



TRABALHO FINAL DE GRADUAÇÃO – MAIO/2025
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

MONITORAMENTO E ACIONAMENTO REMOTO EM SISTEMAS LEGADOS

Marcos André Magalhães de Sousa Filho

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Maximiano Antunes de Almeida

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle remoto para sistemas legados elétricos e eletrônicos, integrando uma *Raspberry Pi 4* com a plataforma *ThingsBoard*. Sendo assim, o sistema garante flexibilidade para integração de diferentes protocolos de comunicação e isolamento elétrico entre circuitos, assegurado pelo uso de optoacopladores e relés, além de utilizar uma arquitetura de software modular baseada no paradigma de programação orientada a objeto, utilizando padrões de interfaces.

Palavras-Chave: Acesso remoto, IoT, Modularidade, *ThingsBoard*, Sistema legado.

I INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a necessidade de integração de dispositivos a rede de internet vem crescendo, essa tecnologia é conhecida como internet das coisas, ou também, como *Internet Of Things* ou *IoT* [1]. Esse é um conceito que visa conectar dispositivos físicos a rede internet, para que seja possível coletar, receber e enviar dados sem a intervenção humana.

Devido ao fato da *IoT* permitir a automação e monitoramento de sistemas em tempo real, ela é capaz de se tornar totalmente versátil, sendo amplamente utilizada em áreas, como por exemplo, automação residencial, agricultura, saúde e na indústria 4.0.

Diante desse cenário crescente, foi desenvolvido um sistema para facilitar a integração de sistemas conhecidos como legado (*software*, *hardware* ou infraestrutura que foram desenvolvidos e implementados em uma organização no passado, muitas vezes usando tecnologias ou padrões antigos) com a tecnologia *IoT* [2], com o objetivo de melhorar a qualidade de vida das pessoas. Esse sistema permite executar e monitorar a execução de tarefas sem a necessidade da ida presencial ao ambiente do dispositivo. Além disso, ele foi projetado para ser facilmente adaptável a diferentes cenários, exigindo poucas alterações para atender às necessidades específicas de cada situação.

II PROPOSTA

O presente projeto visa ao desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle remoto para plantas de sistemas elétricos e eletrônicos legados. A arquitetura proposta integra uma *Raspberry Pi 4* [3], um computador de baixo custo, desenvolvido para fins educacionais e projetos de prototipagem, com a plataforma *ThingsBoard* [4], uma plataforma de código aberto para *IoT* que permite o controle e visualização de dados de dispositivos conectados. Com isso é possível desenvolver um sistema que permite o recebimento e envio de dados em tempo real.

A solução oferece uma abordagem robusta e versátil para a supervisão em tempo real, permitindo intervenções e ajustes à distância, o que é essencial para aplicações que exigem alta disponibilidade e segurança operacional. Além disso, a arquitetura do sistema possibilita o desenvolvimento de interfaces mais complexas, bem como a integração com circuitos mais elaborados.

O grande diferencial desta proposta é sua adaptabilidade, permitindo que o sistema seja facilmente ajustado para as mais diversas aplicações. Ele pode ser configurado tanto para ambientes industriais complexos quanto para sistemas de controle e monitoramento específicos, como o gerenciamento de uma bomba hidráulica em um sítio particular. Essa flexibilidade torna a solução versátil e capaz de atender diferentes necessidades com o mínimo de alterações, ampliando seu campo de aplicação e garantindo eficiência e qualidade em variados contextos.

O projeto foi inspirado nas necessidades de pessoas que possuem propriedades rurais que praticam piscicultura [5]. Essa atividade necessita do ligamento de bombas hidráulicas para manter a oxigenação dos peixes nos tanques, porém, manter o funcionamento 24hrs por dia pode ocasionar em um aumento considerável na conta de luz. Com essa inspiração, foi pensado em um framework cuja proposta é de facilitar a integra-

ção desses sistemas que antes necessitavam um acionamento presencial, para passarem a serem feitos via rede internet.

III REFERÊNCIA TEÓRICA

Nessa seção se trata do referencial teórico do projeto, demonstrando as tecnologias que serão utilizadas para o desenvolvimento do projeto.

III.1 Projeto

Para representar um sistema de monitoramento de dados da placa de controle, utilizou-se um sensor infravermelho [6] para detectar objetos que estão ao seu alcance. Por conseguinte, um *Light Emitting Diode (LED)* [7] embutido na placa *ESP8266* [8] é acionado, demonstrando que o sistema foi capaz de identificar algo através do sensor infravermelho e executar alguma ação. Esse *LED* representa a ativação de algum mecanismo, como por exemplo, um acionamento de um relé para a ativação de uma bomba, demonstrando o conceito de atuação automatizada.

Adicionalmente, com o auxílio da interface gráfica da plataforma *ThingsBoard*, implementou-se uma chave virtual que simula o acionamento do sistema pelo operador. Essa chave virtual permite iniciar e finalizar o processos de forma remota, demonstrando a integração do sistema com a *IoT* e possibilitando maior praticidade e controle na operação. Além disso, a plataforma utiliza *LEDs* que mostrarão ao operador, em tempo real, a leitura dos sensores e o acionamento dos atuadores.

No contexto de integração com sistemas legados, idealizou-se uma bomba hidráulica, que por sua vez não possui nenhuma tecnologia embarcada para o acesso a rede, podendo assim ser considerada uma tecnologia legada. Devido ao fato de uma bomba hidráulica possuir uma tensão elevada, tanto em corrente alternada (CA), trabalhando em faixas de tensão de 127Vac monofásico até 6,6kVac trifásico, enquanto em corrente contínua (CC) pode chegar até 48Vdc [9]. In contrast, a *Raspberry Pi 4* [10], used as a control system, operates with 0V a 3,3V tensiles on its *GPIOs*, tornando impossible uma conexo direta between os dois sistemas devido a incompatibilidade of nveis of tenso.

