

**Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Amazonas
Campus Manaus Distrito Industrial - Bacharel em Engenharia de
Controle e Automação**

Hugo de Oliveira Máximo

**Desenvolvimento de um sistema para monitoramento e controle do
consumo de energia elétrica em ambiente residencial**

MANAUS

2021

Hugo de Oliveira Máximo

**Desenvolvimento de um sistema para monitoramento e controle do
consumo de energia elétrica em ambiente residencial**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Controle e Automação do Campus Manaus Distrito Industrial, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (CMDI/IFAM), como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Esp. Juan Gabriel de Albuquerque Ramos

MANAUS

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M464d Máximo, Hugo de Oliveira.

Desenvolvimento de um sistema para monitoramento e controle do consumo de energia elétrica em ambiente residencial. / Hugo de Oliveira Máximo. – Manaus, 2022.

62f.: il. color

TCC (Graduação em engenharia de controle e automação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Distrito Industrial, 2022.

Orientador: Prof. Esp. Juan Gabriel de Albuquerque Ramos

1. Monitoramento. 2. Internet das coisas. 3. Consumo elétrico. 4. Eficiência energética. I. Ramos, Juan Gabriel de Albuquerque (orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 629.8

RESUMO

Este trabalho consiste no estudo de um sistema automatizado de controle e monitoramento visando garantir o monitoramento de grandezas elétricas. O sistema utiliza informações provenientes de sensores de corrente e de tensão. A interface do sistema permite a visualização dos dados de consumo. Após análises feitas por meio do protótipo foram encontrados resultados satisfatórios para o monitoramento de grandezas elétricas.

PALAVRAS-CHAVE: Monitoramento; Internet das coisas; Consumo elétrico; Eficiência energética;

ABSTRACT

This work consists of the study of an automated control and monitoring system to ensure the monitoring of electrical quantities. The system uses information from current and voltage sensors. The system interface allows the visualization of consumption data. After analyzes carried out using the prototype, satisfactory results were found for monitoring electrical quantities.

KEYWORDS: Monitoring; Internet of Things; Electric consumption; energy efficiency;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama básico de um sistema monitorando o ambiente.	11
Figura 2 - Lógica de um sistema embarcado microprocessado.	12
Figura 3 - Placa de desenvolvimento Raspberry Pi e Arduino Uno.	13
Figura 4 - Dois exemplos de aplicação de um sensor Hall convencional.	14
Figura 5 - Atuador pneumático linear.	15
Figura 6 - Diagrama de funcionamento de um transdutor.	16
Figura 7 - Diagrama esquemático de um sistema de telemedição.	17
Figura 8 - Exemplo de uma arquitetura IoT em uma residência.	20
Figura 9 - Diagrama de uso de um gateway em IoT.	21
Figura 10 - Arquitetura básica de uma aplicação web.	22
Figura 11 - Componentes de um sistema de banco de dados.	24
Figura 12 - Microcontrolador ESP32-D0WDQ6.	29
Figura 13 - Placa de desenvolvimento ESP32.	30
Figura 14 - Diagrama de blocos funcional do ESP32.	34
Figura 15 - Módulo Relé de dois canais.	35
Figura 16 - Esquemático do uso típico do ACS758.	36
Figura 17 - Módulo sensor de corrente ACS758.	36
Figura 18 - Módulo sensor de tensão ZMPT101B.	37
Figura 19 - LM2596.	38
Figura 20 - Uso típico do LM2596.	38
Figura 21 - Módulo de alimentação LM2596.	39
Figura 22 - Computador desktop e Notebook respectivamente.	39
Figura 23 - Roteador <i>Wi-Fi</i> .	40
Figura 24 - Arquitetura do sistema.	41
Figura 25 - Arquitetura do dispositivo.	42
Figura 26 - Fluxograma de funcionamento do dispositivo.	43
Figura 27 - Esquemático de montagem das conexões.	45

Figura 28 - Tela inicial da IDE PlatformIO.	46
Figura 29 - Estrutura do pacote de dados.	46
Figura 30 - Fluxo de telas da aplicação.	47
Figura 31 - Tela inicial da aplicação.	49
Figura 32 - Tela de detalhes do dispositivo da aplicação.	50
Figura 33 - Tela de cadastro de dispositivo da aplicação.	50
Figura 34 - Tela de edição de dispositivos da aplicação.	51
Figura 35 - Tela do banco de dados da aplicação.	51
Figura 36 - Estrutura da tabela <i>'devices'</i> .	52
Figura 37 - Estrutura da tabela <i>'energydata'</i> .	52
Figura 38 - Dados enviados pelo dispositivo cadastrado no banco de dados.	54
Figura 39 - Dados sendo enviados pelo dispositivo.	54
Figura 40 - Consumo mensal, valor gasto e valor da tarifa.	55
Figura 41 - Gráfico de consumo do mês.	55
Figura 42 - Gráfico de tensão média, em destaque os valores de tensão.	55
Figura 43 - Gráfico de corrente média, em destaque os valores de corrente.	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 SISTEMAS EMBARCADOS	11
2.1.1 Placas de desenvolvimento	13
2.1.2 Sensores	14
2.1.2.1 <i>Sensor de efeito hall</i>	14
2.1.3 Atuadores	15
2.1.4 Transdutores	16
2.2 TELEMETRIA	17
2.2.2 Consumo energético	17
2.3 IoT - INTERNET DAS COISAS	19
2.3.1 Gateway	21
2.3.2 Aplicação WEB	22
2.3.2.1 <i>Back-end</i>	23
2.3.2.2 <i>Front-end</i>	24
2.3.2.3 <i>Banco de dados</i>	24
2.3.2.4 <i>Requisições</i>	25
2.4 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	25
2.5 CÁLCULO DE CONSUMO ELÉTRICO	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 METODOLOGIA	29
3.2 COMPONENTES	29
3.2.1 Esp32	30
3.2.1.1 <i>Recursos do ESP32</i>	31
3.2.1.1.1 <i>Solução Ultra-Low-Power</i>	31

3.2.1.1.2 Solução Completa de Integração	32
3.2.1.2 Principais recursos de Wi-Fi	32
3.2.1.3 Principais recursos Bluetooth	32
3.2.1.4 Microncontrolador e recursos avançados	33
3.2.1.4.1 CPU e memória	33
3.2.1.4.2 Clocks e Timers	34
3.2.1.4.3 Interfaces avançadas de periféricos	34
3.2.1.4.4 Segurança	35
3.2.1.5 Diagrama de blocos	35
3.2.2 Módulo Relé	35
3.2.3 Sensor de corrente ACS758	36
3.2.4 Sensor de tensão ZMPT101B	37
3.2.5 Módulo de alimentação LM2596	38
3.2.6 Computador de uso geral	40
3.2.7 Roteador Wi-Fi	40
3.3 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA	41
3.4 FUNCIONAMENTO DO DISPOSITIVO	42
3.4.1 Descrição do <i>hardware</i>	45
3.4.2 Descrição do <i>firmware</i>	46
3.5 FUNCIONAMENTO DA APLICAÇÃO WEB	48
3.5.1 Descrição do <i>back-end</i>	49
3.5.2 Descrição do <i>front-end</i>	49
3.5.3 Descrição do banco de dados	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
6. REFERÊNCIAS	59

1. INTRODUÇÃO

Sistema embarcado é um sistema baseado em microprocessador, combinação de hardware e software de computador e talvez peças mecânicas adicionais ou outras partes(BARR et al., 2021), que é construído para controlar uma função ou gama de funções. Projetado para realizar uma tarefa específica, embora com escolhas e opções diferentes(HEATH et al., 2003).

A telemetria é a base do conceito de Internet das Coisas, realizando o controle remoto de dispositivos como termostatos inteligentes, iluminação automatizada, máquinas autônomas de produção industrial, entre muitos outros. Com o barateamento de sensores para conectar dispositivos, sistemas de controle para *IoT* avançam a passos largos(TEBALDI, 2019).

A Internet das Coisas ou, do inglês, *Internet of Things* emergiu dos avanços de várias áreas como sistemas embarcados, microeletrônica, comunicação e sensoriamento, proporcionando aos dispositivos, capacidade de se conectarem à Internet. A conexão com a internet viabiliza o controle de forma remota de dispositivos e permite que os próprios sejam acessados como provedores de serviços(SANTOS et al., 2021).

O monitoramento do consumo de energia elétrica oferece um meio que possibilita o uso inteligente de dados para uma gestão mais eficiente. O Acesso em tempo real aos dados de consumo dos dispositivos monitorados por meio de um layout interativo, pode facilitar a interpretação dos dados e a tomada de decisão do usuário. Pode ser usado para identificação de desvios do consumo em relação às curvas típicas para diferentes períodos, medições segmentadas por setores ou equipamentos, permitindo a detecção de desperdício de energia de maneira mais específica, acompanhamento em tempo real do valor gasto de forma diária, mensal ou anual, entre outros benefícios(GIRARDI et al., 2019).

De acordo a Associação Brasileira de Empresas de Serviço de Conservação de Energia (ABESCO), no Brasil cerca de 50 mil gigawatts/hora por ano são gastos por falta de eficiência. Isso equivale à capacidade plena da usina de Itaipu e uma economia de R\$12 bilhões se levarmos em consideração a tarifa cobrada em 2014(ROSA et al., 2017).

Nesse contexto, a pergunta problema que norteou a pesquisa foi: Utilizando os conceitos de sistemas embarcados, é possível que com um sistema que auxilie no monitoramento do consumo de energia elétrica, viabilize uma gestão energética mais inteligente no ambiente residencial?

Partindo do pressuposto que o desperdício de energia elétrica em ambiente residencial podem ser causados por falta de informação de consumo do dispositivo, assim como o mau uso dos mesmos, fazendo com que consumam mais energia do que o necessário. Com o auxílio de uma ferramenta, a qual mostra informações que facilitam a gestão energética, é possível conjecturar que o desperdício de energia elétrica seja controlado.

Nesse contexto, o objetivo geral deste trabalho é desenvolver um sistema para controle e monitoramento de consumo da energia elétrica em ambiente residencial.

Para a obtenção de resultados satisfatórios foi listado alguns objetivos específicos:

1. Estudar bibliografia de sistemas embarcados, internet das coisas e telemetria;
2. Estudar componentes os quais serão utilizados para o desenvolvimento do dispositivo;
3. Desenvolver dispositivo o qual irá fazer o sensoriamento de grandezas para o cálculo de consumo;
4. Realizar testes de medição e acionamento do dispositivo;
5. Analisar os resultados dos testes com o protótipo;

Segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico(2021), o Brasil enfrenta a pior estiagem dos últimos 91 anos, isso acaba causando uma crise hídrica que afeta a geração de energia no país, tendo em vista que a principal forma de geração de energia são as usinas hidroelétricas, sendo a mesma correspondente por mais de 64% da matriz energética nacional(BEN, 2021).

Para a preservação da água nos reservatórios das hidrelétricas, a alternativa é acionar as usinas termelétricas, as quais são mais caras(SILVEIRA, 2021), conseqüentemente fazendo com que a tarifa energética sofra acréscimos.

Ao mostrar neste trabalho que por meio de um dispositivo, no qual faz aquisição de dados referentes a energia elétrica, de modo a possibilitar a gestão

elétrica, fazendo que seja possível utilizar a energia elétrica de modo mais eficiente, será reduzido os gastos, fazendo com que esta pesquisa se torne relevante e necessária.

Os referenciais teóricos utilizados respeitam as ideias que perpassam pelos principais conceitos de sistemas embarcados, telemetria, internet das coisas e consumo de energia elétrica..

A metodologia segue as características pesquisa aplicada com a consequente pesquisa de campo.

Esperamos que esse trabalho possa ajudar na economia de energia elétrica em uma residência, fornecendo os dados de consumo para o usuário, fazendo com que o mesmo consiga gerir o consumo de energia elétrica de forma mais eficiente.

