

**INSTITUTO
FEDERAL**

Paraíba

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba Campus
Campina Grande**

Curso de Bacharelado em Engenharia da Computação

Trabalho de Conclusão de Curso

Ayrton Dantas de Medeiros

**CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO PARA AUTOMATIZAR EMPRÉSTIMO E
DEVOLUÇÃO DE LIVROS DE BIBLIOTECA**

Campina Grande – PB

2023

Ayrton Dantas de Medeiros

**CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO PARA AUTOMATIZAR EMPRÉSTIMO E
DEVOLUÇÃO DE LIVROS DE BIBLIOTECA**

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial para obtenção de título de bacharel em Engenharia da Computação pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba Campus Camina Grande

Orientador: Prof. Dr. Fagner de Araujo Pereira

Campina Grande – PB

2023

M488c Medeiros, Ayrton Dantas de.

Construção de protótipo para automatizar empréstimo e devolução de livros de biblioteca / Ayrton Dantas de Medeiros. Campina Grande, 2023.

47 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Bacharelado em Engenharia de Computação) - Instituto Federal da Paraíba, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Fagner de Araújo Pereira.

1. Automação de bibliotecas 2. Internet das coisas 3. Microcontrolador I. Pereira, Fagner de Araújo II. Título.

CDU 004

RESUMO

O presente trabalho tem como tema o desenvolvimento do protótipo de um dispositivo que automatize o processo de empréstimo e devolução de livros de biblioteca. Os objetivos são diminuir o tempo desse processo, evitando filas, e diminuir custos com mão de obra, aquisição de novos pontos de empréstimo/devolução e de custo energético. Primeiramente foi feita uma análise dos requisitos para o dispositivo, assim decidindo utilizar a tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID), permitindo a identificação de itens de forma única, sendo eles os livros e a identificação do usuário, além de ter componentes eletrônicos que ofereçam feedbacks sonoros e visuais. Com isso foi desenvolvido o dispositivo utilizando um microcontrolador ESP-32, dois módulos RFID, um display LCD, LEDs e um Buzzer. Para testar o dispositivo foi criado um sistema WEB para direcionar o funcionamento do dispositivo e poder testá-lo. Após o desenvolvimento foi avaliado um possível preço de venda do produto, gasto energético e tempo de empréstimo/devolução, comparando com a biblioteca Poeta Zé da Luz do campus do IFPB de Campina Grande. Com as avaliações obtidas foi possível concluir que o protótipo possui um possível preço abaixo dos R\$200 reais, sendo mais barato que computadores convencionais, o seu gasto energético mensal, funcionando 24 horas por dia é de apenas R\$1 real, e que o tempo de empréstimo/devolução foi diminuído.

Palavras-chave: Automação; tag; Internet das Coisas; Microcontrolador; RFID; LCD; Biblioteca; Protótipo; Dispositivo Microcontrolado; MQTT, ESP-32.

ABSTRACT

The present work has its theme the development of a prototype of a device that automates the process of loaning and returning library books. The objectives are to reduce the time of this process, avoiding queues, and reduce labor costs, acquisition of new points of loan/return and energy costs. Firstly, an analysis was carried out of the requirements for the device, thus deciding to use the technology of Radio Frequency Identification (RFID), allowing the identification of items uniquely, being these books and user identification, in addition to having electronic components that offer audible and visual feedback. With that it was developed the device using an ESP-32 microcontroller, two modules RFID, an LCD display, LEDs and a Buzzer. To test the device, a WEB system was developed to direct the execution of the device and be able to test it. After development, a possible sales price of the product was evaluated, spent energy and loan/return time, compared to the Poeta Zé da Luz library on the IFPB campus Campina Grande. With the evaluations obtained, it was possible to conclude that the prototype has a possible price below R\$200 reais, being cheaper than conventional computers, its monthly energy expenditure, operating 24 hours a day is only R\$1 real, and the loan/return operating time has been decreased.

Keywords: Automation; tag; Internet of Things; Microcontroller; RFID; LCD; Library; Prototype; Microcontrolled Device; MQTT; ESP-32.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Dispositivos Conectados a Internet	15
Figura 2 - Arquitetura de tag RFID	17
Figura 3 - Tipos de tags RFID	18
Figura 4 - Comunicação por MQTT	20
Figura 5 - Placa de Desenvolvimento ESP32 DevKit V1	27
Figura 6 - Módulo RFID RC522	28
Figura 7 - Display LCD 16x2 com Módulo I2C	28
Figura 8 - LEDs, Resistores e Buzzer	29
Figura 9 - Mensagem de Tentativa de Conexão com Broker MQTT	30
Figura 10 - Mensagem Indicando para Aproximar Identificação	30
Figura 11 - Mensagem de Encerramento do Processo	31
Figura 12 - Mensagem Indicando para Aproximar Livro	31
Figura 13 - Mensagem de Status do Livro (Emprestado)	33
Figura 14 - Mensagem de Sucesso na Autenticação de Usuário	34
Figura 15 - Mensagem de Erro	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos Funcionais e não Funcionais	24
Tabela 2 - Tópicos MQTT	31
Tabela 3 - Códigos das Respostas MQTT e suas Mensagens	33
Tabela 4 - Preço dos Componentes Eletrônicos por Loja	39
Tabela 5 - Preços Totalizados do Componentes Eletrônicos	39
Tabela 6 - Corrente Elétrica Medida	40
Tabela 7 - Tempo de Empréstimo de Livros	41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1. Justificativa	11
1.2. Objetivos	12
1.2.1. Objetivo Geral	12
1.2.2. Objetivos Específicos	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1. Automação de Biblioteca	13
2.2. Internet das Coisas.....	13
2.3. Inter-Integrated Circuit (I2C) e Serial Peripheral Interface (SPI)	15
2.4. Wireless Fidelity (WI-FI)	16
2.5. Radio Frequency Identification (RFID).....	16
2.6. Transporte de Enfileiramento de Mensagens de Telemetria (MQTT).....	19
2.7. Trabalhos Semelhantes	21
2.8. Proposta	21
3. METODOLOGIA.....	23
3.1. Levantamento de Requisitos	23
3.2. Tecnologias	24
3.3. Arquitetura.....	25
3.4. Componentes	26
3.4.1. Microcontrolador ESP32	26
3.4.2. Módulo RFID - RC522.....	27
3.4.3. Display LCD	28
3.4.4. Outros Componentes	29
3.5. Funcionamento.....	29
3.6. Teste e Validação	35
4. RESULTADOS	38

4.1. Valor do Produto.....	38
4.2. Gasto Energético.....	40
4.3. Eficiência.....	41
5. CONCLUSÃO.....	43
6. TRABALHOS FUTUROS.....	45
REFERÊNCIAS.....	46
APÊNDICE A – Arquitetura do Sistema.....	48

1. INTRODUÇÃO

A internet que conhecemos, tão popular no primeiro quarto do século XXI, é uma tecnologia relativamente nova, criada no final da década de 1960 para conectar computadores de universidades, e foi difundida à população em meados dos anos 1990. Mesmo sua popularidade tendo início há pouco mais de 30 anos, a quantidade de novos usuários com acesso à internet tem aumentado exponencialmente, ultrapassando bilhões (INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, 2005).

O diferencial dessa rede de computadores é a capacidade de fazer com que vários computadores de marcas e modelos diferentes consigam se comunicar, acessar informações, enviar emails, entre outros. Para isso, utiliza um conjunto de tecnologias e protocolos de comunicação que são padrões entre as máquinas (RYAN, 2010).

Embora o uso da internet tenha sido dominado majoritariamente por máquinas utilizadas por humanos e com propósito geral, é possível criar dispositivos menores de propósito mais específico e barato, de baixa latência, e apenas necessita do poder de computação para executar um conjunto de tarefas definidas a ele, além de possuir conexão com a internet. Esta rede de dispositivos conectados a uma rede é denominada de Internet das Coisas (ORACLE, 2023).

Por sua aplicação em ambientes que necessitem pouca ou nenhuma interferência humana, dispositivos IoT são excelentes para automação de processos que antes dependiam completamente de manipulação humana, como no caso do processo de empréstimo e devolução de livros de uma biblioteca, em que, comumente, depende de um funcionário a que se é entregue os livros para realizar esse procedimento, e que por questões de segurança exige ao usuário informar suas credenciais, o que pode levar algum tempo, atrasando o procedimento, o que pode resultar em fila de espera quando há a necessidade de realizar vários empréstimos/devoluções.

Com a tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID, Radio Frequency Identification), um pequeno chip que pode se comunicar sem fio e armazenar dados, é possível ter um número de identificação nos livros da biblioteca, o identificando unicamente. Com isso é possível ter dispositivos que leiam essa identificação de livro,

e com algum tipo de identificação de usuário (leitura de retina, digital, cartão de identificação RFID, login) e comunicação com a internet para validar as informações, seria possível automatizar o processo de empréstimo e devolução de livros de uma biblioteca.

Além disso, outros dispositivos IoT podem ser utilizados na biblioteca para automatizar processos. Leitores RFID de longa distância podem ser utilizados em sistemas para mapear o acervo da biblioteca, e verificar se há itens faltando; Câmeras apontadas no dispositivo de empréstimo/devolução podem tirar fotos no momento de empréstimo/devolução para garantir a autenticidade das pessoas; Alarmes antifurto podem ser posicionados na saída para impedir que livros não emprestados saiam do local; Mensagens podem ser enviadas para celulares informando que alguma ação foi realizada, e assim por diante. Tudo isso é possível devido a conexão desses dispositivos através da rede, possibilitando que eles solicitem ações de outros dispositivos e acessem os dados gerados ou manipulados pelos outros.