III.2 Eletrônica

Para superar a incompatibilidade de tensão, o optoacoplador 4N25[11] foi implementado como uma solução intermediária. Esse componente atua como um dispositivo de isolamento elétrico, permitindo a separação completa entre os circuitos de controle e de potência. Ele recebe sinais da *Raspberry Pi* através de seu *LED* interno, e, em resposta, ativa seu fototransistor, que atua sobre o circuito legado. Dessa forma,

não apenas a diferença de tensões é isolada, mas também os referenciais de terra (*GND*) dos dois sistemas permanecem independentes, evitando correntes de retorno indesejadas e garantindo a integridade e a operação segura de ambos os dispositivos. Vale ressaltar também que essa é uma solução voltada aos atuadores com alimentação DC.

Contudo, devido à alta tensão dos atuadores, não é possível utilizar o optoacoplador, sendo necessário também integrar um circuito que faz a indicação de garantia que a tensão de alimentação está indo para a bomba com os pinos de leitura da *Raspberry*. Dessa forma, utiliza-se um relé, que consiste em um dispositivo que possui uma bobina, capaz de chavear seus contatos e alterar o estado de saída. Essa solução é voltada para o uso em atuadores AC.

Com essa abordagem, a diferença de tensão de operação entre os sistemas é superada, permitindo seu funcionamento seguro e eficiente. Além disso, mantém-se os *GNDs* dos sistemas com atuadores, que tendem a ser mais sujeitos a ruídos elétricos, isolados do *GND* do sistema de controle. Essa separação evita possíveis danos tanto a curto quanto a longo prazo no equipamento de controle, que, apesar de confiável, é significativamente mais sensível a interferências externas do que os sistemas que possuem atuadores integrados. Assim, a solução adotada não só promove a integração funcional entre tecnologias diferentes, mas também preserva a integridade dos componentes envolvidos.

III.3 Comunicação

Para a comunicação do equipamento com a interface gráfica *ThingsBoard* foi utilizado o protocolo *MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)* [12], que consiste em um protocolo de comunicação leve e eficiente, projetado para transmitir dados entre dispositivos em redes de *IoT* e outras aplicações que requerem baixo consumo de banda e energia.

O protocolo *MQTT* opera segundo o modelo de publicação/assinatura, onde os dispositivos enviam mensagens a um servidor intermediário denominado *broker*, que gerencia a distribuição dessas mensagens para os dispositivos interessados, não sendo necessário estabelecer conexões diretas entre o servidor e a placa. Além disso, o *MQTT* suporta mecanismos de garantia de entrega de mensagens *Quality of Service (QoS)*, o que garante a qualidade da entrega do pacote.

IV DESENVOLVIMENTO

Esta seção descreve as etapas de desenvolvimento do sistema proposto, que visa possibilitar o monitoramento e controle remoto de sistemas previamente inacessíveis à distância. Vale ressaltar, o conceito central do projeto é a modularidade, permitindo que a estrutura seja adaptada conforme as necessidades específicas do usuário.

IV.1 Hardware

Conforme mencionado na Subseção III.2, há uma incompatibilidade dos níveis de tensão da bomba com os pinos da *Raspberry*. Essa subseção é destinada a demonstrar os circuitos e a Placa de Circuito Impresso (PCI) que fazem o intermédio da comunicação entre esses dois sistemas. Para o desenvolvimento foi utilizado o *software KiCad* [13].

A Figura 1 representa o esquemático que demonstra como deve ser feita a conexão das *GPIOs* de saída do sistema de controle com o sistema legado. Vale ressaltar também que, o projeto foi feito também para a utilização com sistemas de controle de maior alta tensão, podendo ser até botoeira CA.

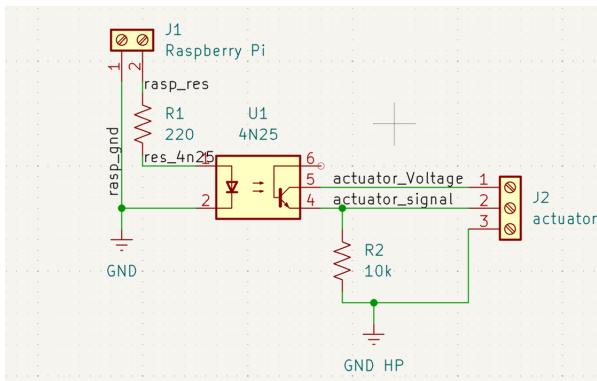


Fig. 1: Esquemático da placa que faz a conexão das *GPIOs* da *Raspberry* com o sistema legado CC

A Figura 2 representa o esquemático do circuito de conversão do sistema legado com o sistema de controle.

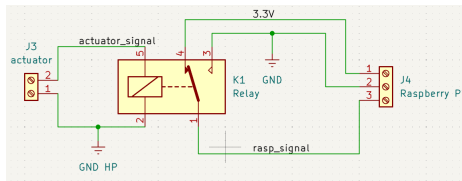


Fig. 2: Esquemático da placa que faz a conexão do sistema legado CA com as *GPIOs* da *Raspberry*

Por fim, foram desenvolvidas duas placas, evidenciando a simplicidade e eficácia do processo de conversão de tensões, o que reforça a viabilidade da integração entre sistemas legados e modernos.