Este trabalho é organizado em 5 Capítulos, quais sejam: o capítulo 1, sendo a introdução, onde são apresentadas todas as características da pesquisa, tais como tema, delimitação do tema, pergunta problema, hipóteses, justificativa e objetivos.

No capítulo 2 será apresentado o referencial teórico do tema proposto.

O capítulo 3 consiste na elaboração dos materiais e métodos implementados, enfatizando as especificações do projeto como o funcionamento do sistema, funcionamento do dispositivo, descrição do *hardware*, descrição do *firmware*, funcionamento da aplicação *web*, descrição do *back-end*, descrição do *front-end* e descrição do banco de dados.

A apresentação dos resultados é vista no capítulo 4.

No capítulo 5, o trabalho é concluído sendo discutida sua contribuição visando melhorias para trabalhos futuros.

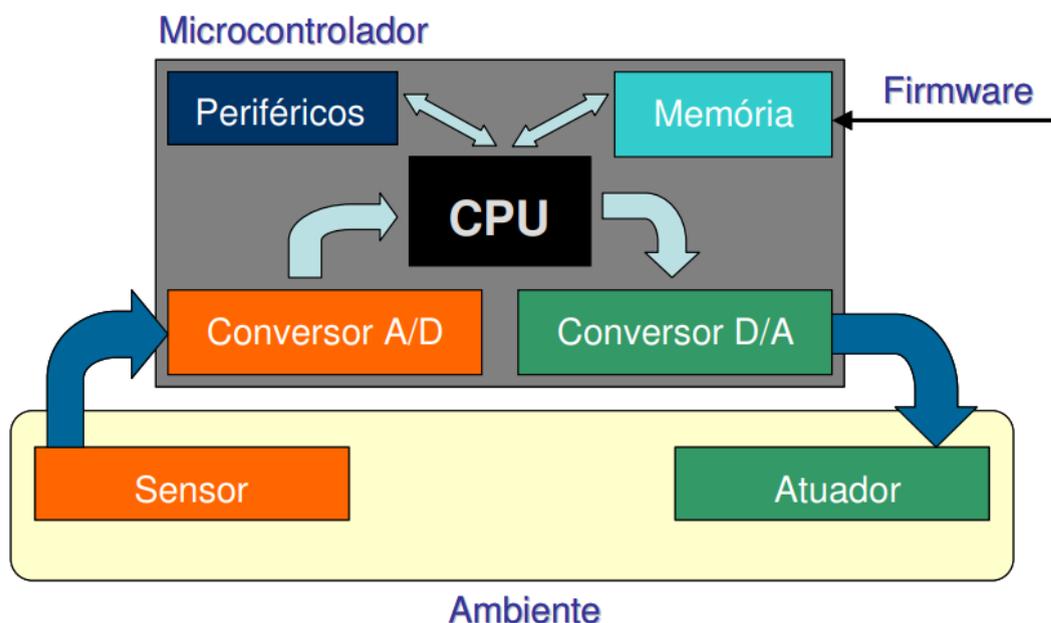
2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo consiste em apresentar toda a base de informação teórica para uma melhor compreensão do trabalho. São apresentadas as tecnologias envolvidas que são usadas no sistema.

2.1 SISTEMAS EMBARCADOS

Um sistema é classificado como embarcado quando este é dedicado a uma única tarefa e interage continuamente com o ambiente a sua volta por meio de sensores e atuadores (BALL, 2005). Por exigir uma interação contínua com o ambiente, este tipo de sistema requer do projetista um conhecimento em programação, sistemas digitais, noções de controle de processos, sistemas de tempo real, tecnologias de aquisição de dados (conversão analógico/digital e sensores) e de atuadores (conversão digital/analógico, acionamento eletromecânico e PWM), e cuidados especiais na eficiência de estruturação do projeto e do código produzido(CHASE, 2007).

Figura 1 - Diagrama básico de um sistema embarcado dotado de um microcontrolador monitorando o ambiente.

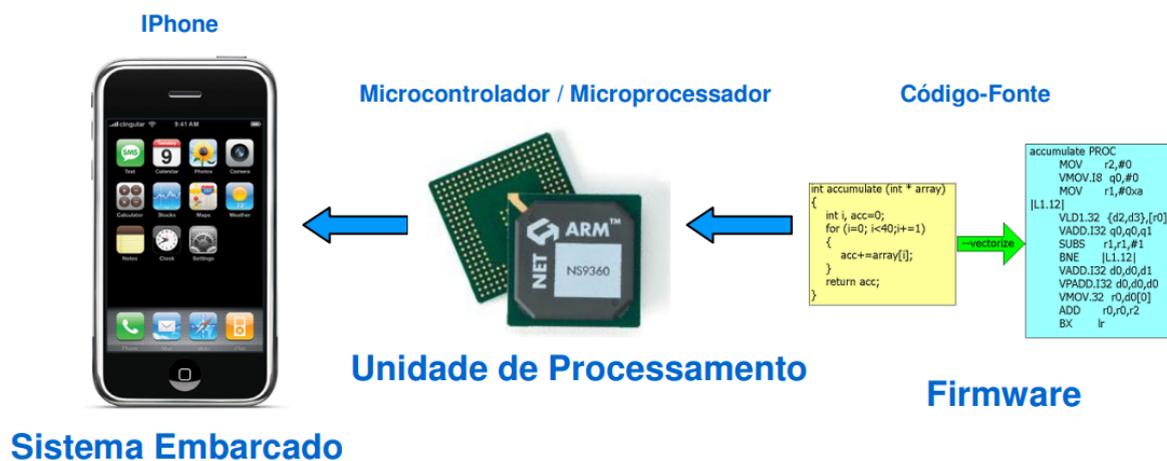


Fonte: CHASE(2007).

Diferente dos computadores, que rodam sistemas operacionais como base para que outros aplicativos diversos sejam instalados e utilizados (cada um para uma

aplicação diferente), os sistemas embarcados são construídos para executar apenas uma tarefa pré-determinada. Muitas vezes não tem flexibilidade (de software e de hardware) que os permita fazer outra tarefa qualquer que não sejam aquelas para as quais foram desenhados e desenvolvidos. A única flexibilidade permitida e desejada é no caso de um upgrade de novas versões, fazendo com que o sistema possa ser re-programado, geralmente com correções ou novas funções que o tornam melhores. Mas isto sempre é feito pelos fabricantes e quase nunca pelos usuários finais(CUNHA, 2021).

Figura 2 - Lógica de um sistema embarcado microprocessado.



Fonte: CHASE(2007).

Todo sistema embarcado é composto por uma unidade de processamento, que é um circuito integrado, fixado a uma placa de circuito impresso. Possuem uma capacidade de processamento de informações vinda de um software que está sendo processado internamente nessa unidade, logo o software está embarcado na unidade de processamento. Todo software embarcado é classificado de firmware (BALL, 2005).

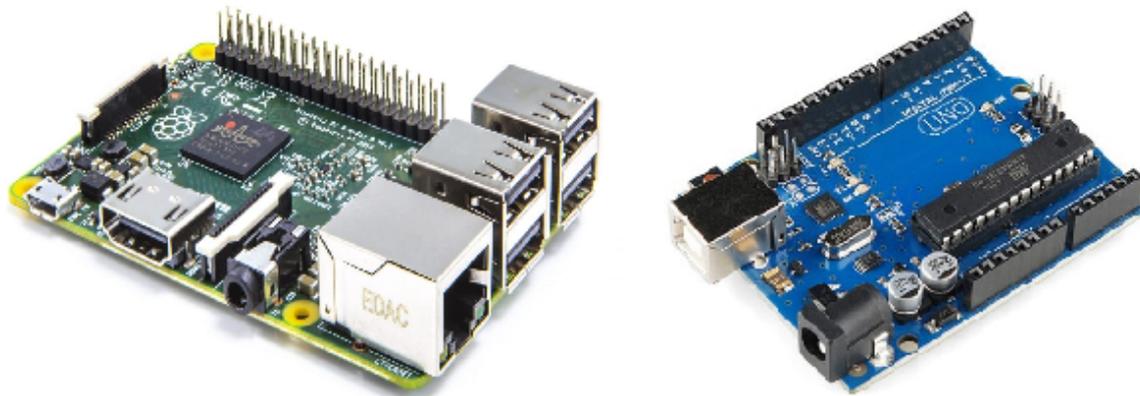
2.1.1 Placas de desenvolvimento

As placas de desenvolvimento vieram para trazer novas possibilidades para os desenvolvedores de tecnologia, sejam elas de pequeno, médio ou grande porte. A possibilidade de inovação pode ser um gancho para impulsionar ainda mais o crescimento tecnológico em todo mundo (MADEIRA, 2018).

Hoje em dia a variedade das placas de desenvolvimento ganhou muito

mercado, principalmente quem desenvolve tecnologia. Quase que semanalmente há o lançamento de placas novas no mercado, muitas geralmente usam a mesma arquitetura de microcontrolador/microprocessador e focam em uma aplicação específica. Por outro lado, os fabricantes fornecem as suas EVB que permitem explorar recursos de uma determinada plataforma, de uma forma fácil e rápida com foco em vender os seus circuitos integrados. (SOUZA, 2019).

Figura 3 - Placa de desenvolvimento Raspberry Pi e Arduino Uno.



Fonte: Embarcados(2021) e FilipeFlop(2021).

O conceito de indústria 4.0 traz consigo um conjunto de inovações tecnológicas referentes aos campos da automação e tecnologia da informação, que por sua vez, é aplicado em grande parte dos processos de manufatura industrial. Sendo assim, integrando as placas de desenvolvimento como as placas Arduino e as placas Raspberry com o conceito de IoT (Internet das coisas) é possível melhorar todos os processos industriais conferindo aumento de eficiência em diversas vertentes(MADEIRA, 2018).

2.1.2 Sensores

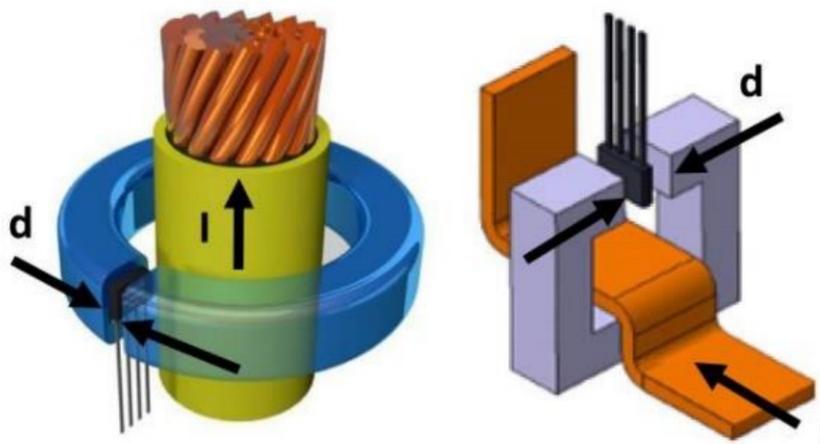
Um sensor é um dispositivo que responde a um estímulo físico ou químico de maneira específica, produzindo um sinal que pode ser transformado em outra grandeza física para fins de medição e/ou monitoramento. Desta forma, o sensor associado a um módulo de transformação do estímulo em uma grandeza pode ser definido como transdutor ou medidor, que converte um tipo de energia em outro, para fins de

medição(BALBINOT, 2011).

