrolador ESP32, o Controlador Lógico Programável (CLP) Siemens S7-200 e uma aplicação em Python para supervisão remota. Cada código desempenha

uma função complementar no controle e monitoramento da temperatura do reservatório.

No ESP32, o código foi estruturado para realizar a leitura da temperatura, a comunicação via protocolo Modbus RTU e o envio dos dados através do protocolo MQTT. Inicialmente, foram definidos os pinos utilizados, bem como o registrador Modbus de entrada analógica com endereço 30001. Em seguida, foram configuradas as conexões Wi-Fi e MQTT, por meio da criação de um cliente específico, com identificação do broker Mosquitto e definição da porta e do tópico de publicação. A leitura do valor analógico proveniente do sensor PT100 é realizada pelo pino 34, com valores variando de 0 a 4095. Esse valor é convertido para tensão e, posteriormente, transformado em temperatura. A temperatura resultante é convertida para “string” e publicada

no tópico MQTT a cada 0,5 segundo. O código também inclui funções de manutenção da conexão, que tenta reconectar ao broker em caso de falhas, e a `[client.loop()]`, que mantém a comunicação ativa. Por fim, o ESP32 opera como escravo Modbus, permitindo que o CLP acesse os dados de temperatura continuamente.

No CLP Siemens S7-200, o código tem por objetivo realizar o controle on-off da resistência com base na temperatura lida pelo ESP32. Primeiramente, é estabelecida a comunicação Modbus com “baudrate” de 9600, e o CLP é configurado como mestre. A leitura do registrador 30001 do escravo (ID 1) é feita continuamente, e o valor obtido é armazenado na memória interna do CLP, no endereço &VB0. O código inclui também uma verificação de erros de comunicação, que são sinalizados por meio da memória MB2. A lógica de controle foi implementada com base em limites de temperatura: caso o valor lido seja superior ao limite máximo (por exemplo, 2000 em escala convertida), a resistência é desligada, representada pela saída adicionada. Caso o valor esteja abaixo do limite mínimo (por exemplo, 1758), a resistência é acionada novamente. Essa abordagem simples e eficiente garante que a temperatura do reservatório permaneça dentro da faixa ideal para a pasteurização.

Por fim, o código em Python foi desenvolvido para realizar a supervisão remota e o registro dos dados de temperatura. A aplicação estabelece conexão com o broker MQTT e assina o tópico em que o ESP32 publica as temperaturas. A função `[on_message]` é responsável por processar cada mensagem recebida, convertendo o dado em número decimal e armazenando-o em um “DataFrame” junto com a marcação de tempo. Esses dados são então utilizados para atualização contínua de um gráfico de temperatura em tempo real. Caso o DataFrame contenha ao menos cinco registros, é aplicada uma média móvel que suaviza a curva exibida. O gráfico é atualizado a cada cinco segundos por meio da função `[update_plot]`, que também salva os dados em um arquivo .csv, atuando como data logger. A interface gráfica foi desenvolvida com a biblioteca Tkinter, contendo um gráfico embutido e uma área de log rolável que apresenta as últimas leituras recebidas. O programa é mantido em execução por um laço infinito e pode ser encerrado de forma segura com uma interrupção manual, o que desativa o cliente MQTT e finaliza o processo de monitoramento.

III. RESULTADOS

A partir da implementação dos códigos descritos nas seções anteriores, foi possível colocar em operação o sistema de controle e monitoramento de temperatura. Os testes foram

realizados em uma planta térmica simulada, com o objetivo de validar a eficácia do controle on-off e a confiabilidade da supervisão remota via protocolo MQTT. Os dados coletados e os gráficos gerados pela aplicação em Python permitiram a análise do desempenho geral do sistema.