A Figura 3 referencia a placa que faz a conexão via relé, entre o sistema legado e *Raspberry Pi* e a Figura 4 a placa que faz a conexão entre a *Raspberry Pi* e o sistema legado, utilizando o optoacoplador.

Pode-se observar que foram adicionados desenhos específicos à placa (representados pelas linhas pretas), cuja função é atuar como elementos de blindagem eletromagnética, reduzindo a interferência entre os circuitos. Complementarmente, os planos de terra foram distribuídos em camadas distintas da placa, o que con-

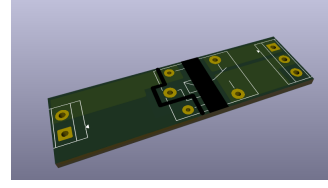


Fig. 3: Modelo 3D da placa que faz a conexão do sistema legado com a *Raspberry Pi*

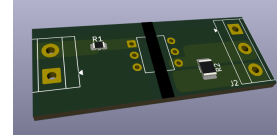


Fig. 4: Modelo 3D da placa que faz a conexão da *Raspberry Pi* com o sistema legado

tribui para a mitigação de ruídos e reforçam a imunidade eletromagnética do sistema.

IV.2 Interface backend

A interface de código *backend* desenvolvida para a atuação foi baseada no paradigma de programação orientado a objetos [14], proporcionando um código mais organizado, legível e com maior manutenibilidade. Essa abordagem facilita adaptações para diferentes cenários, economizando tempo e esforço em futuras implementações. A linguagem utilizada foi *Python*, essa escolha se deu devido a sua simplicidade e eficiência.

Inicialmente, foi implementado o código para acesso de baixo nível à *Raspberry Pi*, com o objetivo de simplificar o uso e a configuração dos pinos do equipamento. A classe desenvolvida adota uma arquitetura baseada em interfaces, que consiste na definição de um contrato de métodos que devem ser obrigatoriamente implementados pelas classes que a utilizam. Essa abordagem promove a padronização, facilita a extensibilidade do código e assegura a independência entre módulos, aumentando a modularidade e a facilidade de manutenção e atualização do sistema.

Desse modo, optou-se pelo uso de interfaces para permitir a modularização entre diferentes tipos de placas controladoras, de modo que, mantendo-se a assinatura dos métodos definidos na interface, novas implementações possam ser integradas ao sistema sem a necessidade de alterações no código principal, assegurando flexibilidade e escalabilidade, fundamentais em cenários que podem ser alterados.

Para a construção do objeto, é necessário passar uma lista que, caso utilizada, especifica os pinos a serem configurados como entradas. Esses pinos são automaticamente inicializados pela classe, otimizando o processo de configuração e facilitando eventuais procedimentos de depuração durante o desenvolvimento e a validação do sistema, permitindo assim o acesso simplificado aos comandos de controle dos *GPIOs* da

placa.

A Figura 5 representa o diagrama *Unified Modeling Language (UML)* [15] das classes de *GPIO*.

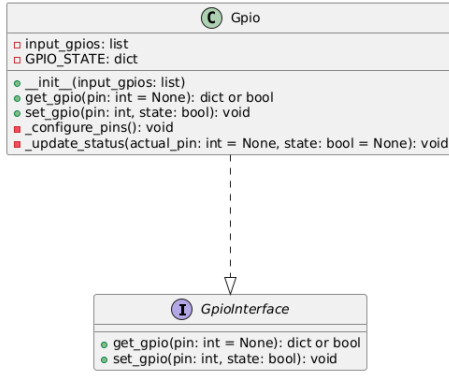


Fig. 5: Diagrama *UML* da orientação a objeto utilizada para as *GPIOs*

Adicionalmente, desenvolveu-se uma classe específica para definir o objeto *Mqtt*, que desempenha um papel fundamental na comunicação de todo o projeto. A classe foi adaptada para seguir a mesma arquitetura baseada em interfaces, permitindo sua substituição ou extensão com outras formas de comunicação, como SSH ou TCP/IP, sem impactar o restante do sistema, visando garantir maior modularidade e flexibilidade. A fim de compatibilizar a nova estrutura, foi implementado um adaptador específico, o qual integra o *Mqtt* à interface de comunicação de forma padronizada, aumentando assim a robustez e a adaptabilidade do projeto, tornando-o preparado para possíveis evoluções.

No construtor dessa classe, foram definidas três variáveis principais: o domínio para conexão, denominado *THINGSBOARD_HOST*, o *token* de acesso, chamado *ACCESS_TOKEN*, e um dicionário apelidado de *requests*. O *token* de acesso adiciona uma camada essencial de segurança, protegendo o sistema contra acessos não autorizados durante a troca de dados entre o circuito legado e a interface desenvolvida.

Por sua vez, o dicionário *requests* desempenha um papel fundamental na camada de abstração superior. Ele permite que o sistema especifique as variáveis requisitadas e o método de atuação correspondente à requisição. Quando uma solicitação é recebida, a classe utiliza esse dicionário para realizar o direcionamento da requisição e a enviando ao método apropriado para a manipulação do dado. Essa abordagem modular e organizada torna o sistema mais versátil e escalável, facilitando a integração e o tratamento eficiente das comunicações entre as diferentes camadas do projeto.

O diagrama *UML*, representado pela Figura 6 exemplifica como foi desenvolvida a arquitetura da comunicação.