A automação da biblioteca pode proporcionar uma realocação dos funcionários do ambiente, permitindo o foco em trabalhos mais administrativos e que necessitem relações humanas. Também, com o aumento da infraestrutura da biblioteca, não serão necessários tantos funcionários para gerenciar o local, pois a automação e conexão com a internet irá facilitar alguns trabalhos ou irá retirar a necessidade de novas pessoas para gerir o aumento da infraestrutura, como no caso da automação de empréstimo e devolução de livros, em que a compra de mais dispositivos já resolveria o problema de aumento de pessoas querendo realizar empréstimos e devoluções.

1.1. Justificativa

Diante dos benefícios supracitados sobre a automação do processo de empréstimo e devolução de uma biblioteca, esse trabalho descreve o desenvolvimento de um dispositivo IoT que leia livros e cartões RFID (utilizado como identificação), e com isso possibilite realizar o empréstimo e devolução de livros de uma biblioteca. Com isso acelerando esse processo, permitindo o realocamento de

mão de obra da biblioteca, e reduzindo custos de energia e de novos funcionários que teriam a função de realizar esse processo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo de um dispositivo microcontrolado que se comunique com a internet e que possibilita automatizar o processo de empréstimo e devolução de livros de uma biblioteca pelo próprio usuário final, utilizando a tecnologia de RFID para identificar um usuário e os livros da biblioteca. Também tem como objetivo analisar a eficiência do dispositivo em relação ao tempo gasto de empréstimo/devolução, a conformidade com os benefícios da utilização de IoT, o comparando ao atual processo de empréstimo/devolução de livros da biblioteca Poeta Zé da Luz do campus do IFPB de Campina Grande.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Levantar requisitos funcionais e não funcionais para o desenvolvimento de um protótipo de empréstimo e devolução de livros de biblioteca.
- Analisar o custo para fabricação do protótipo
- Mensurar tempo para realizar empréstimo/devolução
- Mensurar gasto energético do protótipo

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Automação de Biblioteca

De acordo com o dicionário online Michaelis (2023), automatização significa “sistema mecânico ou eletrônico destinado a operacionalização e controle de processos de produção que dispensa a intervenção direta do homem”. Segundo Das e Chatterjee (2015), a automação de biblioteca define-se como a aplicação de máquinas semi ou completamente automáticas para realizar atividades na biblioteca, como o empréstimo ou devolução de livros pelos usuários.

Com esse significado, pode-se assumir que uma biblioteca automatizada deve possuir a capacidade de operar sem a necessidade de uma intervenção humana, permitindo rapidez e agilidade na execução de suas atividades; Como dito por Marques e Prudêncio (2009), “nas bibliotecas, a automação surge para facilitar, uniformizar e reduzir o tempo de trabalho, atender melhor às necessidades de seus usuários”.

2.2. Internet das Coisas

Internet das coisas (IoT, *Internet of Things*) é um termo que se refere a uma nova tendência na indústria tecnológica que tem como principal objetivo conectar itens do dia a dia na internet. De acordo com Ashton (2009), o termo *Internet of Things* surgiu como um título de uma apresentação feita por ele mesmo em 1999. Essa afirmação também é reforçada por Madakam, Ramaswamy e Tripathi (2015), U.Farooq *et al.* (2015) e Hwang, Kim e Rho (2016), sendo que o último não menciona o nome de Kevin Ashton, mas sim a Auto-ID Labs, empresa em que ele é co-fundador.

Para Madakam, Ramaswamy e Tripathi (2015), não há uma definição aceita pela comunidade do que significa IoT, mas o que todas elas têm em comum é a ideia de tráfego na internet de dados gerados por coisas, e não mais por apenas humanos, assim concluindo que seria uma rede de objetos inteligentes com capacidade de se auto-organizar, compartilhar informações e tomar decisões com base em dados a que

ele tem acesso. Já para Khan et al. (2012), IoT se baseia na ideia da troca de informações entre dispositivos com aplicações de forma segura e autônoma. Similarmente, Shen e Liu (2011) também dizem que infraestruturas de IoT devem prover informações sobre dispositivos de forma segura e confiável, pois seu objetivo primário é facilitar a troca de informações entre bens em cadeia de redes de suprimentos.

Com essa capacidade de qualquer dispositivo poder se comunicar com a internet, como mostrado na Figura 1, diversas aplicações podem ser criadas tanto em âmbito doméstico com dispositivos para verificar saúde e bem estar, quanto em ambiente profissional com automações, gerenciamento de negócios e transporte inteligente de bens (SHEN; LIU, 2011).

Khan et al. (2012) detalha algumas aplicações para IoT, entre elas:

- Prevenção de desastres naturais utilizando sensores nos mais diversos locais que monitoram o ambiente, podendo prever deslizamentos ou outros desastres;
- Monitoramento de escassez de água com uma rede de sensores espalhados por diversos locais monitorando o nível de água;
- Aplicações em agricultura em que a plantação é monitorada, informando ao fazendeiro pontos importantes e podendo tomar decisões autônomas como lançar pesticidas em determinadas situações;
- Segurança inteligente, em que é monitorado pessoas e ativos, ativação de alarmes e manutenção de equipamentos.

Figura 1 - Dispositivos Conectados a Internet



Fonte: (KHAN *et al.*, 2012)

2.3. Inter-Integrated Circuit (I2C) e Serial Peripheral Interface (SPI)

O I2C é um protocolo de comunicação serial que permite que vários dispositivos sejam conectados a um mesmo barramento, permitindo troca de informação de forma mais fácil. Nele é utilizado a arquitetura de mestre e escravo, em que o mestre é que inicia a comunicação e o escravo responde. Nesse protocolo, são utilizados apenas 2 fios, assumindo que já haja alimentação elétrica, um deles é utilizado para transferir dados, enquanto o outro é usado para transmitir o sinal de *clock*, logo, a comunicação é síncrona e *half-duplex*, ou seja, apenas um dispositivo utiliza o fio de dados de cada vez. Sempre a comunicação é iniciada pelo mestre enviando um bit de início, e finalizado com um bit de término. Após enviar o bit de início, é enviado bits de endereço do escravo, que retorna um bit de confirmação caso esse seja seu endereço, indicando que ele existe e iniciado a comunicação.

O SPI também é um protocolo de comunicação serial que conecta vários dispositivos e que utiliza o sistema mestre e escravo, mas diferente do I2C, ele utiliza 4 fios, um para o sinal de clock, um para selecionar o dispositivo a que se quer conectar (fio único para cada dispositivo), um para o dispositivo mestre dar instruções

para o escravo e o outro para receber feedbacks do dispositivo escravo, sendo assim, possuindo comunicação síncrona e full-duplex, em que podem ser enviado e recebido dados do mestre ao mesmo tempo. Nesse caso a comunicação ocorre quando o pino de seleção é acionado, então o mestre envia dados, e para cada bit enviado o escravo retorna um bit.

2.4. Wireless Fidelity (WI-FI)

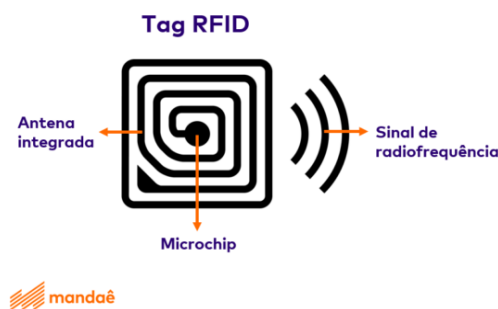
O WI-FI é um tipo de conexão sem fio, utilizando ondas de rádio que garante acesso sem fio à rede de internet. Isso é feito a partir de um dispositivo chamado roteador que recebe um sinal que pode ser vindo de cabos ou por outra fonte sem fio, e após decodificar esse sinal, os envia por meio de uma antena, permitindo que dispositivos compatíveis com essa tecnologia possam ler esse sinal.

2.5. Radio Frequency Identification (RFID)

Dentro do ramo de IoT, uma das tecnologias de mais relevância é a de identificação por radiofrequência (RFID, *Radio Frequency Identification*), utilizada quando se há a necessidade de identificar objetos através de uma *tag* (explicado mais na frente) neles instalada. Essa tecnologia utiliza ondas de radiofrequência para ler dados que estão escritos na *tag*, utilizando um leitor, sem necessidade de contato físico entre ambos, assim permitindo a identificação do objeto (SHEN; LIU, 2011).

Uma *tag* RFID é composta por um microchip com uma antena embutida (ver na Figura 2) e uma memória para salvar seu identificador único, o código de produto eletrônico (Electronic Product Code, ou EPC), permitindo o objeto ser identificado unicamente em todo o mundo (SHEN; LIU, 2011). O EPC é um código de 64 ou 98 bits e contém diversas informações, como o tipo de EPC, número padrão do produto, especificações e informações do fabricante (MADAKAM; RAMASWAMY; TRIPATHI, 2015). Mas nem todas as *tags* RFID são iguais, de acordo com Jones e Chung (2007), elas podem ser classificadas pela fonte de energia, frequência e pela capacidade de leitura e escrita.

Figura 2 - Arquitetura de tag RFID



mandaê

Fonte: Mandaê, 2022¹

Em relação à fonte de energia, para Jones e Chung (2007) ela possui três tipos:

- Passiva, em que ela é energizada através do eletromagnetismo emitido por um leitor RFID, isso faz com que sejam mais simples e mais baratas, mas em compensação elas precisam estar mais perto do leitor para funcionar corretamente;
- Ativa, em que a *tag* possui uma bateria embutida para alimentar o circuito, o que faz com que ela seja maior e conseqüentemente mais cara, mas é o que a faz ter um alcance de dezenas a centenas de metros;
- Semi-ativo, em que possui características dos dois primeiros tipos, em que ele possui bateria interna para energizar alguns sensores conectados a ele, mas utiliza o eletromagnetismo emitido de um leitor para comunicação.