É importante destacar que, embora a faixa de temperatura ideal para o processo de pasteurização do molho de tomate seja entre 60 °C e 70 °C, conforme estabelecido na literatura técnica, os testes na bancada foram realizados com temperaturas mais baixas, entre 40 °C e 50 °C. Essa decisão

foi tomada em função de interferências externas significativas, como a ausência de isolamento térmico adequado, variações ambientais e limitações estruturais da bancada experimental. Apesar da alteração na faixa de operação, a lógica de controle, os parâmetros de supervisão e a arquitetura do sistema permaneceram os mesmos, validando a funcionalidade e a robustez da implementação em condições reais de aplicação.

Na Fig. 7. observa-se o gráfico da temperatura em função do tempo, gerado em tempo real pela interface Python. O comportamento apresentado reflete com precisão a atuação do controle on-off: inicialmente, a temperatura do fluido diminui gradualmente até atingir o valor mínimo (aproximadamente 40 °C), momento em que o CLP aciona a resistência submersa. Com o aquecimento, a temperatura sobe até atingir o valor limite superior (cerca de 50 °C), levando ao desligamento automático da resistência. Esse ciclo se repete continuamente, garantindo a manutenção da variável dentro da faixa estabelecida, independente das variações, seja elas externas ou internas.

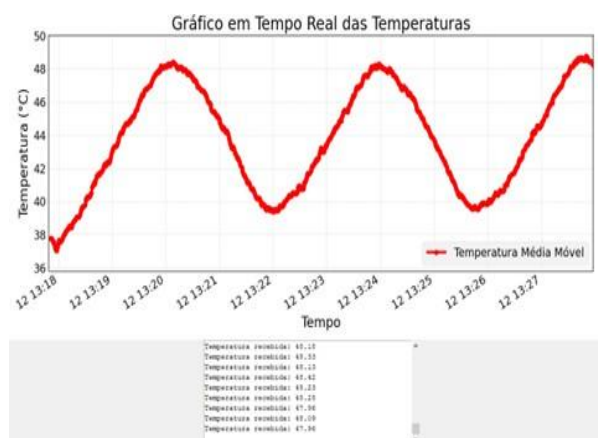


Fig. 7. Gráfico da temperatura em função do tempo.

O controle on-off se mostrou eficaz em manter a temperatura dentro dos limites desejados, mesmo diante das variações externas, o que evidencia a adequação do sistema para aplicações industriais com inércia térmica moderada. A atuação automática do CLP, aliada à aquisição de dados em tempo real pelo ESP32, assegurou uma resposta rápida e precisa às variações da variável controlada.

Além do controle, o sistema demonstrou alto desempenho em termos de monitoramento remoto e registro de dados históricos. A interface gráfica desenvolvida em Python, comunicando-se com o ESP32 via MQTT, permitiu o acompanhamento da temperatura em tempo real de forma estável e sem perda de pacotes. A Fig. 8. apresenta o funcionamento do data logger, que armazena continuamente os valores de temperatura acompanhados de data e hora em

um arquivo .csv. Esse recurso garante rastreabilidade, facilita análises posteriores e permite a identificação de padrões térmicos ao longo do tempo, a resistência de acordo com os limites estabelecidos.

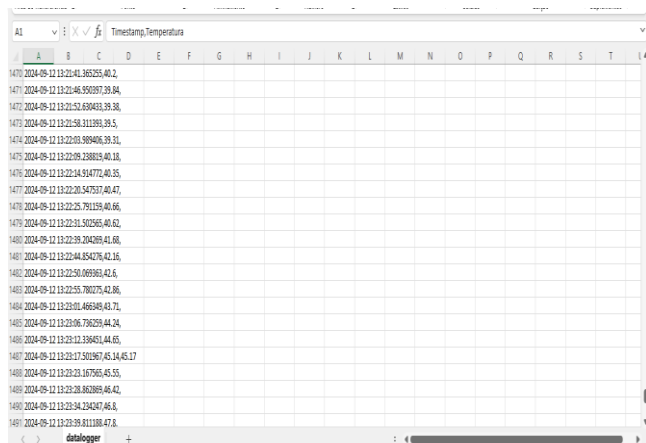


Fig. 8. Data logger com os valores de temperatura medidos..