2.1.2.1 Sensor de efeito hall

Os sensores Halls convencionais são sensíveis ao campo magnético quando a incidência do vetor de campo está na direção perpendicular em relação à superfície do chip. De forma geral, esses sensores são usados em conjunto com um núcleo de material ferromagnético para que haja maior concentração do campo magnético e que o vetor de campo seja perpendicular à superfície do chip. Para isso o núcleo de material ferromagnético deve ser disposto em torno do fio ou trilha que conduz a corrente elétrica a ser medida, e em um espaçamento entreferro (*gap*) no núcleo concentra-se o fluxo do campo magnético. O sensor Hall deve ser acoplado neste mesmo dentro do entreferro (*gap*), que tem geralmente entre 2mm e 5mm de tamanho. A figura abaixo 7 mostra dois tipos de amperímetros com esses sensores(GONÇALVES, 2019).

Figura 4 - Dois exemplos de aplicação de um sensor Hall convencional.



Fonte: MELEXIS(2016).

Em favor desta aplicação com sensor Hall convencional há o aumento do ganho magnético no núcleo de material ferromagnético e a blindagem contra interferências eletromagnéticas externas (*cross-talk*). Esta aplicação é mais adequada para medição de correntes médias (de 10A a 100A) e correntes altas (de 100A a 1000A) (MALEXIS, 2016).

2.1.3 Atuadores

Um atuador é um componente de uma máquina responsável por mover e controlar um mecanismo ou sistema, por exemplo, abrindo uma válvula. O atuador requer um sinal de controle e uma fonte de energia. O sinal de controle é de energia relativamente baixa e pode ser tensão ou corrente elétrica, pressão pneumática ou de fluido hidráulico ou até mesmo energia humana. Sua principal fonte de energia pode ser uma corrente elétrica, pressão hidráulica ou pressão pneumática (NESBITT, 2011).

Figura 5 - Atuador pneumático linear.



Fonte: MASTER Tecnologia Industrial(2021).

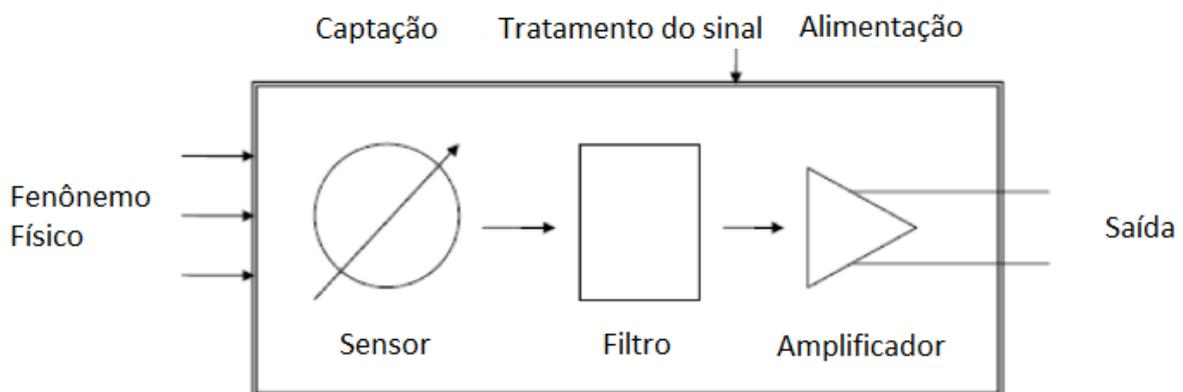
Um atuador é um mecanismo pelo qual um sistema de controle atua para realizar uma operação ou tarefa. O sistema de controle pode ser simples (um sistema mecânico ou eletrônico fixo), baseado em software (por exemplo, um driver de impressora, sistema de controle de robô), um humano ou qualquer outra entrada (THOMASNET, 2016).

Na engenharia, os atuadores são frequentemente usados como mecanismos para introduzir movimento ou para prender um objeto de modo a impedir o movimento. Na engenharia eletrônica, os atuadores são uma subdivisão dos transdutores. São dispositivos que transformam um sinal de entrada (principalmente um sinal elétrico) em alguma forma de movimento (SHABESTARI, 2019).

2.1.4 Transdutores

Na prática, o transdutor é um dispositivo que utiliza uma natureza de energia, que pode ser elétrica, mecânica, óptica, térmica, entre outros. Gerando assim um ou mais tipos de energia. Transdutores são geralmente utilizados para constituir sensores, estimuladores audiovisuais, etc. O uso em sensores é importantíssimo e seu objetivo é poder trabalhar com uma variável mais facilmente quantificada. Um exemplo é o tubo capilar interno de um termômetro de bulbo, que permite a expansão do mercúrio para aferir a temperatura desejada(FIGLIOLA, 2007).

Figura 6 - Diagrama de funcionamento de um transdutor.



Fonte: Introducción a la Automatización Industrial(2020).

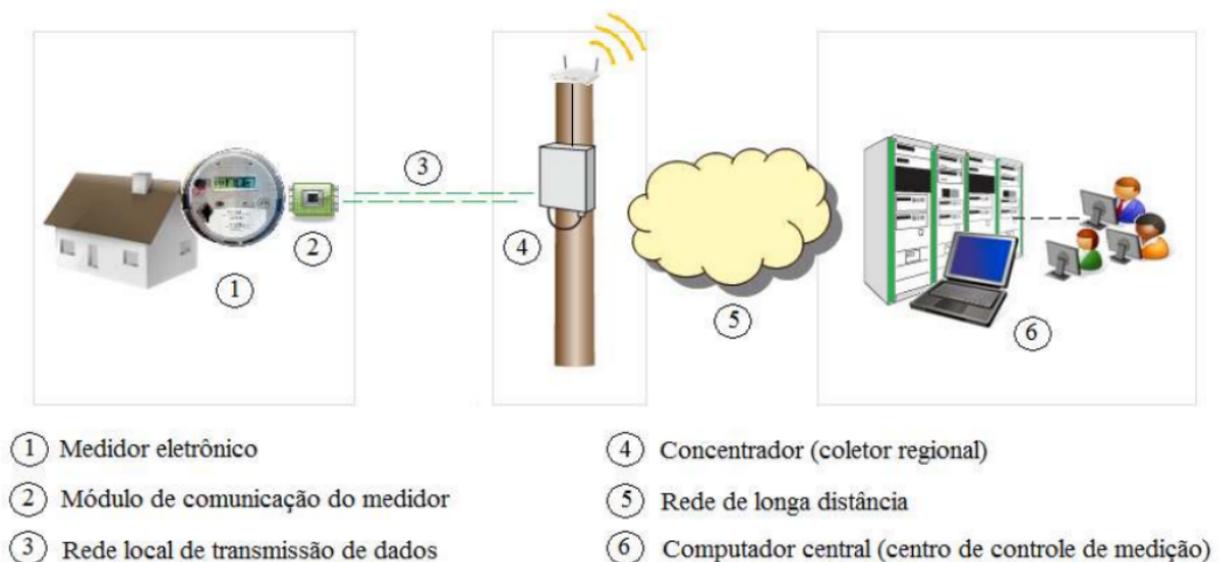
2.2 TELEMETRIA

A telemetria é a ciência que coleta dados de um local remoto e transmite as informações para um local conveniente a ser examinado e gravado através de comunicação sem fio. A palavra telemetria tem origem grega em que tele significa “remoto” e metria, “medida” (WEBSTER, 1999). O sistema de telemetria geralmente consiste na triangulação de sinais de satélite que estão interligados a uma estação central, capaz de transmitir grande quantidade de informações tanto no sentido das estações de satélite para o satélite central e da central para os diversos satélites (RIBEIRO, 1999). As principais áreas de aplicação da telemetria são: agricultura, eficiência energética, informática, internet das coisas (IoT) e logística. Dentro da logística, é muito utilizada para o monitoramento de empilhadeiras com o objetivo de aumentar a produtividade e pode trazer aumento da eficiência do consumo de combustível, uma vez que é possível estabelecer como as máquinas são operadas e a identificação de gargalos(LIMA, 2021).

2.2.2 Consumo energético

Conforme a figura 7, um sistema genérico de telemedição pode ser composto por 6 elementos (LAMIN, 2009): medidor eletrônico, módulo de comunicação do medidor, rede local, concentradores, rede de longa distância e computador central. É importante salientar que os sistemas variam em infraestrutura e configurações, assim, podem não ser exatamente iguais ao apresentado.

Figura 7 - Diagrama esquemático de um sistema de telemedição.



Fonte: LAMIN(2009).

A seguir, serão apresentadas as funções de cada um dos seis componentes do sistema apresentado(LAMIN, 2009):

1. Medidor eletrônico de energia: é um dispositivo ou equipamento capaz de mensurar o consumo de energia elétrica cuja unidade mais usada é kWh. O equipamento está presente na maioria das casas e habitações no mundo moderno.
2. Módulo de comunicação do medidor: dispositivo que pode estar externamente ou internamente ao medidor e capaz de transferir os dados mensurados através das vias de tráfego de dados. O medidor e o módulo de comunicação podem ter memória ou não. Caso não a tenha, os dados coletados podem ser enviados em tempos pré-programados para o coletor

intermediário ou podem ser enviados, através de redes de longas distâncias, para computadores centrais. Alguns módulos permitem ser acessados remotamente, possibilitando reconfigurações à distância.

3. Rede local de transmissão de dados: é o elo de interface do módulo de comunicação do medidor para os concentradores. Trata-se de uma rede fisicamente limitada para evitar perdas de dados devido à degradação de sinal por longas distâncias entre seus pontos. A determinação da distância máxima entre os pontos da rede depende da tecnologia utilizada. Com os avanços tecnológicos na área de comunicação, as soluções de transmissão de dados são várias e evoluem de forma acelerada. Sendo assim, não se pode classificar uma solução como ideal, mas deve-se buscar a mais adequada para cada situação, levando-se em consideração a disponibilidade e utilização das redes de comunicação locais, a localização (rural ou urbana), a extensão da rede, a densidade de unidades consumidoras, necessidade de comandos remotos, etc.

4. Concentrador (coletor regional): é um dispositivo eletrônico que possibilita o armazenamento e envio de dados provenientes do módulo de comunicação. Assim, o coletor é responsável por criar o elo entre a rede local e a rede de longa distância, levando os dados de medição para um computadores central onde serão tratados. Os concentradores podem ser classificados em dois tipos: concentrador primário e secundário. Este último realiza a função do módulo de comunicação do medidor e é responsável por agrupar os medidores, armazenar os dados de medição de cada consumidor e enviá-los ao concentrador primário que será o próprio concentrador (coletor regional).

5. Rede de longa distância: também conhecida como Internet ou WAN, Wide Area Network, são redes projetadas para permitir a transmissão de dados em longa distância, ou seja, envio e recebimento de dados entre computadores em escala mundial. Utilizadas em telemedição, permitem a comunicação entre concentradores e computadores centrais onde quer que eles estejam.