A classificação de frequência pode ser dividida em quatro classes: “Alta frequência”, com 13,56 MHz de banda, ela é a mais comum de ser utilizada e sua distância de utilização vai a até alguns centímetros; “Ultra alta frequência” possuindo várias bandas de transmissão entre 433 MHz à 956 MHz, sua distância de leitura é de alguns poucos metros. Além dessas duas também tem a de baixa frequência que opera a 125 KHz, com distância de funcionamento de poucos centímetros e a de micro-ondas que opera a 2,45 GHz, mesma banda da internet, e tem alcance de mais de 10 metros (INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION, 2005).

¹ Disponível em: <https://www.mandaem.com.br/blog/etiquetas-rfid-como-funcionam-e-quais-sao-as-suas-vantagens/>. Acesso em: 29 ago. 2023

Sobre a capacidade de leitura e escrita de *tags* RFID, de acordo com Jones e Chung (2007), elas podem ser classificadas em três tipos:

- “Apenas leitura”: os dados dentro dela não podem ser modificados, sendo assim, já vem de fábrica com algum valor salvo definido pelo fabricante ou especificado pelo comprador;
- “Escreva uma vez, leia muitas”: esse tipo de *tag* permite gravar os dados que quiser nela, mas apenas uma vez, depois disso ela apenas poderá ser usada para leitura;
- “Leitura e escrita”: pode-se ler e escrever os dados quantas vezes quiser, além de ser possível bloquear a escrita em algumas regiões de sua memória.

Existem diversos objetos que podem conter *tags* RFID, alguns desses objetos são ilustrados na Figura 3.

Figura 3 - Tipos de tags RFID



Fonte: Página do LinkedIn²

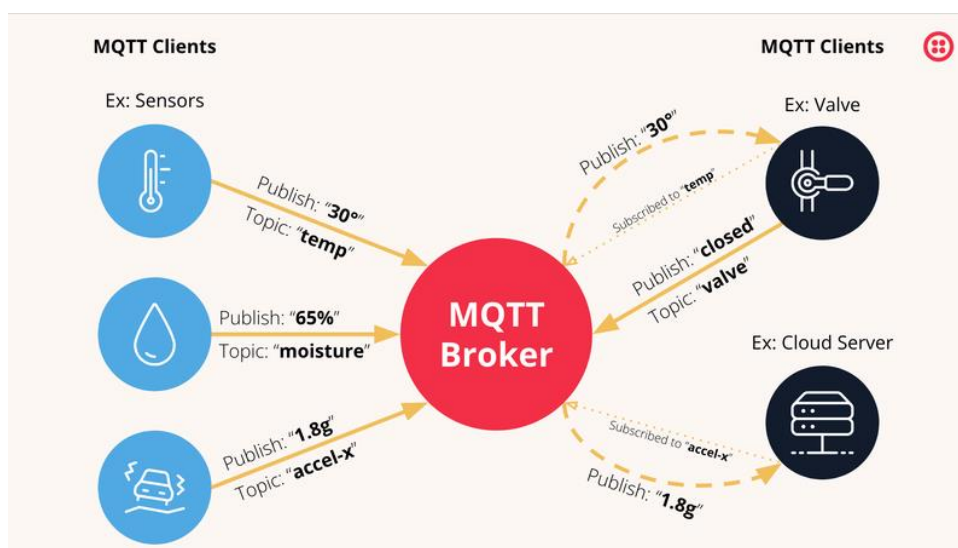
² Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/what-rfid-tag-how-does-tag-work-what-disadvantage-mina-zhang>. Acesso em: 29 ago.2023

2.6. Transporte de Enfileiramento de Mensagens de Telemetria (MQTT)

No escopo de IoT, os dispositivos têm que utilizar a internet para enviar e receber dados, e essa troca de informações pode ocorrer com bastante frequência. Em sistemas microcontrolados, em que se tem um dispositivo com baixo processamento e pouca memória, não é adequado utilizar protocolos de rede complexos como o HTTP, por isso outros protocolos mais leves foram criados para esse tipo de situação, entre eles temos o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*).

O MQTT é um protocolo proposto pela IBM em 1999, mais leve e eficiente quando utilizado em dispositivos com memória limitada e que funcionam com baixo consumo de energia (P.; K., 2019). Os sistemas MQTT utilizam o sistema de comunicação denominado publicar/inscrever, em que dispositivos que utilizam MQTT se conectam com um servidor, também chamado de *Broker*, que será o responsável por direcionar as mensagens de um dispositivo para o outro através de tópicos, um tipo de estrutura em forma de árvore (Ex. /topico/sensor; /topico/sensor/quarto). São nesses tópicos que os dispositivos fazem publicações e se inscrevem, assim, o *Broker* encaminha as mensagens publicadas para um tópico a quem está inscrito nele (DINCULEANĂ; CHENG, 2019). Um exemplo de comunicação MQTT pode ser vista na Figura 4, em que um Broker recebe publicações de clientes MQTT relacionadas a temperatura, humidade e aceleração, as direcionadas para dois clientes, um que a partir da temperatura controla uma válvula (fazendo uma publicação que foi fechada) e o outro que utiliza o valor da aceleração em um servidor na nuvem.

Figura 4 - Comunicação por MQTT



Fonte: twilio BLOG³

Em relação à segurança do sistema MQTT, existem algumas técnicas que podem ser seguidas para garantir que os dados cheguem ao destino e que sejam de fonte confiável. De acordo com Dinculeană e Cheng (2019), o *Broker* pode registrar informações do dispositivo que está tentando conectar-se a ele, assim utilizando o endereço da interface de rede para autenticar. Também é dito que o *Broker* pode conter uma lista com identidade e senha dos clientes MQTT, garantindo autenticidade e acesso apenas ao que é permitido a essa credencial. Outros métodos de segurança são contestados por P. e K. (2019), entre eles estão o uso de certificados de segurança que demandam um maior poder de processamento para criptografar a informação a ser enviada, o segundo método é o *throttling*, que limita a taxa de transferência de dados, impedindo que várias requisições sejam feitas ao mesmo tempo, mas quando essas requisições são em quantidade muito elevada, esse método se torna ineficiente, além do que pode haver o descarte de informações que sejam importantes.

³ Disponível em: <https://www.twilio.com/blog/what-is-mqtt>. Acesso em: 29 ago. 2023

2.7. Trabalhos Semelhantes

No estudo de Karna, Pratama e Ramzani (2019), é feita uma proposta de desenvolvimento de um sistema que automatiza o empréstimo e a devolução de livros de bibliotecas. É descrito que para cada uma das automações (empréstimo e devolução) foi feito um dispositivo. Para empréstimo é utilizado um microcontrolador para ler informações de dois leitores RFID, uma para *tags* de livros e outro para cartões de identificação de usuário, e uma vez que lê essas informações, elas são mandadas para um computador que fará operações com os dados recebidos, podendo tirar foto do usuário, exibindo informações em um monitor ou ativando uma campanha. Após a finalização da sessão, que ocorre quando uma nova identificação é inserida ou encerra o tempo de espera da aproximação de livro, as informações das operações executadas são enviadas para o sistema de gerenciamento da biblioteca. O sistema de devolução é mais simples, ele contém um leitor RFID para ler as *tags*, um microcontrolador para ler essas informações, acionando uma campanha se a *tag* do livro existir, e enviando status para o sistema de gerenciamento da biblioteca que um livro foi devolvido.

O sistema proposto por Edwards e Orukpe (2014) permite fazer o empréstimo e devolução de livros, também utilizando RFID para autenticar usuário e identificar livro, utilizando um microcontrolador para ler as informações vindas dos módulos RFID, e assim como a proposta anterior, necessita de um computador para realizar as operações necessárias para realizar o empréstimo/devolução, mas nesse caso a comunicação do microcontrolador com o computador é via *Bluetooth*, cujo, o dispositivo microcontrolado contém um módulo.

2.8. Proposta

A internet das coisas realmente é um conceito que se fortaleceu bastante no ambiente tecnológico e que se pode ver suas aplicações em diversas áreas, inclusive em automação de bibliotecas, em que se pode utilizar *tags* RFID para identificar pessoas e objetos, como feito por Karna, Pratama e Ramzani (2019) e Edwards e

Orukpe (2014). Mas essas duas soluções possuem alguns problemas, no primeiro caso sendo o fato de serem dois sistemas para realizar operações semelhantes, e ambos serem dispositivos relativamente grandes. Já no segundo caso, o dispositivo depende de *Bluetooth*, o que não é tão interessante quando se pensa em se comunicar com sistemas na nuvem. Além disso, o fato de ambos terem que utilizar um computador para o empréstimo/devolução aumenta o custo do produto e dificulta a mobilidade dele.

Com isso, esse trabalho propõe a criação de apenas um dispositivo microcontrolado que automatize o processo de empréstimo e devolução de livros de uma biblioteca, utilizando dois leitores RFIDs, para ler *tags* de identificação e de livros, uma campainha, um *display* LCD e quatro LEDs, para orientar e informar o usuário do que está acontecendo, e uma placa de desenvolvimento com um microcontrolador ESP-32, que tem conexão via WI-FI com internet, e que irá controlar todo o sistema e se comunicar com a internet utilizando o protocolo MQTT. O escopo deste trabalho consiste apenas na criação do sistema microcontrolado, fugindo do escopo qualquer outro tipo de sistema conectado à internet para se comunicar com o microcontrolador.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho tem em sua metodologia a descrição da criação do protótipo mencionado no final do capítulo anterior. Aqui será definido os componentes utilizados e suas funções, o que ele faz para solucionar o problema, como foi o desenvolvimento do protótipo e como ele foi testado.