Com o objetivo de integrar o controle de sinais digitais aos mecanismos de comunicação externos, foi de-

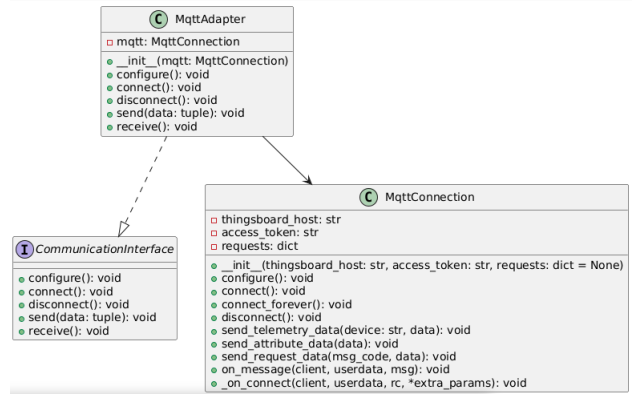


Fig. 6: Diagrama *UML* da orientação a objeto utilizada para a comunicação

envolvida a classe *GpioCommunicationBridge*. Esta classe atua como uma ponte entre a interface de comunicação e a interface de controle de *GPIOs*, proporcionando uma abstração de alto nível que permite monitorar e enviar dados de eventos de pinos de forma desacoplada.

A arquitetura foi construída com base no uso de interfaces, assegurando que tanto o sistema de comunicação quanto o de controle de *GPIO* possam ser substituídos ou adaptados sem impacto na lógica principal da aplicação, desde que respeitem as assinaturas estabelecidas. A classe *GpioCommunicationBridge* recebe, em sua construção, instâncias que implementam as interfaces de comunicação e de *GPIO*, respectivamente, o que permite a fácil integração de diferentes protocolos e plataformas de *hardware*.

Durante a execução, a classe realiza a detecção de alterações no estado dos pinos configurados e publica os eventos detectados através da camada de comunicação disponível. Dessa forma, ela proporciona uma separação clara de responsabilidades entre captura de eventos físicos e transmissão de dados.

A Figura 7 representa um diagram *UML* de como os códigos se integram.

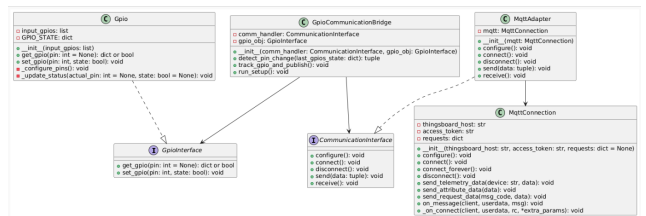


Fig. 7: Diagrama *UML* da orientação a objeto utilizada para a integração das classes

IV.3 Interface frontend

A interface *frontend* do projeto utiliza as ferramentas integradas já oferecidas pela plataforma *ThingsBoard*, aproveitando sua capacidade de abstrair elementos como animações de *widgets* e a inte-

ração entre o usuário e a *Raspberry Pi*. O primeiro passo no desenvolvimento da interface foi analisar as funcionalidades necessárias para cobrir toda a operação do sistema.

Nesse contexto, considerou-se a utilização de dois elementos principais: uma chave e um *LED* virtual. O primeiro funciona como uma botoeira industrial, permitindo ao usuário iniciar o processo. Sua comunicação é realizada por dois métodos de requisição. Enquanto um método verifica a posição do pino para determinar se a chave deve ser exibida como ligada ou desligada, ou seja, esse controle facilita o acompanhamento e a interação do operador com o sistema em tempo real. Já o outro método tem como responsabilidade informar à placa qual o pino alterado e para qual nível lógico ele deve ser alterado.

O segundo elemento, o *LED* virtual, tem como objetivo indicar ao usuário se o sensor está sendo acionado no sistema legado. Com isso, a representação gráfica proporciona um *feedback* visual tornando o sistema mais intuitivo.

A Figura 8 representa o diagrama de funcionamento da interface *frontend* do sistema.

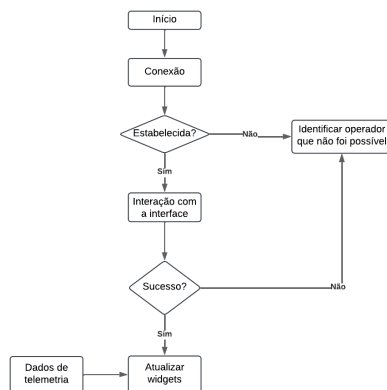


Fig. 8: Fluxograma da interface *frontend*

IV.4 Integração *frontend/backend*

Para descrever o desenvolvimento da integração das interfaces do sistema, é necessário compreender como a comunicação do projeto é estruturada. O *ThingsBoard* utiliza um conceito central chamado tópicos, que possibilitam a troca de informações e comandos entre o dispositivo e a plataforma. Esses tópicos desempenham papéis específicos na comunicação e são categorizados da seguinte forma:

- **Tópico de telemetria:** Responsável pelo envio contínuo de dados provenientes de sensores conectados ao dispositivo. Ele permite monitorar em tempo real as condições do sistema, transferindo informações como temperatura, corrente ou status do equipamento.

- **Tópico de requisição:** Utilizado para realizar os *Remote Procedure Calls (RPC)*. Nesse processo, a plataforma envia um comando ao dispositivo com o objetivo de realizar uma ação específica. O dispositivo, por sua vez, executa o comando e aguarda para responder.
- **Tópico de resposta (*response*):** Um complemento do tópico de requisição, que lida com as respostas às chamadas *RPC* realizadas. Ele assegura a comunicação bidirecional, permitindo a plataforma confirmar se o dispositivo executou a ação requisitada corretamente.
- **Tópico de atributos:** Responsável por atualizar a interface gráfica com informações relevantes sobre o sistema. Ele permite personalizar e dinamizar a interface, refletindo as mudanças nos estados do sistema em tempo real para o usuário.