6. Computador central (centro de controle de medição): os dados de medição enviados através da WAN são armazenados e tratados em computadores usualmente localizados no centro de controle de medição. Este computador tem a função de receber e direcionar os dados de medição ao banco de dados das unidades consumidoras e, a depender do nível de funcionalidade, pode

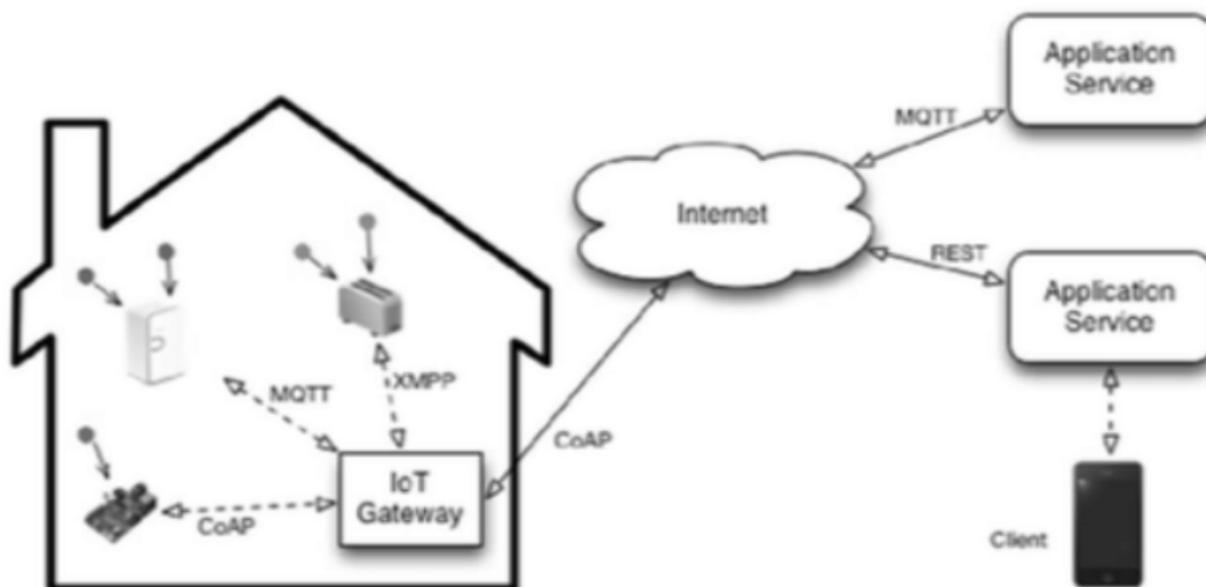
emitir relatórios sobre o consumo da energia, estado das redes, condições dos equipamentos etc.

2.3 IoT - INTERNET DAS COISAS

Internet das coisas é um conceito que se refere à interconexão digital de objetos cotidianos com a internet (ZANJIREH , 2015). O conceito 'Internet das coisas' foi proposto em 1999, por Kevin Ashton, no Laboratório de Auto-ID do MIT(ASHTON, 2009), onde se realizavam pesquisas no campo da identificação por radiofrequência em rede (RFID) e tecnologias de sensores. Atualmente, a expressão 'Internet das coisas' designa a conexão avançada de dispositivos, sistemas e de serviços. Ultrapassa o conceito tradicional M2M do máquina a máquina e abarca uma ampla variedade de protocolos, domínios e aplicações(HOLLER, 2014).

Em outras palavras, a internet das coisas nada mais é que uma rede de objetos físicos (veículos, prédios e outros dotados de tecnologia embarcada, sensores e conexão com a rede) capaz de reunir e de transmitir dados. É uma extensão da internet atual que possibilita que objetos do dia-a-dia, quaisquer que sejam mas que tenham capacidade computacional e de comunicação, se conectem à Internet. A conexão com a rede mundial de computadores possibilita, em primeiro lugar, controlar remotamente os objetos e, em segundo lugar, que os próprios objetos sejam usados como provedores de serviços. Essas novas capacidades dos objetos comuns abrem caminho a inúmeras possibilidades, tanto no âmbito acadêmico, comercial quanto no industrial, unindo-se a equipamentos eletrônicos e eletromecânicos de automação industrial. Todavia, tais possibilidades acarretam riscos e implicam grandes desafios técnicos e sociais(FIALHO, 2009).

Figura 8 - Exemplo de uma arquitetura IoT em uma residência.



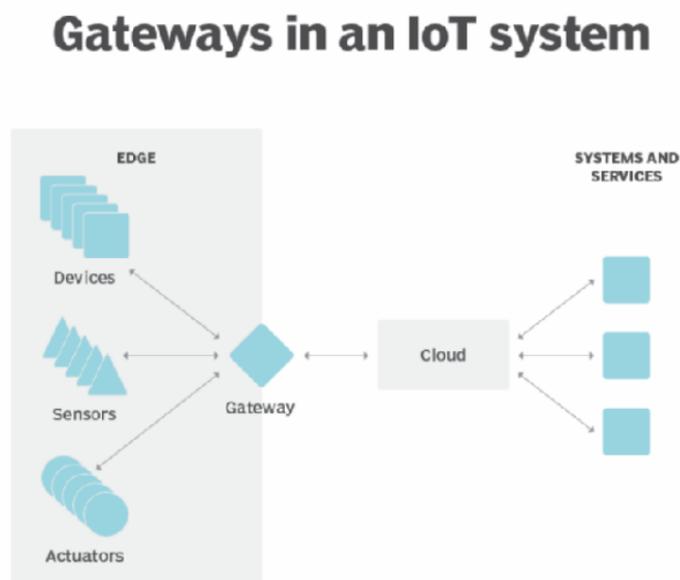
Fonte: OLIVEIRA(2017).

2.3.1 Gateway

Um gateway é um nó de rede usado em telecomunicações que conecta duas redes com diferentes protocolos de transmissão. Os gateways servem como um ponto de entrada e saída para uma rede, pois todos os dados devem passar ou se comunicar com o gateway antes de serem roteados. Na maioria das redes baseadas em IP, o único tráfego que não passa por pelo menos um gateway é o tráfego que flui entre nós no mesmo segmento de rede local (LAN)(LEWIS, 2021).

O termo gateway padrão ou gateway de rede também pode ser usado para descrever o mesmo conceito. O gateway é implementado na extremidade de uma rede e gerencia todos os dados que são direcionados interna ou externamente a partir dessa rede. Quando uma rede deseja se comunicar com outra, o pacote de dados é passado para o gateway e, em seguida, roteado para o destino por meio do caminho mais eficiente. Além de rotear os dados, um gateway também armazenará informações sobre os caminhos internos da rede do host e os caminhos de quaisquer redes adicionais que sejam encontradas(LEWIS, 2021).

Figura 9 - Diagrama de uso de um gateway em IoT.



Fonte: LEWIS(2021).

2.3.2 Aplicação **WEB**

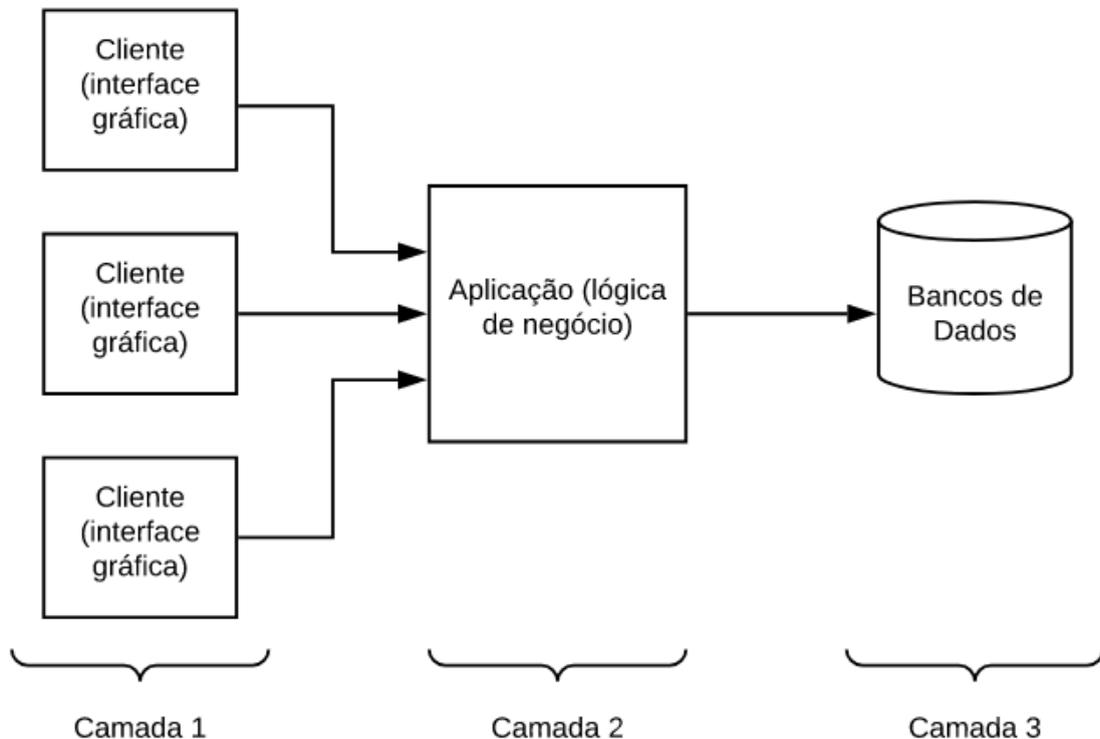
Os apps web são sistemas que rodam na internet. São como sistemas tradicionais que recebem uma entrada, processam informação e emitem uma saída. Contudo, eles são rodados e interpretados por um navegador. Por conta disso, envolvem um paradigma totalmente distinto de aplicações comuns. Esses softwares também são ecossistemas diferentes dos websites, uma vez que são mais completos e apresentam um dinamismo maior(TEGRA, 2020).

Para entender melhor as aplicações que rodam na internet, temos que ir mais a fundo no funcionamento da rede. Existem dois lados que conversam entre si: servidor e cliente. O lado servidor oferece arquivos e fornece a aplicação hospedada. Sua função principal é escutar requisições. Ao passo que o lado cliente envia requisições e recebe arquivos para baixar, o que o permite utilizar o sistema(TEGRA, 2020).

Em termos de desenvolvimento, os sistemas web envolvem três frentes: o front-end, o back-end e o banco de dados. O front-end é responsável pela apresentação ao usuário. Ele lida com linguagens como HTML, CSS e JavaScript a fim

de organizar a estrutura dos sites, a relação entre as páginas, bem como interações com o cliente(TEGRA, 2020).

Figura 10 - Arquitetura básica de uma aplicação web.



Fonte: VALENTE(2021).

2.3.2.1 Back-end

Back-end é toda a parte da programação voltada ao funcionamento interno de um software. Em outras palavras, back-end é tudo aquilo que está por trás da interface de uma aplicação: seus sistemas, banco de dados, toda parte de segurança de dados, envio e recebimento de informações, armazenamento e etc. Ao contrário do front-end, que está mais voltado a tudo que diz respeito ao conteúdo e a parte visual de um site ou software, o back-end permite que tudo isso funcione de maneira eficiente ao construir sistemas que garantem estabilidade ao produto. O back-end serve para que os sites, aplicativos, softwares ou outros tipos de sistemas de informação tenham todas as suas funcionalidades operando de maneira efetiva e cumprindo seus objetivos. O back-end também serve para dar suporte aos projetos de tecnologia, unindo uma equipe multidisciplinar com uma visão mais abrangente do que está por trás de todos os processos(ROVEDA, 2021).

2.3.2.2 *Front-end*

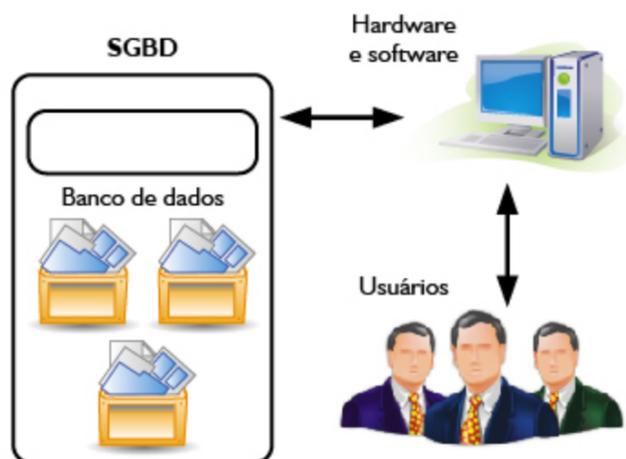
Front-end é toda parte da programação relativa à interface de uma aplicação. Toda parte dinâmica de um site com a qual um usuário pode interagir é criada por um(a) desenvolvedor(a) front-end. Em suma, como o próprio nome sugere, front-end é tudo aquilo que diz respeito à parte da frente de um site, aplicativo ou software, toda a aparência visível pelos seus visitantes. A programação front-end também é chamada de client-side. O front-end serve para que os usuários possam interagir com uma aplicação, em outras palavras, para construir a interface de utilização de um site, aplicativo ou software. O desenvolvimento front-end é interpretado pelos navegadores ou sistemas operacionais e os ajuda a transmitir aqueles elementos a quem deseja interagir com eles (ROVEDA, 2021).