3.1. Levantamento de Requisitos

Primeiramente, foi feito um levantamento de requisitos para identificar o que deve ser desenvolvido. Esse levantamento foi feito tentando simular o funcionamento padrão de empréstimo e devolução de livros na biblioteca Poeta Zé da Luz do *campus* do IFPB de Campina Grande. Utilizando a técnica conhecida como *Brainstorming*, foi analisado possíveis métodos para automatizar esse processo.

Ao decorrer da análise dos requisitos, foi analisado que o *backend*, banco de dados e o aplicativo mobile não seriam tão interessantes, pois o principal público alvo do projeto é a automação para bibliotecas que em sua maioria já possui algum sistema para gerenciamento dos seus livros. Nesse contexto, para utilizar esse produto, necessitaria migrar todo o ecossistema da biblioteca para se adaptar a este desenvolvimento. Além disso, a implantação de um sistema que está alocado na nuvem requer pagamento mensal pelo tráfego e armazenamento de dados, o que quebraria o objetivo de ser baixo custo, pois teria gastos mensais. Portanto, foi decidido apenas a criação de um dispositivo que automatize o processo de empréstimo e devolução de livros, permitindo continuar utilizando parte do sistema da biblioteca. Claro, o produto desenvolvido em si não conseguiria se comunicar com o sistema já existente na biblioteca, seria necessário desenvolver algum sistema que sirva como interface entre o dispositivo aqui desenvolvido e o que tem acesso ao banco de dados do cliente.

Decidido que será desenvolvido apenas um dispositivo microcontrolado, foi definido quais os requisitos funcionais e não funcionais, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Requisitos Funcionais e não Funcionais

Req. Funcional 1	Ter identificação do usuário para empréstimo de livro
Req. Funcional 2	Ter identificação do usuário para devolução de livro
Req. Funcional 3	Identificar livros unicamente na biblioteca
Req. Funcional 4	Exibir informações audiovisuais ao usuário
Req. Funcional 5	Informar quando livro já estiver emprestado
Req. Funcional 6	Possuir alguma forma de verificar <i>status</i> do livro
Req. Funcional 7	Informar quando usuário ou livro não estiverem cadastrados
Req. não Funcional 1	Ser de fácil usabilidade
Req. não Funcional 2	Ter baixo gasto energético
Req. não Funcional 3	Diminuir tempo de empréstimo e devolução
Req. não Funcional 4	Ser de baixo custo

Fonte: Autoria Própria

3.2. Tecnologias

A utilização da tecnologia de RFID foi logo pensada, devido sua capacidade de reter informação, a possibilidade de imutabilidade da informação, o baixo custo energético para ler essa informação e pelo fato de vários leitores serem baratos. Também precisaria de um microcontrolador para se comunicar com o leitor RFID, e como o microcontrolador precisaria se comunicar com um sistema externo pela internet, foi decidido utilizar o ESP32, que possui conectividade via Wi-Fi, dando possibilidade do dispositivo se comunicar com outros sistemas WEB utilizando o protocolo MQTT.

Com o microcontrolador e o leitor RFID, já seria possível haver comunicação com sistemas externos, mas ainda faltava uma forma do usuário saber o que está acontecendo no dispositivo. Foi pensado em utilizar LEDs, *buzzers*, e um display LCD para exibir informações sonoras e visuais.

Como o microcontrolador tem apenas à sua disposição o EPC das *tags* RFID, também foi desenvolvido um sistema WEB simples que tem acesso a um banco de dados, para assim poder controlar o fluxo de funcionamento do dispositivo e poder testá-lo.

O desenvolvimento do software do microcontrolador usaria a linguagem de programação C com o *framework* ESP-IDF da ESPRESSIF, empresa criadora do ESP32. O sistema WEB para teste utilizaria a linguagem de programação JAVA com o *framework* *Spring Boot*. O banco de dados seria um relacional utilizando o sistema de gerenciamento de banco de dados MySQL, com a linguagem SQL. Já o aplicativo seria desenvolvido com a biblioteca Javascript, React Native, criada pelo Facebook.

3.3. Arquitetura

O dispositivo utiliza uma arquitetura semelhante à proposta pelo sistema de empréstimo de livros de Karna, Pratama e Ramzani (2019). Possuindo dois leitores RFIDs, um para ler *tags* de livros e outro para identificar usuário, um *buzzer* e um LCD para informar e dar instruções ao usuário, e um microcontrolador (ESP32) para controlar o dispositivo e se comunicar via Wi-Fi com outros sistemas. Além disso, também possui 4 LEDs para dar mais informação visual a quem for utilizar o sistema. O protótipo pode ser dividido em quatro subsistemas, sendo elas a de leitura de livros, leitura de identificação de usuário, *view* e microcontrolador, como visto no Apêndice A.

O subsistema nomeado como 'leitura de livros' é composto por um leitor RFID, um LED vermelho e um LED verde. Quando o sistema requisita a leitura de uma *tag* de livro, esses dois LEDs piscam alternadamente e quando uma *tag* é lida o LED verde pisca informando que ela existe, se não, o LED vermelho pisca, informando que a *tag* não existe.

O subsistema nomeado como 'leitura de identificação' tem composição e funcionamento idênticas à de 'leitura de livros', sendo a única diferença que ela espera ler *tags* de usuários.

O subsistema nomeado como '*view*' é responsável por exibir informações ao usuário, tanto de forma visual como sonora. Ela é composta por um display LCD e um *buzzer*. Enquanto o LCD exibe informações do que está acontecendo no sistema e dá instruções para o usuário, o *buzzer* complementa algumas informações, sinalizando

por meio de som em um padrão quando algo está certo, e em outro quando algo está errado.

O subsistema nomeado como 'microcontrolador', como o nome já diz, é composto pelo microcontrolador ESP32 e é o responsável por controlar todos os demais subsistemas. Além disso, é ele que se comunica com a internet via Wi-Fi, utilizando o protocolo MQTT.

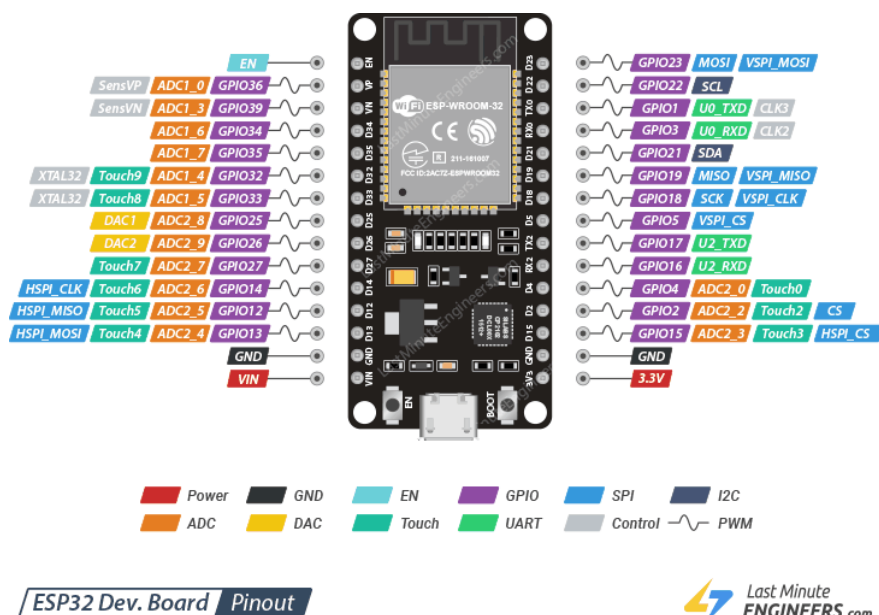
3.4. Componentes

Sabendo dos componentes que serão necessários para o desenvolvimento do dispositivo, é necessário especificar qual o modelo de cada um deles. Os dois leitores RFID serão o módulo RC522. O display LCD é um de 16x2, com luz de fundo azul, e contém um módulo I2C embutido. O microcontrolador, como já falado, será o ESP32 que vem na placa de desenvolvimento ESP32 devkit V1. Os demais componentes são 4 LEDs de alto brilho, um buzzer ativo e alguns resistores.

3.4.1. Microcontrolador ESP32

O ESP32 devkit V1 é uma placa de desenvolvimento que contém o microcontrolador ESP32, desenvolvido pela Espressif Systems. Ele possui dois microprocessadores de 32 bits cada, de arquitetura Xtensa, da própria empresa. O microcontrolador oferece suporte a várias interfaces de periféricos, como SPI, I2C, I2S, conversores analógico-digital e digital-analógico. Para esse projeto foi utilizado o I2C e o SPI. Ele também possui Wi-Fi e Bluetooth inclusos. Na Figura 6 pode ser visto o microcontrolador e suas interfaces suportadas.

Figura 5 - Placa de Desenvolvimento ESP32 DevKit V1



Fonte: Last Minute ENGINEERS⁴

3.4.2. Módulo RFID - RC522

O módulo RFID RC522 (Figura 7), é baseado no chip MFRC522 da NXP Semiconductors que opera a 3,3V. Ele suporta leitura e escrita de *tags* RFID que operem a 13,56 MHz e que sigam a ISO 14443A. Além disso, a comunicação com esse módulo pode ser feita através dos protocolos de comunicação serial I2C e SPI. A biblioteca `esp-idf-rc522` do Abobija (2023), disponível no github, foi utilizada para controlar os módulos. A biblioteca suporta as duas formas de comunicação serial, mas para a comunicação I2C seria necessário configurar alguns bits para poder identificar cada um dos módulos, então foi escolhida a comunicação SPI, utilizando o mesmo barramento para os dois leitores RFID, sendo feita pequenas modificações no código para facilitar sua utilização com os dois componentes.