Esses tópicos trabalham de forma integrada possibilitando uma comunicação robusta e confiável entre o dispositivo e a plataforma. Portanto, isso garante a sincronização das ações e informações do sistema.

No contexto do projeto desenvolvido, os dados coletados pelo sensor são enviados para a plataforma *ThingsBoard* utilizando o tópico de telemetria de forma síncrona, ou seja, com um fluxo contínuo e regular. Por outro lado, os tópicos restantes (como requisições e respostas) operam de maneira assíncrona, sendo disparados conforme necessário, geralmente por ações realizadas pelo operador, como iniciar ou finalizar um processo industrial.

Entretanto, essa arquitetura apresenta uma vulnerabilidade: o envio descontrolado de dados para a rede pode causar um transbordamento de informações, sobrecarregando a conexão. Esse problema pode levar à instabilidade na comunicação e, eventualmente, à perda de dados, comprometendo o desempenho do sistema.

Para superar essa limitação e garantir maior robustez, foi implementada uma lógica que otimiza a comunicação. Essa lógica estabelece que os dados só são enviados para a plataforma quando ocorre uma mudança significativa nos valores monitorados e enviando somente aquilo que sofreu alteração. Esse mecanismo evita o envio redundante de informações, reduzindo o tráfego na rede e, consequentemente, assegurando uma conexão mais estável e confiável. Essa abordagem não apenas protege o sistema contra possíveis falhas, mas também melhora sua eficiência ao minimizar o consumo de recursos da rede.

A Figura 9 apresenta um fluxograma que ilustra de maneira clara e objetiva os principais pontos abordados neste tópico, proporcionando uma visão mais ilustrativa do funcionamento do sistema e das etapas discutidas.

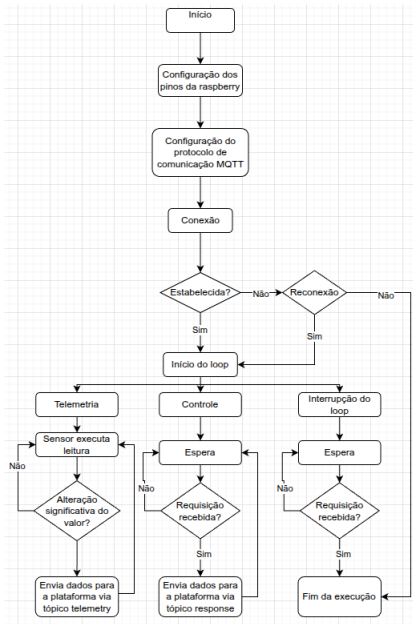


Fig. 9: Fluxograma da interface *frontend* e *backend*

V CONFIGURAÇÃO DO *ThingsBoard*

Essa seção funcionará como um guia para a criação de um *dashboard* na plataforma *ThingsBoard*, adicionando elementos de monitoramento e de acionamento que serão integrados ao *framework*.

V.1 Monitoramento

O sistema de monitoramento se refere aos dados enviados de forma contínua, conforme já mencionado na seção IV.4. Esses dados estão associados a variáveis específicas, cujo valor é transmitido pela rede para visualização pelo operador, garantindo o monitoramento em tempo real.

Na interface gráfica do *ThingsBoard*, o primeiro passo é adicionar um *widget* que mostre visualmente o valor desejado. Para esta demonstração, utilizaremos um *LED* virtual, que pode ser encontrado no caminho *Widgets > Control Widgets > Led Indicator*.

Após adicionar o *widget*, é necessário o vincular ao dispositivo transmissor dos dados. Neste caso, a *RaspberryPi4* é responsável pelo envio das informações de telemetria. A Figura 10 demonstra essa operação.

Com o dispositivo de telemetria já selecionado, procede-se à configuração do modo de recebimento dos dados. Para este caso, foi escolhida a opção capaz de verificar o status de telemetria em intervalos de tempo, permitindo a atualização contínua da interface gráfica. Essa configuração pode ser encontrada na aba de "Aparência do *widget*".

Em seguida, define-se o nome da variável que armazenará o valor de telemetria. Para a integração com o *framework* desenvolvido, este deve ser relacionado ao

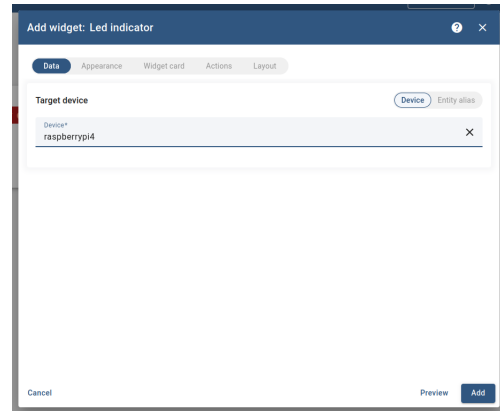


Fig. 10: Configurando o *device* de telemetria

número do pino configurado como entrada. Esse também será utilizado para vincular os dados recebidos ao *widget* configurado. Por fim, a operação completa pode ser visualizada na Figura 11.

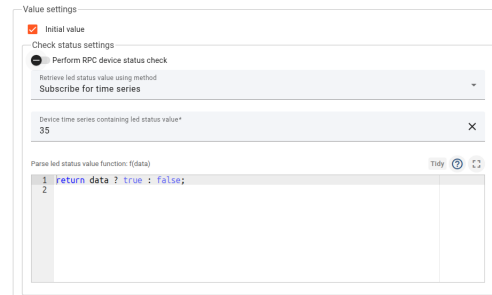


Fig. 11: Configurando a variável de telemetria

Com essas configurações concluídas, é possível visualizar as alterações no valor do *LED* diretamente no sistema, refletindo as mudanças enviadas pelo dispositivo em tempo real. A Figura 12 ilustra os dois estados do *LED*.