2.3.2.3 *Banco de dados*

Segundo Korth, um banco de dados “é uma coleção de dados inter-relacionados, representando informações sobre um domínio específico”, ou seja, sempre que for possível agrupar informações que se relacionam e tratam de um mesmo assunto, posso dizer que tenho um banco de dados.

Podemos exemplificar situações clássicas como uma lista telefônica, um catálogo de CDs ou um sistema de controle de RH de uma empresa. Já um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) é um software que possui recursos capazes de manipular as informações do banco de dados e interagir com o usuário. Exemplos de SGBDs são: Oracle, SQL Server, DB2, PostgreSQL, MySQL, o próprio Access ou Paradox, entre outros. Por último, temos que conceituar um sistema de banco de dados como o conjunto de quatro componentes básicos: dados, hardware, software e usuários. Date conceituou que “sistema de bancos de dados pode ser considerado como uma sala de arquivos eletrônica” (DEV MEDIA, 2021).

Figura 11 - Componentes de um sistema de banco de dados.



Fonte: Adaptado de Date(2000).

Os objetivos de um sistema de banco de dados são o de isolar o usuário dos detalhes internos do banco de dados (promover a abstração de dados) e promover a independência dos dados em relação às aplicações, ou seja, tornar independente da aplicação, a estratégia de acesso e a forma de armazenamento(DEV MEDIA, 2021).

2.3.2.4 Requisições

A Request ou requisição traduzindo diretamente para português, é o pedido que um cliente realiza a um servidor. Esse pedido contém uma série de dados que são usados para descrever exatamente o que o cliente precisa. Vamos pensar que um cliente precisa cadastrar um novo produto, ele deve passar todos os dados necessários para o cadastro acontecer de maneira correta, inclusive os dados que foram digitados pelo usuário em um formulário, no caso de uma aplicação web. No navegador toda vez que trocamos de página ou apertamos enter na barra de endereço uma nova requisição é feita. Independente se estamos apenas pedindo a exibição de uma página, cadastrando um novo recurso, atualizando ou excluindo(FONSECA, 2019).

2.4 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

O consumo nacional de eletricidade foi de 40.156 GWh em junho de 2021, o maior para o mês de toda a série histórica, desde 2004. O bom resultado foi alavancado pelo

efeito base baixa, levando a taxa do mês a registrar elevação de 12,5% em relação a junho de 2020. Destacaram-se as classes industrial e comercial, com taxas expressivas de crescimento, que continuam sob influência do efeito base baixa. O consumo acumulado em 12 meses totalizou 493.463 GWh, elevação de 4,6% comparada ao período anterior. Todas as regiões geográficas do Brasil apresentaram expansão de dois dígitos no consumo de energia elétrica em junho: Norte (+13,1%), Sul (+12,7%), Centro-Oeste (+12,5%), Sudeste (+12,4%) e Nordeste (+12,2%)(EPE, 2021).

A classe residencial (+4,9%) apresentou aumento da taxa de consumo no mês de junho comparado ao mesmo mês de 2020. O Centro-Oeste (+15,8%) foi a região do país que mais se destacou no aumento da taxa de consumo de energia elétrica do setor residencial. A grave seca que assola grande parte da região contribuiu para o resultado. Assim como, o efeito base alta, pois em junho de 2020, o Centro-Oeste sofria medidas mais restritivas para conter o avanço da pandemia da COVID-19, fazendo com que aumentasse o tempo de permanência da população nas residências. As demais regiões também registraram acréscimo da taxa: Norte (+9,0%), Nordeste (+5,7%), o Sul (+4,6%) e o Sudeste (+2,1%). Em relação às Unidades da Federação, Mato Grosso (+20,6%) foi o que registrou a maior alta do consumo de energia elétrica das residências. Em contrapartida, o Amazonas anotou queda no consumo da classe. O estado tem apresentado taxas negativas no consumo desde de dezembro de 2020, em razão do volume de chuva acima da média climatológica(EPE, 2021).

O aumento da conta de energia para os consumidores se deve também à dependência do Brasil das matrizes de energia hidrelétricas. Cerca de 63% dos recursos energéticos são provenientes dessas matrizes, além disso, a utilização de outras fontes de energia a curto prazo são opções mais caras, resultando em preços mais altos nas contas(MEDEIROS; ÍCARO; TAVAREZ, 2021).

Isso porque, com a falta de água, é preciso concentrar a produção em usinas termelétricas para atender à demanda do país. Elas são mais caras e funcionam com base na queima de combustíveis. O Ministério de Minas e Energia estima que, este ano, o acionamento de termelétricas resultará em um custo de R\$ 9 bilhões ao consumidor, que deverá ser repassado no ano que vem, com um aumento de 5% no total da tarifa de luz(MEDEIROS; ÍCARO; TAVAREZ, 2021).

2.5 CÁLCULO DE CONSUMO ELÉTRICO

As grandezas elétricas que compõem o que se compreende como eletricidade visam separar e identificar diferentes maneiras de tratar a energia elétrica e são conhecidas como: carga, tensão, corrente, resistência, potência e também a própria energia elétrica. A carga elétrica é uma grandeza fundamental da energia elétrica, não podendo ser definida em termos como outras grandezas. Há dois tipos de carga elétrica, a composta por prótons (+) e a composta por elétrons (-). A unidade de medida que representa a carga elétrica é o Coulomb (C), e a menor quantidade da mesma conhecida é a carga do elétron ($1,60210 \times 10^{-19} \text{C}$) (SANTOS, 2011).

A unidade de medida utilizada para a tensão elétrica é o Volt, que é representada pela letra V, em maiúsculas, para representar os sinais que são contínuos, e em minúsculo, v, para sinais alternados. A corrente elétrica em unidade de medida é representada pelo Ampere (A) e sua grandeza pelo I, para correntes contínuas ou i, para alternadas, ela pode ser calculada pela carga que atravessa determinado corpo dividido sobre o intervalo de tempo considerado que a mesma leva para realizar a travessia, que pode ser representada pela Fórmula (1), onde ΔQ se refere a carga elétrica total que passa o corpo, e Δt , o tempo que a mesma leva para passar (expresso em segundos)(PELLEGRINI; MARTINS, 2021).

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1)$$

Expressa em ohms (Ω), a resistência elétrica é representada pela letra R, e sua resistência varia de acordo com o material que é utilizado para se opor a corrente elétrica. Para se calcular a resistência de um determinado corpo é utilizado a 2ª lei de ohm, conforme Fórmula (2), sendo ρ , a resistividade do material, multiplicado pela divisão do comprimento do corpo (l) pela área da reta transversal (a) do mesmo(PELLEGRINI; MARTINS, 2021).

$$R = \rho * \frac{l}{A} \quad (2)$$

A potência é a capacidade de converter energia em um determinado intervalo de tempo, ou seja, quanto maior a capacidade de energia convertida em um menor intervalo de tempo, maior será a potência. A forma de se calcular a potência pode ser determinada de acordo com a outras grandezas, por exemplo as fórmulas (3), (4) e

(5)(PELLEGRINI; MARTINS, 2021):

$$P = V * I \quad (3)$$

$$P = R * I^2 \quad (4)$$

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (5)$$

Na fórmula (1), a potência é o produto da tensão, multiplicando a corrente, na fórmula (2), é multiplicado o valor de resistência pela corrente elevada ao quadrado para se encontrar o valor da grandeza e na fórmula (3), a divisão da tensão elevada ao quadrado pela resistência do circuito ou aparelho, a potência é expressada com a unidade de medida chamada Watt (W). A energia utilizada nas residências denominada de energia elétrica corresponde a uma diferença de potencial entre a corrente da mesma pelo tempo em que é fornecida. A mesma também é considerada pela legislação como um bem móvel (MARTINS, 2009).

Sua unidade de medida pode ser expressa em joule (J), porém, pode também ser medida em quilowatt (quiloWatt, em inglês) hora (kWh), que é a potência (P) em quilowatt (kW) e o intervalo de tempo proposto em hora (h). A fórmula (6) representa o cálculo da energia elétrica geralmente utilizada pelas concessionárias de energia(PELLEGRINI; MARTINS, 2021).

$$kWh = \frac{P}{1000} * h \quad (6)$$

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar os materiais necessários para o desenvolvimento da primeira versão do sistema, assim como exemplificar e explicar o uso de *IoT* e de sistemas embarcados, assim como explicar os métodos utilizados para encontrar as soluções propostas na introdução.

3.1 METODOLOGIA

Essa pesquisa ao buscar pesquisadores os quais desenvolveram estudos sobre Sistemas embarcados, internet das coisas e telemetria caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, que consiste em ser feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites e etc (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Ao aplicar de maneira prática os conceitos estudados, esta pesquisa também atende as características da pesquisa aplicada, na qual consiste no método que envolve a aplicação prática da ciência. Ela usa alguma parte das teorias, conhecimentos, métodos e técnicas acumuladas das comunidades de pesquisa para um propósito específico. Esse tipo de pesquisa é útil para encontrar soluções para problemas cotidianos, geralmente direcionado para um problema (ROLL-HANSEN; NILS, 2009).

Aliada a pesquisa aplicada, terá uma abordagem qualitativa, que consiste na pesquisa que não se preocupa com representatividade numérica, mas, sim, com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização, etc(GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Assim como uma abordagem quantitativa, que consiste na pesquisa que trabalha com variáveis quantificáveis, mensuráveis, o que significa que, independentemente de quem realizar a mensuração do valor, o resultado deverá ser sempre o mesmo (excetuando-se erros de precisão de equipamentos e de leitura). Quando a pesquisa envolve os dois tipos de abordagem, ou seja, trabalha com valores quantitativos e valores qualitativos, ela é classificada como quali-quantitativa(AZEVEDO; ENSSLIN, 2020).

3.2 COMPONENTES

3.2.1 Esp32

O microcontrolador ESP32 foi projetado pela empresa desenvolvedora de tecnologia Espressif Systems, teve sua apresentação no ano de 2016, e já vem sendo considerado como um dos mais robustos e notórios controladores do mercado, tendo como fortes características sua velocidade de processamento, acessibilidade e conectividade, evidenciando essa última principalmente pela sua inteligibilidade com a conexão wi-fi (KOLBAN, 2018).

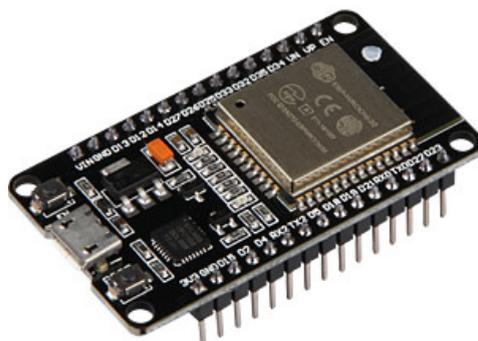
Figura 12 - Microcontrolador ESP32-D0WDQ6.



Fonte: Baú da eletrônica.

O ESP32 é constituído por um robusto processador, que pode ser visualizado na figura 12, foi projetado com um modelo que pode ser *single* ou *dual-core* de 32-bit (com dois núcleos físicos de processamento) que pode chegar a trabalhar com frequências de *clock* de até 240 MHz, além de contar com uma vantagem enorme com relação a sua capacidade de armazenamento sendo maior se comparada com a dos já consagrados microcontroladores Arduino, podendo chegar a ser o dobro tomando como base a memória flash, se comparada com o modelo ATmega 2560 (IBRAHIM, 2017).

Figura 13 - Placa de desenvolvimento ESP32.



Fonte: Reichelt Elektronik.