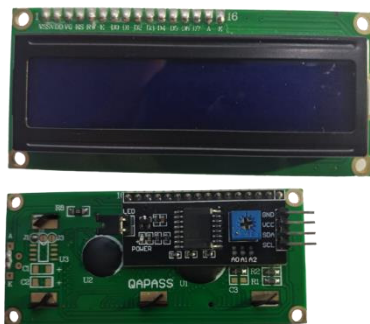
⁴ Disponível em: <https://lastminuteengineers.com/esp32-pinout-reference/>. Acesso em: 29 ago. 2023

Figura 6 - Módulo RFID RC522

Fonte: Autoria Própria

3.4.3. Display LCD

O display LCD matricial de 16x2 possui o controlador HD44780 da Hitachi. Este display possui 16 pinos para que haja alimentação elétrica e controle dele, mas para não precisar utilizar tantos pinos, nele vem acoplado um módulo I2C, permitindo utilizar o display com apenas 4 pinos, sendo dois deles para alimentação, ao invés de 16. Como apenas ele utiliza a comunicação serial I2C, não há preocupação com conflito de endereços I2C. Para controlar o display foi utilizada a biblioteca ESP32-HD44780 do maxsydney (2023), disponível no github. A Figura 8 retrata o display LCD e o módulo I2C acoplado a ele.

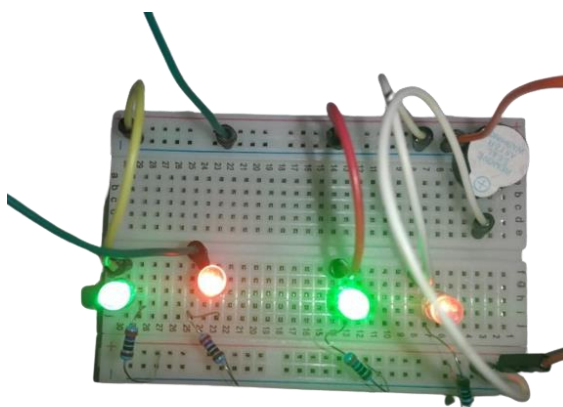
Figura 7 - Display LCD 16x2 com Módulo I2C

Fonte: Autoria Própria

3.4.4. Outros Componentes

Foram utilizados quatro LEDs de 5mm, divididos em 2 cores, verde e vermelho. Todos eles são de alto brilho, ou seja, possuem iluminação direcionada. Para limitar a corrente nos LEDs, foram colocados resistores de 220 Ohms. O *buzzer* é um ativo de 5V. Tanto os LEDs como o *buzzer* (Figura 9) serão controlados utilizando GPIOs oferecidos pelo microcontrolador.

Figura 8 - LEDs, Resistores e Buzzer



Fonte: Autoria Própria

3.5. Funcionamento

Como foi dito, o objetivo do protótipo é automatizar o processo de empréstimo e devolução de livros da biblioteca. Tendo em vista o funcionamento básico dos subsistemas, agora será explicado como é o funcionamento geral para realizar o empréstimo e devolução de livros da biblioteca. Uma imagem mostrando o fluxo de funcionamento pode ser encontrado no link no rodapé⁵.

Quando o sistema inicia, o microcontrolador tenta se conectar com o *Broker* MQTT via Wi-Fi, utilizando credenciais já salvas nele e exibindo uma mensagem de

⁵ <https://postimg.cc/3dKYR688>

que está tentando se conectar (Figura 10). Quando consegue se conectar, os LEDs vermelho e verde do subsistema de leitura de identificação começam a piscar alternadamente e no LCD é escrito para aproximar a identificação RFID do leitor para iniciar o processo de empréstimo ou devolução (Figura 11). Quando aproximado, será lida a informação gravada na *tag* e será feita uma publicação para o tópico MQTT apropriado (tópico 1, verificar tabela 2), informando que determinado usuário deseja se autenticar.

Figura 9 - Mensagem de Tentativa de Conexão com Broker MQTT



Fonte: Autoria Própria

Figura 10 - Mensagem Indicando para Aproximar Identificação



Fonte: Autoria Própria

Após isso, o sistema se inscreve em outro tópico MQTT (tópico 2) que espera receber a resposta se o usuário existe ou não, e também o nome do usuário. Se o usuário não existir, será exibida uma mensagem informando que ele não foi encontrado, o buzzer tocará, e o LED vermelho desse subsistema piscará, encerrando o processo e voltando para o estado inicial, mostrando uma mensagem de encerramento (Figura 12). Mesmo o sistema tendo voltado para o estado inicial, ele guarda a informação da *tag* até ela ser removida de perto do leitor, assim evitando iniciar outro processo de empréstimo ou devolução.

Figura 11 - Mensagem de Encerramento do Processo

Fonte: Autoria Própria

Caso o usuário exista, será mostrada uma mensagem de boas-vindas, o LED verde piscará e o buzzer tocará. Em seguida os LEDs do subsistema de leitura de livros começarão a piscar alternadamente e o LCD mostrará uma mensagem pedindo para aproximar um livro, como na Figura 13. Ao fazer isso, será enviado uma mensagem para o tópico MQTT apropriado (tópico 3), informando o valor na *tag* RFID. Depois o sistema se inscreve no tópico 5 para receber a informação acerca do livro. Caso o livro não exista ou tenha sido emprestado a outro usuário, o LED vermelho do subsistema de leitura de livros piscará, o *buzzer* tocará e uma mensagem informando que o livro não está cadastrado ou que o livro já está emprestado será exibida.

Figura 12 - Mensagem Indicando para Aproximar Livro

Fonte: Autoria Própria

Tabela 2 - Tópicos MQTT

Tópico 1	/enviar/id	Faz publicação MQTT do valor de <i>tag</i> de identificação para autenticar usuário. Informação enviada: ["tag_id"]
Tópico 2	/receber/id	Faz inscrição MQTT para receber resposta sobre identificação. Informação recebida:

		[“código”;”erro”;”nome_da_pessoa”;]. Serve para o tópico 1.
Tópico 3	/enviar/livro	Faz publicação MQTT do valor de <i>tag</i> de livro para realizar empréstimo ou devolução. Informação enviada: [“tag_livro”]
Tópico 4	/buscar/livro	Faz publicação MQTT do valor de <i>tag</i> de livro para saber se ele está emprestado ou devolvido (seu status). Informação enviada: [“tag_livro”]
Tópico 5	/receber/livro	Faz inscrição MQTT para receber resposta sobre livro. Informação recebida: [“código”;”erro”;”nome_do_livro”;]. Serve para o tópico 3 e 4

Fonte: Autoria Própria

Caso o livro esteja registrado, se for feito o empréstimo ou a devolução do livro, o LED verde piscará, o *buzzer* tocará e será mostrada uma mensagem dizendo se foi emprestado ou devolvido, voltando para o estado de esperar aproximar um livro do leitor RFID. Para evitar que sejam feitas diversas publicações MQTT, o sistema espera a *tag* do livro se distanciar para tomar alguma ação, ao menos que a identificação do usuário seja removida.

Quando um *tag* de livro é aproximado do leitor RFID para livros e não tem usuário autenticado, é feita uma publicação MQTT para o tópico 4 mandando a informação lida pelo leitor RFID. Depois será feita inscrição MQTT no tópico 5, que receberá algum status sobre o livro, como mostrado na Figura 14.

Figura 13 - Mensagem de Status do Livro (Emprestado)

Fonte: Autoria Própria

Toda inscrição MQTT espera receber uma mensagem contendo um código numérico, um número indicando se houve algum erro (1 para sim e 0 para não) e um valor que pode ser vazio ou não. O código serve para identificar qual LED piscará, qual o som do *buzzer* e qual mensagem será exibida ao usuário pelo LCD, como mostrado na tabela 3. Essa mensagem será exibida após mostrar o valor, um exemplo pode ser visto na Figura 15, em que um usuário tenta se autenticar. O indicador de erro serve para saber se houve algum erro no sistema que está respondendo as publicações desse dispositivo desenvolvido. Nesse caso, se o identificador for 1, será exibida apenas uma mensagem de erro, ignorando o código e o valor recebido, como mostrado na Figura 16.

Tabela 3 - Códigos das Respostas MQTT e suas Mensagens

Código 201	Seja Bem Vindo
Código 202	Emprestado com Sucesso ;)
Código 203	Devolvido com Sucesso ;)
Código 204	Status do Livro
Código 401	Usuário :(

	não Encontrado
Código 402	Livro :(não Encontrado
Código 403	Livro Emprestado a outra pessoa:(
Qualquer outro código	ERRO NA MATRIX TOME PILULA AZUL

Fonte: Autoria Própria

Figura 14 - Mensagem de Sucesso na Autenticação de Usuário



Fonte: Autoria Própria

Figura 15 - Mensagem de Erro



Fonte: Autoria Própria

É importante salientar que foram utilizados os dois núcleos computacionais que o ESP32 contém, então, enquanto um deles é responsável pelo controle de envio e recebimento de mensagens MQTT, o outro fica encarregado de controlar os leitores RFID, exibir mensagens no LCD, piscar LEDs e acionar o *buzzer*. Também foi utilizada

a biblioteca do FreeRTOS (um sistema operacional em tempo real, que objetiva executar múltiplas tarefas simultâneas com tempo de conclusão previsíveis), para ter o controle desejado dos processos, assim, o LCD, LEDs e *buzzer* podem operar ao mesmo tempo ao invés de um de cada vez, e o sistema só continua executando quando essas três tarefas forem finalizadas.