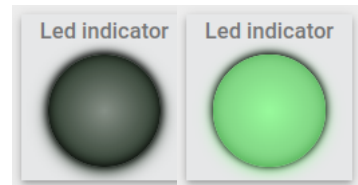


Fig. 12: Exemplo do funcionamento do visualizador de *LED*

V.2 Acionamento

Conforme mencionado na Seção III.1, para controlar o sistema foi utilizada uma chave virtual, responsável por ativar e desativar o sistema. O primeiro passo é adicionar essa chave à área de trabalho. No projeto, a chave utilizada pode ser encontrada no caminho *Widgets > Control Widgets > Basic GPIO Control*.

Após adicionar o elemento, é necessário vinculá-lo ao dispositivo que está enviando e recebendo os dados, que neste caso é a *Raspberry Pi*.

Por ser um *widget* projetado para aplicações com *Raspberry Pi*, ele oferece alta compatibilidade com o sistema, reduzindo a necessidade de configurações adicionais. Além disso, é possível personalizar os nomes dos métodos de requisição, o que pode ser útil em aplicações mais específicas. Para ajustar essa configuração, basta acessar a aba "Aparência do *widget*" e localizar os campos correspondentes às requisições *get* e *set* do dispositivo. A Figura 13 ilustra essa configuração.

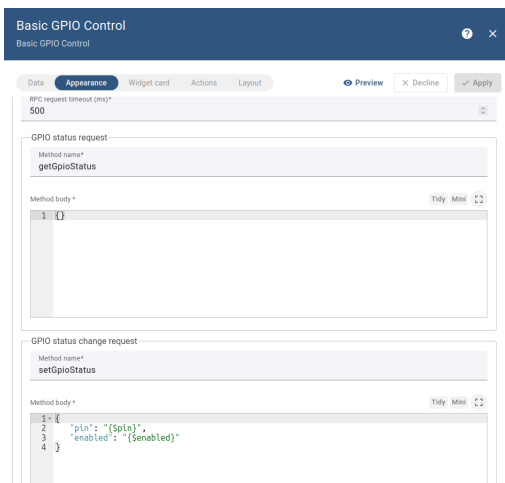


Fig. 13: Configuração dos métodos da chave

Com essas configurações realizadas, é possível controlar remotamente as *GPIOs* da *Raspberry Pi* e, consequentemente, operar o sistema legado. As Figuras 14 e 15 ilustram o funcionamento desse *widget*.

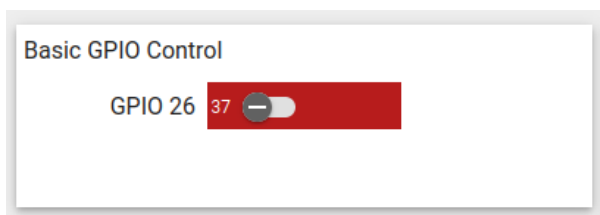


Fig. 14: Demonstração da *GPIO* de controle desligada

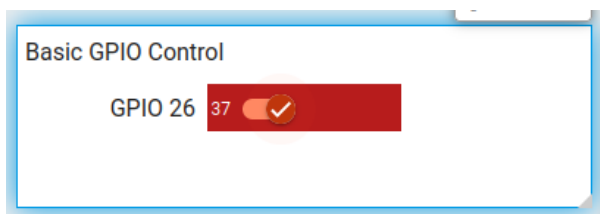


Fig. 15: Demonstração da *GPIO* de controle ligada

VI CONFIGURAÇÃO DO *framework*

Essa seção funcionará como um guia para a utilização e integração do *framework* desenvolvido, destacando sua praticidade e acessibilidade. De modo a facilitar futuras modificações e personalizações, a arquitetura do sistema foi projetada para separar trechos específicos do código onde o usuário pode intervir, realizando adaptações de acordo com as necessidades da aplicação.

O *framework* foi inspirado em ferramentas populares de desenvolvimento embarcado, como o *ArduinoIDE* [16] ou o *STM32CubeIDE* [17], que delimitam regiões do código destinadas à inserção de comandos personalizados, o sistema implementado apresenta áreas claramente marcadas para alterações seguras.

VI.1 Placa de controle

Primeiramente, dada a configuração da *Raspberry Pi*, é necessário adicionar os pinos que serão utilizados como entrada pelo sistema. Esses valores devem ser fornecidos por meio de uma lista de números inteiros, os quais mapeiam os pinos de entrada. Para alterar essa configuração, basta modificar o valor da variável "*INPUT_PINS*" para os pinos desejados.

Ao fornecer esses à classe, ela automaticamente realiza a configuração necessária para o correto funcionamento do programa. A Figura 16 demonstra essa configuração.

```

1
2
3
4
5 # Setup GPIO configuration begin
6 INPUT_PINS = [35] Not Committed Yet
7 rasp = Gpio(INPUT_PINS)
8
9 # Setup GPIO configuration end
10

```

Fig. 16: Trecho de código da configuração dos *GPIOs*

VI.2 Conexão com *ThingsBoard*

Para configurar o servidor, basta alterar as variáveis "*THINGSBOARD_HOST*" e "*ACCESS_TOKEN*". A plataforma utilizada para a validação deste projeto foi a "*demo.thingsboard.io*", contudo essa configuração não se limita a essa plataforma. Neste caso, o *token* de acesso é obtido a partir do dispositivo configurado na plataforma *ThingsBoard*.