3.2.1.1 Recursos do ESP32

ESP32 é um único *chip* com *Wi-Fi* e *Bluetooth* de 2,4 GHz projetado com a tecnologia *TSMC ultra-low-power* de 40nm. É projetado para atingir a melhor potência e desempenho de RF, mostrando robustez, versatilidade e confiabilidade em uma ampla variedade de aplicações e cenários de energia(ESPRESSIF SYSTEMS, 2021).

3.2.1.1.1 Solução *Ultra-Low-Power*

O ESP32 foi projetado para aplicações *mobile*, eletrônicos vestíveis e Internet das Coisas (*IoT*). Possui todas as características de última geração de *chips* de baixo consumo de energia, incluindo um *clock gating* refinado, múltiplos modos de energia, e escala dinâmica de potência. Por exemplo, em um cenário de um hub de sensores *IoT* de baixa potência, ESP32 é acordado periodicamente apenas quando uma condição específica é detectada.

O ciclo de baixa carga é usado para minimizar a quantidade de energia que o *chip* gasta. A saída do amplificador de potência também é ajustável, contribuindo assim para um *trade-off* ideal entre alcance de comunicação, taxa de dados e consumo de energia(ESPRESSIF SYSTEMS, 2021).

3.2.1.1.2 Solução Completa de Integração

ESP32 é uma solução altamente integrada para aplicações usando *IoT*, *Wi-Fi* e *Bluetooth*, com cerca de 20 componentes. ESP32 possui antena integrada, RF balun, amplificador de potência, amplificador de receptor de baixo ruído, filtros, e módulos de gerenciamento de energia. Como tal, toda a solução ocupa um mínimo de área da placa de circuito impresso(ESPRESSIF SYSTEMS, 2021).

ESP32 usa *CMOS* para o rádio totalmente integrados no *chip* e banda base, ao mesmo tempo que integra os circuitos de calibração que permitem que a solução remova imperfeições do circuito externo ou se ajuste a mudanças em condições externas. Como tal, a produção em massa das soluções do ESP32 não necessitam de equipamentos caros e especializados em *Wi-Fi*(ESPRESSIF SYSTEMS, 2021).

3.2.1.2 Principais recursos de *Wi-Fi*

Lista dos principais recursos de *Wi-Fi*(ESPRESSIF SYSTEMS, 2021):

- 802.11 b/g/n
- 802.11 n (2.4 GHz), up to 150 Mbps
- *WMM*
- *TX/RX A-MPDU, RX A-MSDU*
- Bloqueio Imediato *ACK*
- Desfragmentação
- *Beacon* de monitoramento automático (*hardware TSF*)
- 4 × Interfaces virtuais de *Wi-Fi*
- Suporte simultâneo para os modos *Infrastructure Station, SoftAP* e *Promiscuous*. Observe que quando o ESP32 está no modo Estação, realizando uma varredura, o canal do *SoftAP* será alterado
- Diversidade de antenas

3.2.1.3 Principais recursos *Bluetooth*

Lista dos principais recursos de *Bluetooth*(ESPRESSIF SYSTEMS, 2021):

- Compatível com especificações de *bluetooth* v4.2 BR/EDR e *Bluetooth Low Energy*;
- Transmissor classe 1, classe 2 e classe 3 sem amplificador de potência externo;
- Enhanced Power Control;
- Potência de transmissão de +9 dBm;
- Receptor *NZIF* com sensibilidade de -94 dBm *Bluetooth Low Energy*;
- *Adaptive Frequency Hopping (AFH)*;
- Padrão *HCI* baseado em *SDIO/SPI/UART*;
- *UART HCI* de alta velocidade, de até 4 Mbps;
- Controlador com dois modos, Bluetooth 4.2 BR/EDR e Bluetooth LE;
- Synchronous Connection-Oriented/Extended (SCO/eSCO);
- CVSD e SBC para codec de áudio;
- Piconet Bluetooth e Scatternet;
- Múltiplas conexões em *Bluetooth* clássico e *Bluetooth Low Energy*;
- Avisos e Escaneamento simultâneos;

3.2.1.4 *Microncontrolador e recursos avançados*

3.2.1.4.1 *CPU e memória*

Lista de dados referente a *CPU* e memória(ESPRESSIF SYSTEMS, 2021):

- Microprocessador Xtensa® single-/dual-core 32-bit LX6;
- CoreMark® score:
 - 1 núcleo de 240 MHz: 504.85 CoreMark; 2.10 CoreMark/MHz;
 - 2 núcleos de 240 MHz: 994.26 CoreMark; 4.14 CoreMark/MHz;
- 448 KB ROM;
- 520 KB SRAM;
- 16 KB SRAM em RTC;
- QSPI suporta vários chips flash/SRAM;

3.2.1.4.2 Clocks e Timers

Lista de dados referente a *Clocks e Timers*(ESPRESSIF SYSTEMS, 2021):

- Oscilador interno de 8MHz com calibração;
- Oscilador RC interno com calibração;
- Cristal oscilador externo de 2 MHz até 60 MHz(40 MHz somente para funcionalidade do Wi-Fi e Bluetooth);
- Cristal oscilador externo de 32 kHz para RTC com calibração;
- Dois grupos de *timers*, incluindo 2 timers de 64 bits e 1 watchdog timer para cada grupo;
- Um timer RTC;
- Watchdog RTC;

3.2.1.4.3 Interfaces avançadas de periféricos

Lista de dados referente a interfaces e periféricos(ESPRESSIF SYSTEMS, 2021):

- 34 x Entradas e saídas de uso geral;
- SAR ADC de 12 bit de até 18 canais;
- 2 × 8-bit DAC;
- 10 × sensores de toque;
- 4 × SPI;
- 2 × I2S;
- 2 × I2C;
- 3 × UART;
- 1 mestre (SD/eMMC/SDIO);
- 1 escravo (SDIO/SPI);
- Interface Ethernet MAC com DMA dedicado e suporte IEEE 1588;
- TWAI®, compatível com ISO 11898-1 (especificação CAN 2.0);

- RMT (TX/RX);
- Motor PWM;
- LED PWM de até 16 canais;
- Sensor Hall;

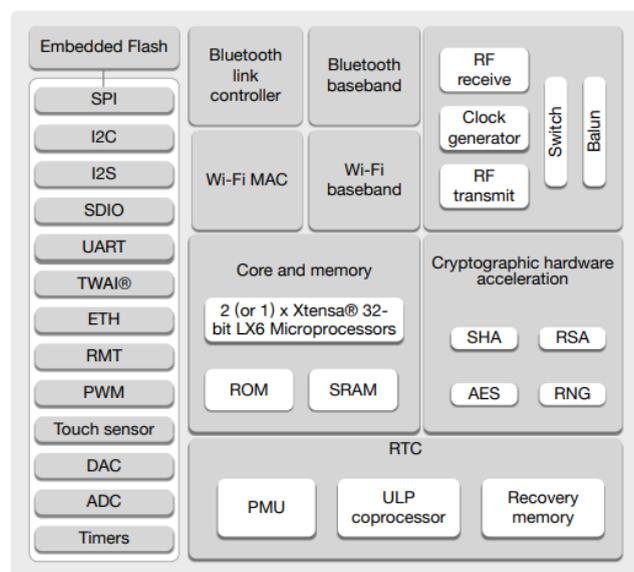
3.2.1.4.4 Segurança

Lista de dados referente a segurança(ESPRESSIF SYSTEMS, 2021):

- Boot de segurança;
- Criptografia de memória flash;
- 1024-bit OTP, até 768-bit para usuários;
- Aceleração de hardware criptográfico:
 - AES;
 - Hash (SHA-2);
 - RSA;
 - ECC;
 - Random Number Generator (RNG);

3.2.1.5 Diagrama de blocos

Figura 14 - Diagrama de blocos funcional do ESP32.



Fonte: Espressif - ESP32 Series datasheet.

3.2.2 Módulo Relé

Os relés basicamente são dispositivos elétricos que tem como função produzir modificações súbitas, porém predeterminadas em um ou mais circuitos elétricos de saída. O relé tem um circuito de comando, que no momento em que é alimentado por uma corrente, aciona um eletroímã que faz a mudança de posição de outro par de contadores, que estão ligados a um circuito ou comando secundário(MATTEDE, 2018).

Figura 15 - Módulo Relé de dois canais.



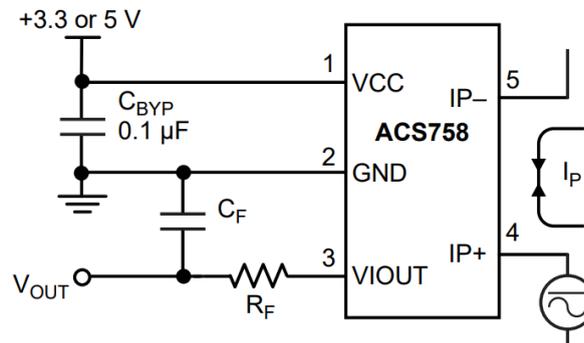
Fonte: FilipeFlop(2021).

Resumidamente podemos dizer que todo relé se configura como um contato que abre e fecha de acordo com algum determinado fator ou configuração. Alguns relés são bem pequenos e fáceis de serem manipulados, testados e trocados, justamente por existir vários tipos de construções mecânicas para relés(MATTEDE, 2018).

3.2.3 Sensor de corrente ACS758

A família Allegro ACS758 de circuitos integrados de sensores de corrente fornece soluções econômicas e precisas para detecção de corrente AC ou DC. As aplicações típicas incluem controle de motor, detecção de carga e gerenciamento, fonte de alimentação e controle do conversor DC para DC, controle de inversor e detecção de falha de sobrecorrente(ALLEGRO, 2020).

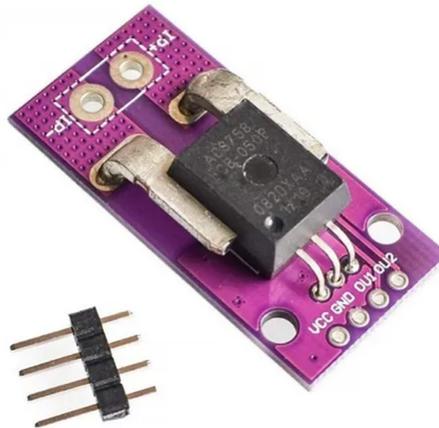
Figura 16 - Esquemático do uso típico do ACS758.



Fonte: Allegro microsystems(2021).

O dispositivo consiste em uma precisão, circuito hall linear de baixo deslocamento com um condutor próximo a matriz. A corrente aplicada flui através deste condutor de cobre gerando um campo magnético que o circuito integrado Hall converte em um tensão proporcional. A precisão do dispositivo é otimizada por meio da proximidade do sinal magnético ao transdutor Hall. Uma tensão de saída proporcional e precisa é fornecida pelo BiCMOS Hall IC de baixo deslocamento, estabilizado por chopper, que é programado para precisão na fábrica(ALLEGRO, 2020).

Figura 17 - Módulo sensor de corrente ACS758.



Fonte: Baú da eletrônica(2021).

3.2.4 Sensor de tensão ZMPT101B

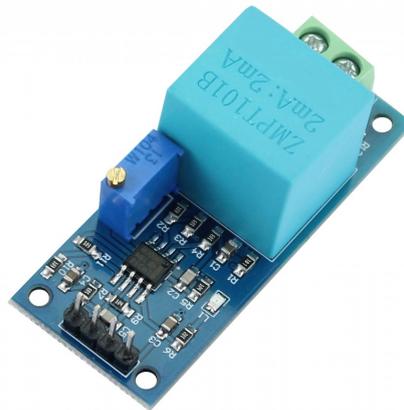
O Sensor de Tensão AC *ZMPT101B* é um módulo eletrônico capaz de verificar a existência de energia alternada de até 250V em um determinado circuito onde esteja conectado, apresentando resultados rápidos e precisos em projetos de automação

residencial ou robóticos onde seja necessário verificar a presença de tensão(USINAINFO, 2021).