A combinação entre controle, supervisão e armazenamento de dados torna o sistema altamente aplicável em contextos industriais, sobretudo em pequenas e médias empresas que necessitam de soluções de baixo custo com integração IoT. Apesar das limitações físicas da bancada, os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica da proposta.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de um sistema de controle e monitoramento de temperatura para reservatórios industriais, utilizando controle on-off aliado à comunicação via Modbus RTU e MQTT, demonstrou-se uma solução viável, eficiente e economicamente acessível para aplicações em processos térmicos, como a pasteurização de alimentos.

A arquitetura proposta, composta por um CLP Siemens S7-200 e um microcontrolador ESP32, integrou tecnologias tradicionais da automação industrial com recursos modernos de Internet das Coisas (IoT), promovendo confiabilidade no controle e flexibilidade na supervisão remota. A utilização de sensores PT100 garantiu medições precisas, enquanto a interface gráfica desenvolvida em Python permitiu o acompanhamento contínuo do processo e o registro estruturado das variáveis monitoradas.

Embora a faixa de temperatura ideal para o processo alvo (pasteurização de molho de tomate) esteja

entre 60 °C e 70 °C, os testes foram conduzidos com valores entre 40 °C e 50 °C, em razão de limitações físicas e interferências externas observadas na bancada experimental. Essa adaptação, no entanto, não comprometeu a avaliação da lógica implementada, uma vez que a estrutura de controle, os mecanismos de leitura e escrita, bem como os protocolos de comunicação empregados, permaneceram os mesmos que seriam utilizados em uma aplicação industrial real

Os resultados obtidos validaram o funcionamento do sistema, evidenciando a atuação precisa do controle on-off e a eficácia da comunicação entre os dispositivos. A manutenção da temperatura dentro da faixa desejada, a estabilidade do monitoramento em tempo real e o funcionamento do data logger confirmam o sucesso do projeto tanto do ponto de vista técnico quanto operacional.

Dessa forma, conclui-se que a solução apresentada possui grande potencial de aplicação em pequenas e médias indústrias, podendo ser facilmente adaptada a diferentes cenários que demandem controle térmico. Futuras melhorias podem incluir o uso de estratégias de controle mais avançadas (como PID) e a implementação de rotinas de segurança térmica, ampliando ainda mais a robustez e a aplicabilidade do sistema.

REFERÊNCIAS

The template will number citations consecutively within brackets [1]. The sentence punctuation follows the bracket [2]. Refer simply to the reference number, as in [3]—do not use “Ref. [3]” or “reference [3]” except at the beginning of a sentence: “Reference [3] was the first ...”

Number footnotes separately in superscripts. Place the actual footnote at the bottom of the column in which it was cited. Do not put footnotes in the abstract or reference list. Use letters for table footnotes.

Unless there are six authors or more give all authors' names; do not use “et al.”. Papers that have not been published, even if they have been submitted for publication, should be cited as “unpublished” [4]. Papers that have been accepted for publication should be cited as “in press” [5]. Capitalize only the first word in a paper title, except for proper nouns and element symbols.

For papers published in translation journals, please give the English citation first, followed by the original foreign-language citation [6].

- [1] W. Bolton, *Programmable Logic Controllers*, 6th ed. Oxford: Elsevier, 2015.
- [2] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2010.
- [3] A. Banks and R. Gupta, “MQTT Version 3.1.1,” *OASIS Standard*, 2014. [Online]. Available: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1>.
- [4] S. Mackay, E. Wright, J. Park, and D. Reynnders, *Practical Industrial Data Communications: Best Practice Techniques*. Oxford: Elsevier, 2004.
- [5] C. C. Nascimento, *Instrumentação Industrial*. São Paulo: Érica, 2017.
- [6] J. L. Valente et al., “Aplicações com ESP32 em sistemas embarcados,” *Revista Tecnologia & Inovação*, vol. 5, no. 1, pp. 22–30, 2020.
- [7] M. H. Silva and L. M. Pereira, “Qualidade de alimentos e conservação térmica,” in *Anais do III Congresso Nacional de Engenharia de Alimentos*, São Paulo, 2018.