Com o objetivo de melhorar a legibilidade do código, o tratamento dos requerimentos fica sob responsabilidade do operador, que deve configurar adequadamente. Para isso, é necessário ajustar o dicionário "*requests*". Por sua vez, este dicionário mapeia a variável de requerimento recebida do servidor para o método que será utilizado. O trecho de código que ilustra essa configuração pode ser visto na Figura 17.

```

1 # Setup communication configuration begin
2 THINGSBOARD_HOST = "demo.thingsboard.io"
3 ACCESS_TOKEN = "BrxR1srK8KjnPu2LBXJq"
4
5
6
7 def set_gpio_status(data, *args): # "args" is not accessed
8     print("Setting GPIO status . . .")
9     rasp_set_gpio(data["params"]["pin"], data["params"]["enabled"])
10    return rasp_get_gpio()
11
12
13 def get_gpio_status(*args): # "args" is not accessed
14    return rasp_get_gpio()
15
16
17 requests = {"set_gpio_status": set_gpio_status, "get_gpio_status": get_gpio_status}
18 mqtt = MqttAdapter(MqttConnection(THINGSBOARD_HOST, ACCESS_TOKEN, requests))
19 # Setup communication configuration end

```

Fig. 17: Trecho de código da configuração da comunicação

No trecho de código, demonstrado pela Figura 17, cria-se os métodos "*set_gpio_status*" e "*get_gpio_status*", que são essenciais para o funcionamento do sistema legado idealizado. Esses métodos são associados a uma chave do dicionário "*requests*". É importante ressaltar que a chave do dicionário deve ter o mesmo nome da variável configurada dentro do *widget*. Caso contrário, os dados serão perdidos durante a comunicação, comprometendo o funcionamento correto do sistema.

VI.3 Aplicação

Na simulação proposta (o monitoramento e controle de uma bomba hidráulica), essas regiões foram previamente preenchidas com exemplos de uso funcional, servindo tanto para validação do sistema quanto para guiar o desenvolvimento de aplicações futuras. Essa abordagem modular proporciona maior agilidade no ajuste do sistema para novas tarefas, reduzindo o esforço de reescrita e mantendo a estrutura principal de monitoramento e comunicação consistente e robusta. A Figura 18 mostra o trecho de código em questão.

```

1 from interface_gpio_interface import GpioInterface
2 from interfaces_communication_interface import CommunicationInterface
3
4 class GpioCommunicationBridge:
5     """Handles communication between MQTT topics and GPIO control."""
6
7     def __init__(self, com_handler: CommunicationInterface, gpio_obj: GpioInterface) -> None:
8         """
9         Initializes the controller with MQTT and GPIO handler instances.
10         Args:
11             com_handler (CommunicationInterface): An instance responsible for communication.
12             gpio_obj (Gpio): An instance responsible for GPIO control.
13         """
14         self.com_handler = com_handler
15         self.gpio_obj = gpio_obj
16
17     # Setup initialization begin
18     self.last_gpio_state = self.gpio_obj.get_gpio()
19     # Setup initialization end
20
21     # Setup methods begin
22     def detect_pin_change(self):
23         """
24         Compares the current GPIO states with the last known states and detects any changes.
25         Returns:
26             tuple:
27                 - dict: A dictionary with only the pins that changed and their new values.
28                 - dict: The current full GPIO state dictionary.
29         """
30         diff = {}
31         current_gpio_state = self.gpio_obj.get_gpio()
32
33         if current_gpio_state != self.last_gpio_state:
34             for gpio_state in list(current_gpio_state.items()): # Cannot access attribute "key"
35                 if current_gpio_state[gpio_state] != self.last_gpio_state[gpio_state]: # No
36                     diff[gpio_state] = current_gpio_state[gpio_state] # Object of type "None"
37             return diff, current_gpio_state # Cannot access attribute "copy" for class "No
38
39     def track_gpio_and_publish(self):
40         """
41         Continuously monitors GPIO pins and publishes any detected changes to the MQTT broker.
42         """
43         diff, self.last_gpio_state = self.detect_pin_change()
44         if diff != {}:
45             for gpio in list(diff.keys()):
46                 print("Sending data: ", self.com_handler.send(str(gpio), diff[gpio]))
47             diff = {}
48
49     # Setup methods end
50
51     def run_setup(self):
52         """
53         Initializes the MQTT connection and starts the GPIO monitoring loop.
54         """
55         self.com_handler.configure()
56         self.com_handler.connect()
57
58         try:
59             while True:
60                 # Setup logic begin
61                 self.track_gpio_and_publish()
62                 # Setup logic end
63             except KeyboardInterrupt:
64                 self.com_handler.disconnect()

```

Fig. 18: Trecho de código com delimitação de áreas destinadas à personalização do usuário.

VII RESULTADOS

Os testes realizados com o sistema de controle integrado ao ambiente legado demonstraram resultados satisfatórios quanto a estabilidade e desempenho da solução proposta. Durante as simulações, foi observado que o atraso na comunicação entre o dispositivo de legado e a interface gráfica foi praticamente imperceptível, mesmo com o uso de conexão via rede sem fio, evidenciando a viabilidade do uso do protocolo *Mqtt* em aplicações que demandam resposta em tempo quase real.