Além disso, ele pode ser utilizado para fazer a medição da tensão por meio da função voltímetro, permitindo ao usuário verificar o valor exato que está passando nos fios em determinado momento. Importante destacar que para funcionar precisa ser alimentado com tensão DC de 5 a 30V com corrente máxima de 2mA, de forma a alimentar o CI do circuito por meio dos pinos *VCC* e *GND*(USINAINFO, 2021).

O Sensor de Tensão AC *ZMPT101B* apresenta bornes a parafuso para a entrada de energia AC e pinagem alimentação do circuito com energia DC, além de dois pinos para saída de sinal(USINAINFO, 2021).

Figura 18 - Módulo sensor de tensão ZMPT101B.



Fonte: Usinainfo(2021).

O princípio de funcionamento é simples, quando entra energia AC no circuito ele libera um valor de sinal x nos pinos, sempre a tensão alternada varia, a de sinal também irá variar. Vale destacar ainda a presença de um potenciômetro para calibração da forma de onda na saída(USINAINFO, 2021).

3.2.5 Módulo de alimentação LM2596

A série LM2596 de reguladores são circuitos integrados monolíticos que fornecem todas as funções ativas para um regulador abaixador de tensão, capaz de gerar uma carga 3-A. Esses dispositivos estão disponíveis em saída fixa tensões de 3,3 V, 5 V, 12 V e uma versão de saída ajustável(TEXAS INSTRUMENTS, 2021).

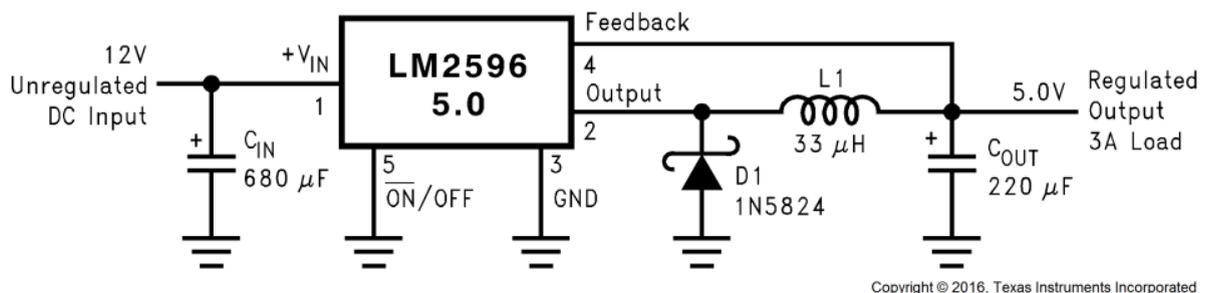
Figura 19 - LM2596.



Fonte: Baú da eletrônica(2021).

Exigindo um número mínimo de componentes externos, esses reguladores são simples de usar e incluem compensação de frequência interna e um oscilador de frequência fixa (TEXAS INSTRUMENTS, 2021).

Figura 20 - Uso típico do LM2596.



Fonte: Texas Instruments(2021).

A série LM2596 opera em uma frequência de comutação de 150 kHz, permitindo uso de componentes de filtro de menor tamanho do que o que seria necessário com reguladores de comutação de frequência inferior. Disponível em um encapsulamento TO-220 padrão de 5 pinos com várias opções de dobras e um encapsulamento SMD TO-263 de 5 pinos (TEXAS INSTRUMENTS, 2021).

Figura 21 - Módulo de alimentação LM2596.



Fonte: FilipeFlop(2021).

3.2.6 Computador de uso geral

Um computador de uso geral é aquele projetado para realizar muitas tarefas diferentes. Cada uma dessas tarefas é chamada de aplicação. Qualquer computador que pode ter muitas aplicações, é um computador de uso geral. Os computadores de uso geral consistem em hardware e software. Hardware são os componentes físicos do computador, como a unidade central de processamento (CPU), disco rígido, monitor, teclado e mouse. Software são os programas executados em um computador. Os computadores desktop e laptops são exemplos de computadores de uso geral.

Figura 22 - Computador desktop e Notebook respectivamente.



Fonte: Magazine Luiza (2021) e Amazon (2021).

3.2.7 Roteador Wi-Fi

Um roteador sem fio é um dispositivo em uma rede local sem fio (WLAN) que

determina o próximo ponto de rede para o qual um pacote deve ser encaminhado para seu destino. Um roteador sem fio funciona da mesma maneira que o roteador em uma rede local (LAN) com fio doméstico ou comercial, mas permite maior mobilidade para notebooks ou computadores portáteis. Os computadores individuais são equipados com pequenos transceptores sem fio que podem ser conectados a uma porta Universal Serial Bus (USB) ou a um slot de placa de PC(TECHTARGET, 2005).

Figura 23 - Roteador *Wi-Fi*.



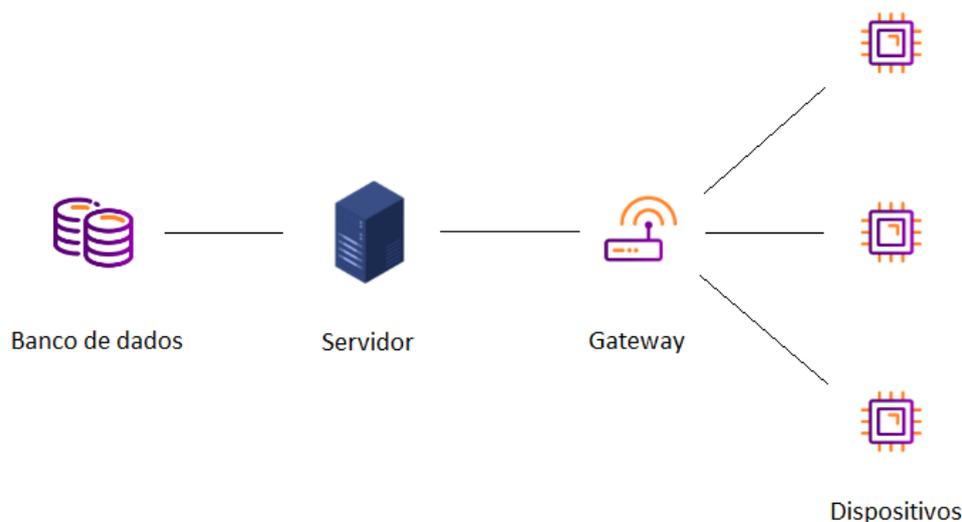
Fonte: Grupo TEK(2021).

3.3 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

O sistema consiste de quatro elementos principais, os quais são: Servidor, gateway, banco de dados e dispositivo.

No servidor é hospedado a aplicação a qual irá fazer a interpretação dos dados enviados pelo dispositivo. O gateway por sua vez irá gerar a rede na qual ambos, dispositivo e servidor, deverão estar conectados a fim de que se tenha uma comunicação plena. O dispositivo irá fazer a coleta de dados, por meio dos sensores, e então enviará o pacote de dados de forma periódica para o servidor. Então assim que o servidor receber o pacote de dados, os dados serão salvos no banco de dados.

Figura 24 - Arquitetura do sistema.



Fonte: Autoria própria (2021).

Para que os dados sejam devidamente salvos no banco de dados do sistema, é necessário que seja feita a rotina de cadastro do dispositivo, caso contrário, os dados serão perdidos.

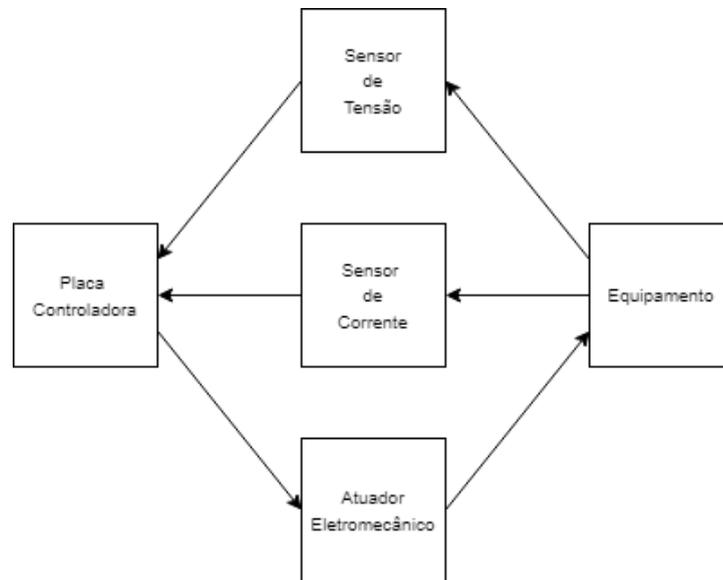
3.4 FUNCIONAMENTO DO DISPOSITIVO

O dispositivo consiste de uma placa de desenvolvimento como placa controladora principal, módulo de sensor de tensão, módulo sensor de corrente, módulo atuador eletromagnético e um módulo de alimentação.

A placa de desenvolvimento(ESP-WROOM-32), por meio dos pinos analógicos, fará a leitura da informação disponível nos pinos de saída dos módulos de tensão e corrente.

A placa controladora, por meio de um de seus pinos digitais, fará o acionamento do módulo atuador eletromagnético, fazendo assim o controle de acionamento do equipamento ao qual estará sendo monitorado pelo sistema.

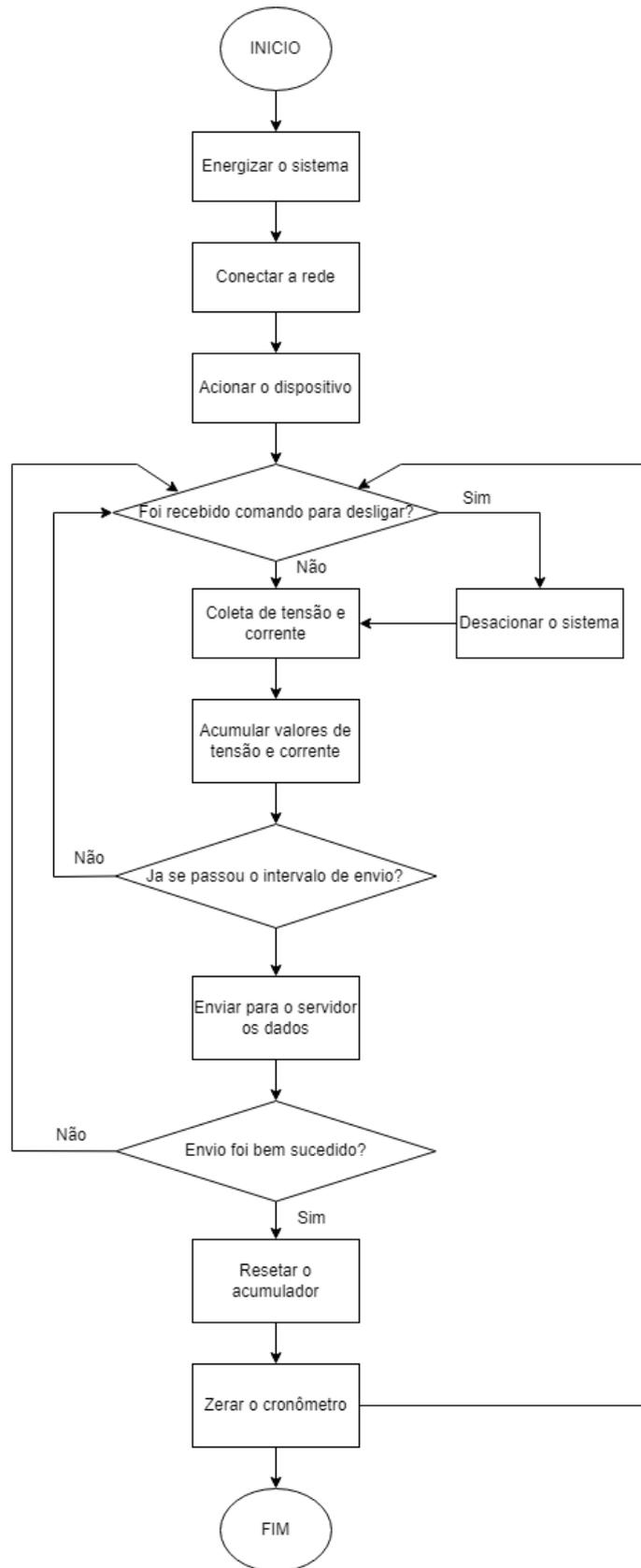
Figura 25 - Arquitetura do dispositivo.