3.6. Teste e Validação

Tanto durante quanto após o desenvolvimento do protótipo é necessário testes para garantir que as funcionalidades propostas estão sendo cumpridas e que não haja erros. Durante o desenvolvimento, os testes foram feitos de forma individual, de um escopo micro para macro, primeiramente tentando apenas ligar os componentes para depois fazê-los ter um comportamento específico, como por exemplo, ligar e desligar um LED, para depois fazer ele piscar em um padrão. E após o desenvolvimento completo foram feitos testes utilizando o Eclipse Mosquitto, rodando em um computador, e que permite criar um *Broker* MQTT, publicar e se inscrever em tópicos, assim verificando se o sistema se comporta como o planejado e que os dados enviados eram corretos e os recebidos causavam o efeito esperado.

Para facilitar ainda mais os testes do protótipo e também poder mensurar melhor o desempenho do sistema, foi utilizada a ideia da proposta anterior de ter um *backend* WEB e um banco de dados MySQL, e assim foi desenvolvido um sistema bem simples em que no banco de dados é associado a informação de algumas *tags* RFID como identificação de usuário, e outras como livro. Toda vez que um usuário aproxima uma *tag* do leitor de usuário, é feita uma publicação MQTT que verifica se o usuário existe e retorna o nome dele do banco de dados, dando início ao processo de empréstimo e devolução, e quando aproxima a *tag* de um livro do leitor RFID para livros, verifica se o livro existe, e se ele existir faz o empréstimo se estiver devolvido, e faz devolução se tiver sido emprestado. Ou caso a *tag* do livro seja aproximada primeiro, será mostrado se o livro está emprestado ou devolvido.

Com esse sistema para testes rodando em um computador na mesma rede do dispositivo, é possível criar um cenário em que usuários seguidos utilizarão o sistema, e assim mensurar a eficiência do dispositivo no quesito tempo. Com isso foi elaborado

um cenário em que seriam feitas 10 autenticações de usuários, e cada um deles realizaria o empréstimo de 3 livros. Essas 10 sessões foram realizadas pelo autor dessa monografia, ou seja, é de se assumir que o usuário saberia qual o processo para realizar o empréstimo dos livros. A medição do tempo também foi feita utilizando um cronômetro, que foi iniciado quando o primeiro usuário tentaria se autenticar, e finalizado quando o décimo usuário encerra sua sessão. Esse teste foi feito apenas realizando o empréstimo de livros, pois o sistema WEB foi desenvolvido de forma que o processo de empréstimo e devolução seja o mesmo, ou seja, o tempo de um ou de outro seria semelhante.

O mesmo teste acima foi refeito, mas dessa vez o dispositivo estava conectado em uma rede WI-FI doméstica, enquanto que o sistema WEB estava conectado em uma rede criada utilizando *Thetering* (utilizando o celular como roteador Wi-Fi, compartilhando seus dados móveis), para simular uma aplicação rodando em redes diferentes. Já o broker MQTT utilizado é um público disponibilizado pelo *Mosquitto*.

Também foi avaliado o tempo de inicialização do sistema, tendo que se conectar em uma rede Wi-Fi e no *broker* MQTT. Essa medição também foi feita utilizando um cronômetro, e foi avaliado esse tempo com o dispositivo se conectando em uma rede doméstica e depois em outra utilizando *Thetering*.

Com esse sistema WEB também é possível mensurar o gasto energético do dispositivo enquanto está em repouso, esperando aproximar uma *tag* de identificação, e quando está sendo estressado (realizando processo de empréstimo e devolução). Para verificar a potência elétrica, foi utilizado o pino VIn, do kit de desenvolvimento, que pode ser utilizado para alimentação energética do dispositivo, e com um multímetro para medir a corrente elétrica entrando no dispositivo e sabendo que a tensão de alimentação será fixa em 6V (com 5V o sistema reiniciava durante a inicialização, devido a fonte de alimentação não ser muito estável), será possível calcular a potência elétrica utilizada utilizando a equação 1. Sabendo a potência elétrica, será calculado o consumo energético em kilowatt-hora do dispositivo ligado 24 horas durante 30 dias, utilizado o valor do KWh de R\$2,11 (equação 2), já que seu valor varia dependendo da quantidade de KWh gastos no local, tipo de rede elétrica e bandeira tributária, como pode ser visto no sítio eletrônico⁶.

⁶ Disponível em: <http://www.dme-pc.com.br/atendimento/tarifas>. Acesso em: 08 out. 2023

$$P = V * I \quad (1)$$

$$CE = (P * 24 * 30)/1000 \quad (2)$$

Além desses testes, também foi avaliado qual o possível preço para a comercialização do produto. Para isso, será utilizado como base a média aritmética do preço dos componentes em lojas nacionais e internacionais, uma porcentagem de aumento (5%) para caso os componentes aumentem de preço e a porcentagem de lucro (10%). O valor dos componentes, levando em conta a quantidade utilizada de cada um dos componentes na construção do produto e desconsiderando a porcentagem de aumento e de lucro será calculado utilizando a equação abaixo:

$$V_{base} = 2 * V_{Mrfid} + V_{Mlcd} + V_{Mesp} + K_{componentes} \quad (3)$$

As lojas utilizadas para essa busca serão a *VOLTRIZ*⁷ da cidade de Campina Grande na Paraíba, a *ELETROGATE*⁸, *MAKER HERO*⁹, *mercado livre*¹⁰ e *amazon*¹¹, com vendas nacionais e o *ebay*¹² e *AliExpress*¹³ com vendas internacionais. Será buscado o preço dos componentes módulo RFID RC522, display LCD e do ESP32 devkit V1. Os preços dos LEDs, resistores e do *buzzer* será o valor fixo R\$5,00, devido serem bastante baratos e porventura pouco influenciando o valor final do produto mesmo com variações do preço.

Como lojas varejistas podem conter mais de um anúncio do mesmo componente, terá preferência a escolha dos mais baratos com boa avaliação ao vendedor. Como o display LCD e o módulo I2C podem ser vendidos juntos ou separados, será avaliado o preço unitário ou da soma dos dois separados. O valor do frete será desconsiderado do total do componente, e será avaliado o preço de apenas um componente, então, caso a venda seja de um conjunto, será dividido o preço pela quantidade de componentes.

⁷ Disponível em: <https://voltriz.com.br/>. Acesso em: 30 set. 2023

⁸ Disponível em: <https://www.eletrogate.com/>. Acesso em: 30 set. 2023

⁹ Disponível em: <https://www.makerhero.com/>. Acesso em: 30 set. 2023

¹⁰ Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/>. Acesso em: 30 set. 2023

¹¹ Disponível em: <https://www.amazon.com.br/>. Acesso em: 30 set. 2023

¹² Disponível em: <https://www.ebay.com/>. Acesso em: 30 set. 2023

¹³ Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/>. Acesso em: 30 set. 2023

4. RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo mostrar se o protótipo desenvolvido cumpre os seus objetivos de ser um produto que acelera o processo de empréstimo/devolução de livros, tendo baixo custo energético e possuindo preço acessível. Como mencionado no final do capítulo anterior foram feitas três avaliações, uma para avaliar o possível preço final do produto, uma para avaliar o gasto energético, e uma para avaliar a eficiência temporal, mensurando o tempo médio em que 10 pessoas levariam para utilizar o dispositivo e o tempo de inicialização do dispositivo.

4.1. Valor do Produto

Nessa sessão será avaliado um possível valor para a venda do produto, que como falado anteriormente será feita através da busca dos preços dos componentes módulo RFID RC522, display LCD e do ESP32 devkit V1 em lojas nacionais e internacionais, e assumindo que LEDs, resistores e do *buzzer* juntos terão o valor fixo de R\$5,00.

Analisando os preços obtidos dos componentes na tabela 4 é possível tirar algumas conclusões. Os componentes internacionais são, em sua maioria, bem mais baratos que os demais, mas que com adição de frete e taxa de importação podem sofrer inflação de valor. Já os componentes nacionais, embora tenham alguma flutuação no preço, essa variação não é tão grande comparado com os internacionais.

Para calcular o possível valor de fabricação do produto será utilizada a média do preço de cada componente, que serão somados junto com o preço constante definido para os LEDs, buzzer e resistores (R\$5,00). Como os preços internacionais podem ser considerados *outliers* comparando com os demais valores, será feito dois cálculos do valor de fabricação, um utilizando a média dos componentes nacionais e outra com os internacionais. A média do preço dos componentes nacionais e internacionais também podem ser encontrados na tabela 4.

Tabela 4 - Preço dos Componentes Eletrônicos por Loja

Nome da Loja	Preço RC522	Preço Display LCD	Preço ESP-32
VOLTRIZ	R\$ 21,90	R\$ 29,80	R\$ 85,90
ELETROGATE	R\$ 18,90	R\$ 27,46	R\$ 66,40
MAKER HERO	R\$ 17,95	R\$ 27,35	R\$ 58,80
mercado livre	R\$ 12,75	R\$ 24,25	R\$ 30,99
amazon	R\$ 34,75	R\$ 38,32	R\$ 33,33
ebay	R\$ 6,56	R\$ 15,57	R\$ 41,85
AliExpress	R\$ 2,48	R\$ 5,20	R\$ 4,97
Média Nacional	R\$ 26,57	R\$ 29,44	R\$ 55,09
Média Internacional	R\$ 4,52	R\$ 10,39	R\$ 23,41

Fonte: Autoria Própria

Aplicando a equação 3 foi calculado o valor base da fabricação do produto. O resultado pode ser encontrado na tabela 5, que também contém o valor compensado (aumento de 5% do valor base) em caso de futuro aumento no preço dos componentes, e o valor de venda (valor compensado mais 10%) considerando o lucro que deve ser obtido com a venda do produto. Como pode ser observado, o valor de revenda utilizando componentes comprados nacionalmente possui valor de venda abaixo dos R\$200 reais (e de lojas internacionais quase um terço desse valor), que o torna mais barato que computadores convencionais utilizados em bibliotecas para empréstimo/devolução de livros, permitindo implantação de vários desses dispositivos a que esta monografia descreve no mesmo ambiente pelo preço de apenas 1 computador, e realocando os colaboradores da biblioteca para outras funções.