Outro aspecto relevante foi a ausência de falhas ou quedas de conexão durante todo o período de testes, o que indica que a arquitetura implementada não sofre com eventuais instabilidades da rede internet. Essa estabilidade é essencial para aplicações de difícil acesso no meio físico ou de risco, onde, caso haja perda de conectividade pode comprometer a segurança ou a eficiência do processo monitorado.

Além disso, a *Raspberry Pi 4*, apresentou comportamento estável, sem demonstrar travamentos ou lentidão durante a execução do sistema. Isso sugere que o projeto possui baixo consumo de processamento e de memória RAM, sendo compatível com sistemas embarcados de capacidade limitada, o que amplia suas possibilidades de aplicação.

Podemos concluir que, esses resultados validam a proposta como uma solução eficaz para a modernização de sistemas legados, mantendo a confiabilidade e a segurança operacional.

VIII CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste projeto demonstrou a viabilidade da integração entre sistemas legados e tecnologias modernas de comunicação baseadas em *IoT*, utilizando arquiteturas modulares, escaláveis e de fácil manutenção. A implementação de interfaces para abstração do controle de *GPIOs* e das camadas de comunicação, aliadas à aplicação de padrões de projeto como *Adapter*, permitiu criar um sistema altamente adaptável, preparado para suportar diferentes plataformas de hardware e protocolos de comunicação.

A utilização de dispositivos como o optoacoplador 4N25 e o relé para isolamento elétrico garantiu a segurança e a integridade dos componentes modernos frente aos sistemas legado, preservando a confiabilidade do ambiente de operação. A integração com a plataforma *ThingsBoard* permitiu validar a comunicação remota de forma intuitiva e eficiente, evidenciando o potencial de ampliação e aplicabilidade da solução em ambientes industriais, laboratoriais e privados reais.

Além disso, a estratégia de otimização no envio de dados, transmitindo apenas alterações relevantes, contribuiu para a eficiência da rede e para a robustez da comunicação, características essenciais em aplicações de monitoramento contínuo.

Com a estrutura proposta, o sistema mostrou-se versátil, capaz de se adaptar a diferentes contextos de aplicação sem a necessidade de reescrita significativa de código. A modularidade obtida representa um avanço significativo no desenvolvimento de soluções de modernização de plantas legadas, proporcionando uma alternativa de baixo custo, alta eficiência e grande potencial de expansão.

Por fim, o projeto contribui para o fortalecimento do uso de tecnologias de *IoT* na automação residencial, aproximando-os das novas demandas de automação, controle e monitoramento remoto, alinhando-se às tendências de transformação digital no setor.

IX AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família e minha namorada Brenda, pelo apoio incondicional, incentivo e compreensão ao longo de toda a minha trajetória acadêmica. Sem a base sólida que me proporcionaram, esta conquista não seria possível.

Aos meus amigos, especialmente ao Edmundo, que caminharam comigo durante a jornada da faculdade, oferecendo apoio, companheirismo e palavras de incentivo nos momentos de dificuldade e celebração nas vitórias.

Ao professor Dr. Rodrigo Maximiano, meu orientador, pela orientação, apoio e contribuições essenciais para a realização deste trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste projeto, deixo aqui meu mais sincero agradecimento.

REFERÊNCIAS

- [1] Mordor Intelligence. Tamanho do mercado de *iot* do consumidor e análise de participação – tendências e previsões de crescimento (2024 – 2029). Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/consumer-iot-market>, 2023. Acesso em: 13 maio 2025.
- [2] Kaivan Karimi and Gary Atkinson. What the internet of things (*iot*) needs to become a reality. Disponível em: <https://files.iccmedia.com/pdf/freescale140527.pdf>, 2013. Acesso em: 6 maio 2025.
- [3] Sean McManus and Mike Cook. *Raspberry Pi for Dummies 3rd Edition*. John Wiley Sons Inc.
- [4] ThingsBoard. Things board open source *iot* plataforma. Disponível em: <https://thingsboard.io/>.
- [5] Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR). Piscicultura: fundamentos da produção de peixes. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/195-PISCICULTURA.pdf>, 2017. Acesso em: 13 maio 2025.
- [6] Blog da Robótica. Como utilizar o sensor de obstáculo reflexivo infravermelho ir com arduino. Disponível em: <https://www.blogdarobotica.com/2023/04/18/como-utilizar-o-sensor-de-obstaculo-reflexivo-infravermelho-ir-com-arduino/>.
- [7] Tecnoblog. O que é um led? entenda como funciona essa tecnologia de iluminação. Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/o-que-e-led/>.
- [8] Espressif. Esp8266 technical reference. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266-technical_reference_en.pdf.
- [9] WEG). Guia de especificação motores elétricos. 2024. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-broch.pdf>. Acesso em: 6 maio 2025.
- [10] Raspberry. Raspberry pi 4 tech specs. Disponível em: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>.
- [11] Inc Motorola. 4n25 datasheet (pdf) - motorola, inc. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/2846/MOTOROLA/4N25.html>.
- [12] Mqtt. Mqtt: The standard for *iot* messaging. Disponível em: <https://mqtt.org/>.
- [13] KiCad EDA. Kicad eda a cross platform and open source electronics design automation suite. Disponível em: <https://www.kicad.org/>.
- [14] Bert Bates Eric Freeman, Elisabeth Robson and Kathy Sierra. *Head First Design Patterns*. O'Reilly Media, Inc.
- [15] IBM. Modelos e diagramas *uml*. Disponível em: <https://www.ibm.com/docs/pt-br/rsas/7.5.0?topic=models-uml-diagrams>.
- [16] Arduino. Arduino ide. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/software/>.
- [17] St. Integrated development environment for stm32. Disponível em: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>.