Tabela 5 - Preços Totalizados do Componentes Eletrônicos

Origem	Valor Base	Valor Compensado	Valor de Venda
Nacional	R\$ 142,67	R\$ 149,81	R\$ 164,79
Internacional	R\$ 47,84	R\$ 50,24	R\$ 55,26

Fonte: Autoria Própria

4.2. Gasto Energético

Como mencionado no capítulo anterior, é utilizado uma fonte de tensão de corrente contínua de 6V para alimentar os componentes, e com o auxílio de um multímetro, foi medida a corrente elétrica de entrada do dispositivo. Na tabela 6 pode ser visto a corrente elétrica mínima, média e máxima medidas em cinco momentos diferentes do sistema.

Tabela 6 - Corrente Elétrica Medida

Momento	Máxima	Média	Mínima
Iniciando Sistema	180mA	160mA	90mA
Esperando Aproximar Identificação	112mA	160mA	89mA
Publicação MQTT /Esperando Resposta	116mA	100mA	98mA
Esperando Aproximar Livro	110mA	95mA	90mA
Publicação MQTT /Esperando Resposta	112mA	100mA	98mA

Fonte: Autoria Própria

Embora os valores de mínima e máxima estejam bem próximos da média, durante a inicialização é possível ver que a corrente possui valor mínimo e máximo mais distante da média. Isso se deve ao fato de durante a inicialização do módulo Wi-Fi embutido no ESP32, é necessária uma maior quantidade de energia, assim elevando o valor da média e alcançando valor máximo bem alto.

Para saber o consumo médio de energia, foi calculada a média aritmética dos valores médios medidos, assim obtendo um valor de corrente elétrica média. Embora o tempo de inicialização do sistema seja bem curto e possa ser desconsiderado, para enfatizar o baixo consumo energético do protótipo ele será mantido para aumentar o valor da média aritmética. Com isso, é calculado que a corrente elétrica média utilizada ao longo do tempo é de 110mA, de forma que a potência elétrica total seja de:

$$P = V * I = 6V * 0.110A = 0.66W \quad (4)$$

Sabendo a potência elétrica, é possível calcular a quantidade de kilowatt-hora (KWh) utilizada pelo protótipo em um mês:

$$CE = \frac{P * 24 * 30}{1000} = \frac{0.66 * 24 * 30}{1000} = 0.4752KWh \quad (5)$$

Sabendo a quantidade de KWh utilizada durante o mês e assumindo que seu preço é de R\$2,11, o gasto mensal é de apenas R\$1,00, assim possuindo um gasto energético mensal insignificante comparado com um computador.

4.3. Eficiência

Em relação à eficiência do protótipo, foram realizados dois testes, o primeiro com o intuito de medir quanto tempo leva para que o dispositivo se conecte em uma rede WI-Fi e se conecte em um *broker* MQTT. Com o auxílio de um cronômetro foi medido o tempo para realizar essa conexão, como pode ser encontrado na tabela 7. O que pode ser visto nessa medição é que o protótipo gasta um tempo relativamente pequeno para iniciar, permitindo verificar se não houve problemas ao inicializar rapidamente, e em caso de reinicialização do sistema, não haverá um grande impacto no ambiente que o estará utilizando.

Tabela 7 - Tempo de Empréstimo de Livros

	Rede Doméstica	Rede do Celular
1ª Medição	16,48s	22,15s
2ª Medição	17,88s	22,00s
3ª Medição	15,95s	17,23s
4ª Medição	17,79s	21,68s
5ª Medição	15,92s	21,56s
Média	16,81s	20,93s

Fonte: Autoria Própria

O segundo teste foi feito realizando 10 sessões com 10 autenticações de usuários, cada um deles realizando o empréstimo de 3 livros. Como descrito no capítulo anterior, esse teste foi realizado utilizando um sistema simples, em que o usuário se autentica e quando aproxima a *tag* do livro do leitor RFID destinado aos

livros, será feito o empréstimo do livro associado a *tag*, e quando aproximado novamente será devolvido.

O tempo medido nesse teste utilizando um cronômetro foi de 6 minutos e 40 segundos, tendo uma média de 40 segundos para cada sessão, o que significa que em uma escola, se uma turma de 40 alunos tivesse que realizar empréstimo de 3 livros cada um, seria necessário 26 minutos e 40 segundos, o que não é tanto tempo, já que serão retirados 120 livros. Já em um teste realizado na biblioteca Poeta Zé da Luz no IFPB de Campina Grande, o tempo para fazer o empréstimo de 3 livros foi de 51 segundos, 11 segundos a mais do que o registrado pelo protótipo. Esse tempo foi calculado a partir de quando foi entregue os livros ao bibliotecário, e finalizado quando foram devolvidos. É importante mencionar que para esse empréstimo é necessário informar o CPF do usuário e uma senha da biblioteca, que serão digitados mais rápido por algumas pessoas e mais devagar por outras.

Embora a diferença de tempo não seja tão grande, na situação mencionada acima de 40 alunos recebendo 3 livros cada, seriam necessários 34 minutos para encerrar essas sessões no modelo atual da biblioteca, um aumento de 27% em relação ao protótipo. Além disso, como falado anteriormente, devido ao baixo custo do dispositivo, seria possível ter vários deles no mesmo ambiente por um preço acessível, acelerando ainda mais o processo de empréstimo e devolução.

Com o dispositivo e o sistema WEB utilizando redes diferentes, como falado no capítulo anterior, o tempo médio de cada sessão com aluguel de 3 livros é de 37 segundos, alguns segundos a menos que o teste utilizando a mesma rede. E para uma turma de 40 alunos, o tempo de empréstimo diminuiria para 24 minutos e 40 segundos, uma diminuição de 28% em relação ao modelo atual da biblioteca.

Em relação ao processo de devolução, como foi falado na metodologia, ele possui tempo semelhante ao de empréstimo, pois os processos são semelhantes, mas no caso da biblioteca do *campus* Campina Grande do IFPB, não é necessário haver autenticação para devolver os livros, tornando o processo mais rápido; nesse caso, se for necessário o tópico MQTT que busca o status do livro pode ser usado para fazer a devolução dos livros sem autenticação, reduzindo o seu tempo.

5. CONCLUSÃO

O ponto chave deste trabalho é o desenvolvimento de um dispositivo a ser utilizado para automatizar o processo de empréstimo e devolução de livros de bibliotecas, exibindo informações sonoras e visuais para que o usuário final saiba o que está acontecendo no sistema, e acelerando esse processo que antes era feito por um funcionário. Ao cliente, deve-se proporcionar uma solução que permita alocar seus funcionários para outras áreas da biblioteca, e que seja mais barata, tanto na compra do produto quanto no gasto energético gerado por ele.

Pelo que foi analisado nos resultados, é possível concluir que os objetivos foram alcançados, com a criação de um dispositivo que pode acelerar o processo de empréstimo e devolução de livros, possuindo baixo custo de compra e de uso, permitindo a aquisição de vários deles pelo preço de um computador e assim atendendo vários usuários ao mesmo tempo.

Embora os objetivos tenham sido alcançados, o protótipo possui algumas limitações. Uma delas é a necessidade de um sistema intermediário para realizar a comunicação entre o dispositivo e o sistema da biblioteca, sendo de responsabilidade dos desenvolvedores do *software* da biblioteca desenvolver esse sistema intermediário. A utilização do display LCD também traz alguns problemas ao dispositivo, pois ele exibe apenas duas linhas com 16 caracteres cada. Se for preciso exibir o nome de uma pessoa ou de um livro muito grande, esse nome não caberia no display, e caso fosse implementado um deslizamento de texto, em que os caracteres mais à direita iriam se movendo para a esquerda, atrasaria o tempo do empréstimo; se não fosse necessário exibir informações no display, o tempo de empréstimo seria reduzido, pois elas têm que ficar tempo suficiente para que o usuário consiga ler-la. Além disso, devido ao leitor RFID para os livros operar a “alta frequência” (13,56 MHz), ela não consegue ler *tags* que operam em outras frequências, mas para livros de biblioteca, seria ideal a utilização de *tags* com frequência de operação mais alta, que suporta leituras a maiores distâncias, para que sejam aplicadas em outros sistemas, como o de mapeamento de bens patrimoniais.

O desenvolvimento do protótipo possibilitou o aprendizado na prática do desenvolvimento de sistemas embarcados que devem se comunicar utilizando redes sem fio e que utilizem sistemas operacionais para executar mais de uma tarefa ao

mesmo tempo, no mesmo núcleo computacional e em mais de um, já que o ESP32 possui dois núcleos. Também sendo necessário estudar qual seria a arquitetura do software utilizando a linguagem C, de forma que fosse mais modular e não tudo condensado em um mesmo arquivo. Com tudo isso resultando no amadurecimento do aprendizado em um ramo da tecnologia que é a internet das coisas e na experiência de buscar novos conhecimentos utilizando documentações e *chatbots* a base de inteligência artificial, logo, mesmo com as limitações mencionadas acima do projeto, seu desenvolvimento alcançou o propósito de expandir o conhecimento na área de tecnologia.

6. TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, tem-se o aprimoramento do protótipo, utilizando um display LCD maior, para exibir mais informações e resolvendo uma das limitações mencionadas em relação ao tempo. Também trocando os leitores RFIDs de identificação e livros para que o primeiro tenha suporte com comunicação NFC (*Near Field Communication*) com *smartphones*, retirando a necessidade da utilização de cartões de identificação, e o segundo leitor consiga ler *tags* que operam a frequências maiores.

Também fica como sugestão o desenvolvimento de outros sistemas para integrar ao que foi desenvolvido, sendo adotados em bibliotecas que pretendem digitalizar sua infraestrutura e que porventura necessitem de um sistema completo para seu ambiente. Esses sistemas seriam aplicativos WEB e *Mobile* que permitem que a empresa e seus funcionários possam realizar as tarefas de uma biblioteca e que permita o cliente receber notificações, reservar livros, ver histórico, livros emprestados, entre outros.

REFERÊNCIAS

ABOBIJA. **Esp-idf-rc522**. 2023. Disponível em: <https://github.com/abobija/esp-idf-rc522>. Acesso em: 6 nov. 2023.

ASHTON, Kevin. **That 'Internet of Things' Thing**: in the real world, things matter more than ideas. 2009. Disponível em: <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>. Acesso em: 20 ago. 2023.

P., Haripriya A.; K., Kulothungan. Secure-MQTT: an efficient fuzzy logic-based approach to detect dos attack in mqtt protocol for internet of things. **Eurasip Journal On Wireless Communications And Networking**, [S.L.], v. 2019, n. 1, p. 1-15, 5 abr. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s13638-019-1402-8>.

DAS, D.; CHATTERJEE, P. Library Automation: An Overview. *International Journal of Research in Library Science (IJRLS)*, v. 1, n. 1, p. 1-7, 2015

DINCULEANĂ, Dan; CHENG, Xiaochun. Vulnerabilities and Limitations of MQTT Protocol Used between IoT Devices. **Applied Sciences**, [S.L.], v. 9, n. 5, p. 848, 27 fev. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app9050848>.

EDWARDS, Eo; ORUKPE, Pe. Development of a RFID Based Library Management System and User Access Control. *Nigerian Journal Of Technology*, [S.L.], v. 33, n. 4, p. 574, 24 set. 2014. African Journals Online (AJOL). <http://dx.doi.org/10.4314/njt.v33i4.19>

HWANG, Yoon-Min; KIM, Moon Gyu; RHO, Jae-Jeung. Understanding Internet of Things (IoT) diffusion. **Information Development**, [S.L.], v. 32, n. 4, p. 969-985, 9 jul. 2016. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0266666915578201>.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. **ITU Internet Reports: the Internet of Things**. 7. ed. Geneva, 2005. Disponível em: <https://www.itu.int/net/wsis/tunis/newsroom/stats/The-Internet-of-Things-2005.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2023.

JONES, Erick C.; CHUNG, Christopher A.. **RFID in Logistics**: a practical introduction. Nova York: Crc Press, 2007. <http://dx.doi.org/10.1201/9781420009361>.

KARNA, Nyoman; PRATAMA, Donny; RAMZANI, Muhammad. Self Service System for Library Automation: case study at telkom university open library. **2019 International Conference On Information And Communications Technology (Icoiact)**, [S.L.], p. 689-693, jul. 2019. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icoiact46704.2019.8938439>.

KHAN, Rafiullah et al. Future Internet: the internet of things architecture, possible applications and key challenges. 2012 10Th International Conference On Frontiers Of Information Technology, [S.L.], p. 257-260, dez. 2012. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/fit.2012.53>.

MADAKAM, Somayya; RAMASWAMY, R.; TRIPATHI, Siddharth. Internet of Things (IoT): a literature review. **Journal Of Computer And Communications**, [S.L.], v. 03, n. 05, p. 164-173, 2015. Scientific Research Publishing, Inc.. <http://dx.doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>.

MARQUES, A. M. R.; PRUDÊNCIO, R. B. C. Automação: a inserção da biblioteca na tecnologia da informação. *Biblionline*, v. 5, n. 1/2, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.11959/brapci/16516>. Acesso em: 16 ago. 2023.

MAXSYDNEY. **ESP32-HD44780**. 2019. Disponível em: <https://github.com/maxsydney/ESP32-HD44780>. Acesso em: 6 nov. 2023.

MICHAELIS. Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/> Acesso em: 17 de agosto de 2023

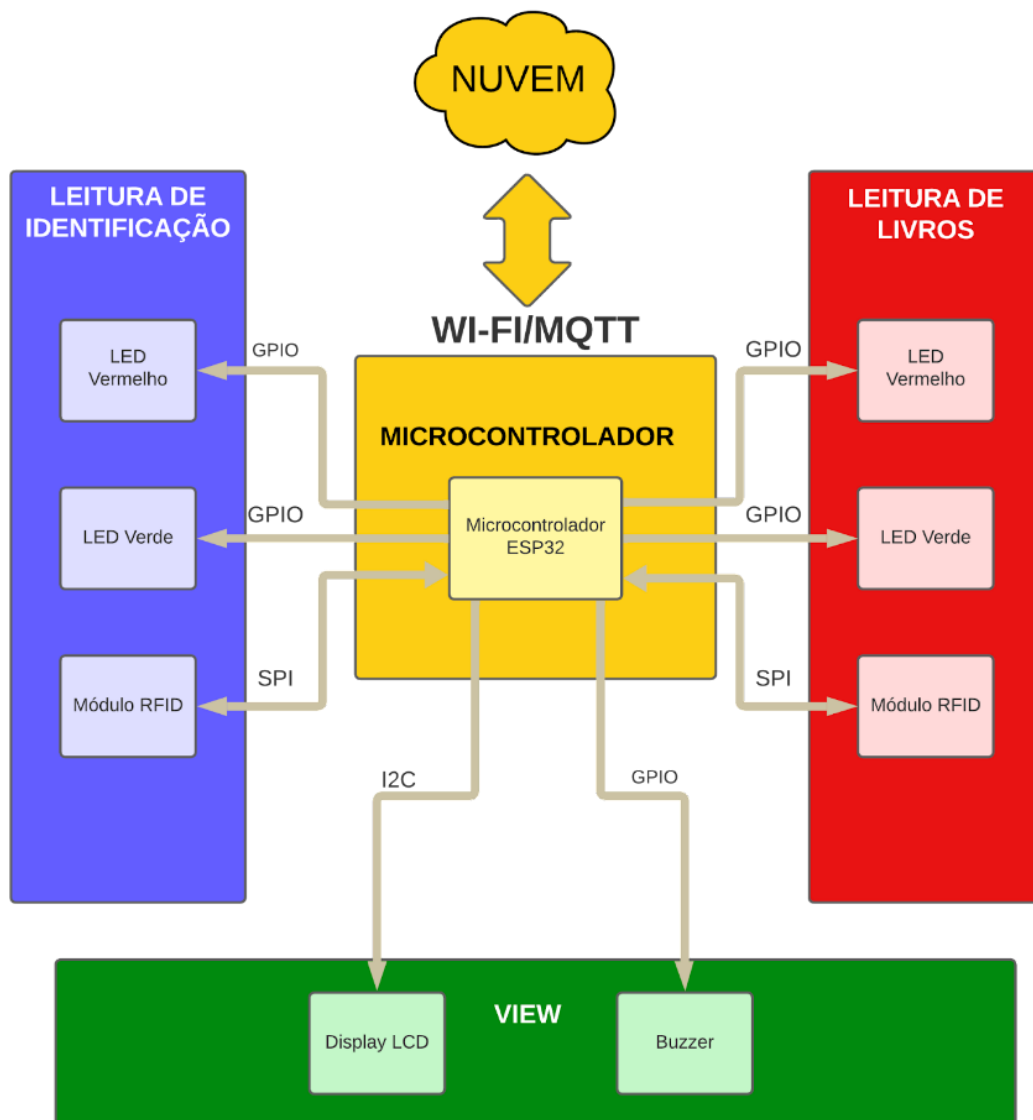
ORACLE. **O que é IoT?** Disponível em: <https://www.oracle.com/br/internet-of-things/what-is-iot/>. Acesso em: 4 nov. 2023.

RYAN, Johnny. **A HISTORY OF THE INTERNET AND THE DIGITAL FUTURE**. Londres: Beaktion Books, 2010.


SHEN, Guicheng; LIU, Bingwu. The visions, technologies, applications and security issues of Internet of Things. **2011 International Conference On E-Business And E-Government (Icee)**, [S.L.], p. 1-4, maio 2011. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icebeg.2011.5881892>.

U.FAROOQ, M. *et al.* A Review on Internet of Things (IoT). **International Journal Of Computer Applications**, [S.L.], v. 113, n. 1, p. 1-7, 18 mar. 2015. Foundation of Computer Science. <http://dx.doi.org/10.5120/19787-1571>.

APÊNDICE A – Arquitetura do Sistema



Fonte: Autoria Própria

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus Campina Grande
	R. Tranquílino Coelho Lemos, 671, Dinamérica, CEP 58432-300, Campina Grande (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0003-37 - Telefone: (83) 2102.6200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

TCC

Assunto:	TCC
Assinado por:	Ayrton Medeiros
Tipo do Documento:	Anexo
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Ayrton Dantas de Medeiros, ALUNO (201811250021) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO - CAMPINA GRANDE**, em 27/01/2024 15:33:09.

Este documento foi armazenado no SUAP em 27/01/2024. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1064169
Código de Autenticação: 413dfe8d1f