Fonte: Autoria própria (2021).

A rotina de funcionamento do dispositivo está descrita na figura 25 em forma de fluxograma.

Figura 26 - Fluxograma de funcionamento do dispositivo.



Fonte: Autoria própria (2021).

3.4.1 Descrição do *hardware*

O hardware consiste na conexão dos módulos sensores e atuadores a entradas e saídas de uso geral da placa de controle (placa de desenvolvimento ESP-32).

Na tabela 1 está a relação de conexão das entradas e saídas de uso geral utilizadas no hardware.

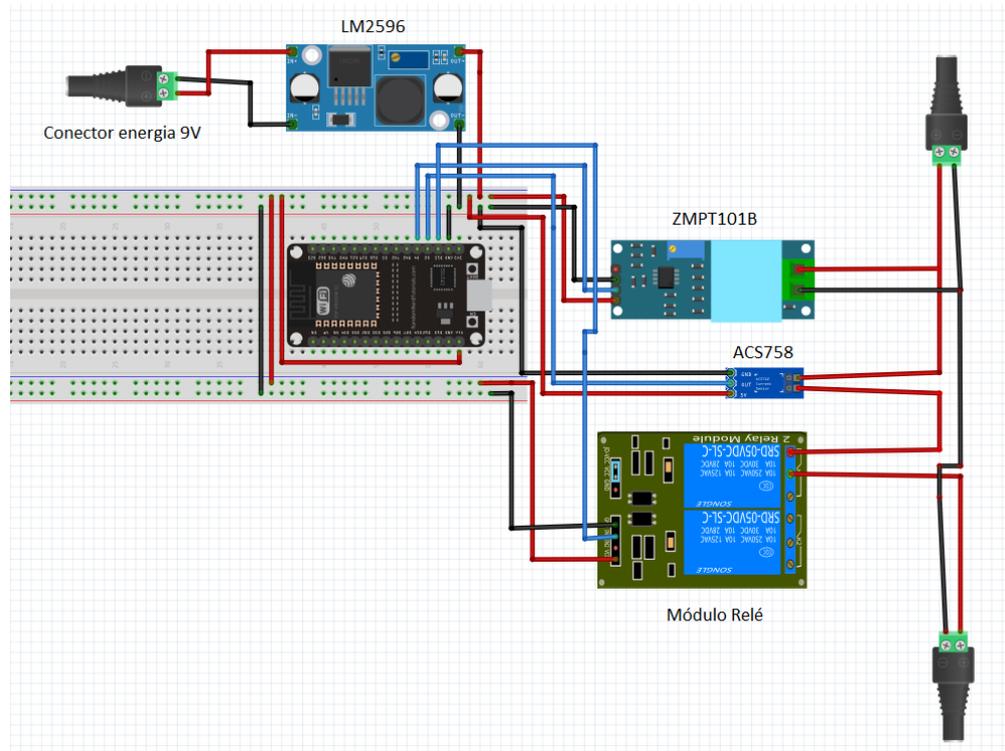
Tabela 1 - Relação de entradas e saídas.

ESP-32 Pinos:	Função:	Conectado a:
22, GPIO2, ADC2_2, HSPI_WP, Touch2	Entrada analógica	Módulo sensor de corrente
24, GPIO4, ADC2_0, HSPI_HD, Touch0	Entrada analógica	Módulo sensor de tensão
21, GPIO15, ADC2_3, Touch3, HSPI_CSO	Saída digital	Módulo atuador eletromecânico

Fonte: Autoria própria (2021).

Para a montagem de esquemático de conexões foi usado o fritzing, pela sua praticidade. O esquemático de conexões pode ser conferido na figura 27.

Figura 27 - Esquemático de montagem das conexões.



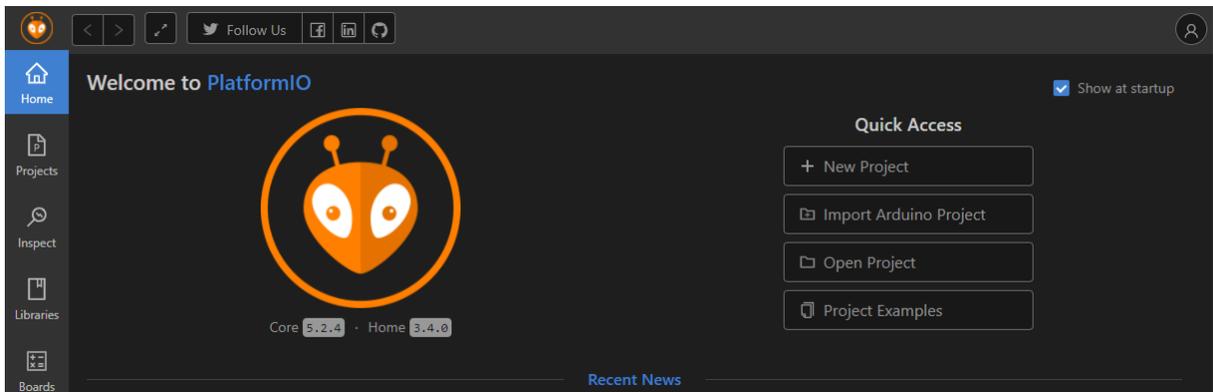
Fonte: Autoria própria (2021).

Além das conexões referentes aos dados a serem lidos, o hardware consiste de um módulo de alimentação, que está representado na figura 27 pelo módulo de alimentação LM2596. O módulo de alimentação faz o papel de fornecer energia elétrica necessária para todo o dispositivo.

3.4.2 Descrição do *firmware*

Para desenvolvimento do firmware foi utilizado a extensão do Visual Studio Code, o PlatformIO. Na extensão é possível selecionar a placa de desenvolvimento a qual será utilizado, assim como o framework que será usado. Então foi selecionado “ESP32 FM DevKit” o qual corresponde a placa de desenvolvimento ESP32, também foi selecionado o framework do Arduino, por conta da ampla documentação disponível.

Figura 28 - Tela inicial da IDE PlatformIO.



Fonte: Autoria própria (2021).

O firmware é dividido em quatro partes, a declaração de bibliotecas as quais serão utilizadas, a declaração de variáveis e objetos, o setup o qual são declarados a função dos pinos além de rotinas que serão executadas somente uma vez e o loop o qual lista rotinas as quais serão feitas de forma repetida.

As bibliotecas a serem utilizadas foram: *Arduino.h*, *WiFi.h*, *HTTPClient.h* e a *EmonLib.h*. Ao utilizar a IDE PlatformIO, para que o framework do Arduino seja usado é necessário a importação da biblioteca *Arduino.h*. A biblioteca *WiFi.h* é utilizada para que seja possível a comunicação partindo do servidor para o dispositivo, fazendo assim com que o dispositivo possa ser acionado remotamente. A biblioteca *HTTPClient.h* é utilizada para que seja possível a comunicação partindo do dispositivo para o servidor, com o auxílio desta biblioteca é possível fazer o uso do protocolo HTTP para enviar requisições ao servidor, a estrutura do pacote de dados.

Figura 29 - Estrutura do pacote de dados.

```
{
  "macaddress": "00:00:00:00:00:00",
  "voltage": 100,
  "amp": 100,
  "var_time": 100
}
```

Fonte: Autoria própria (2021).

A biblioteca *EmonLib.h* se faz necessária para que seja possível a utilização do módulo sensor de tensão ZMPT101b, esta biblioteca facilita o processo de interpretação do sinal de saída do módulo sensor de tensão.

Na estrutura do setup é feita a declaração dos pinos de acordo com a necessidade do sistema, como é possível ver na tabela 1. Além disso é também inicializada a comunicação serial com a IDE, assim como é feita a tentativa de conexão com a rede cadastrada no dispositivo.

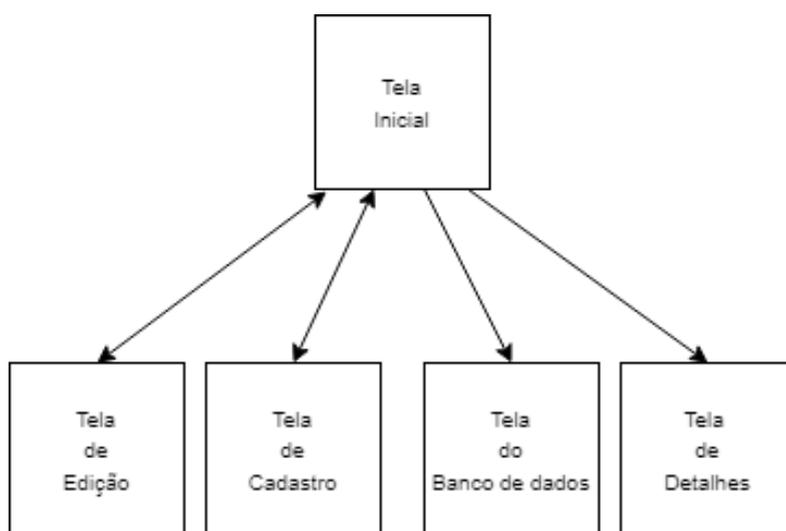
A estrutura loop é a parte mais importante do algoritmo, é onde é feita a verificação se foi recebido algum comando para acionar ou desacionar o dispositivo, assim como fazer as leituras das grandezas físicas e envio do pacote de dados de forma periódica ao servidor. O fluxograma do firmware está descrito na figura 26.

3.5 FUNCIONAMENTO DA APLICAÇÃO WEB

A aplicação web gerencia os dispositivos e concentra todos os dados, de leitura e de cadastro dos dispositivos, faz os cálculos de consumo de energia elétrica e disponibiliza-os de forma a facilitar a interpretação dos dados para o usuário.

A aplicação consiste de três elementos principais; O *back-end*, que é a parte lógica do sistema, que irá listar todas as rotas que serão utilizadas, assim como todas as suas funcionalidades; A interface gráfica ou *front-end*, que é responsável por facilitar a usabilidade e garantir que a aplicação funcione como esperado; Por fim o banco de dados no qual é armazenado todos os dados referente aos dispositivos e ao dados enviados pelos mesmos. Na figura 30 é possível verificar o fluxo de telas da aplicação.

Figura 30 - Fluxo de telas da aplicação.



Fonte: Autoria própria (2021).

3.5.1 Descrição do *back-end*

O *back-end* consiste na parte lógica da aplicação, o framework utilizado para o desenvolvimento do *back-end* foi Flask API, que é um framework com a escrita em *python*.

No *back-end* é onde as rotas da aplicação são listadas e escritas. A aplicação consiste de seis rotas, cada uma com sua função específica. As rotas que estão presentes no sistema são:

Index: É a principal rota da aplicação, nesta rota é feito uma consulta na tabela de dispositivos do banco de dados, fazendo com que os mesmos possam ser listados na interface gráfica.

Registration: É a rota onde é feito o processamento de cadastro de novos dispositivos no sistema.

Delete: É a rota onde é feito o processo de exclusão do cadastro de dispositivos cadastrados anteriormente.

Update: É a rota onde é feito o processo de edição dos parâmetros de dispositivos cadastrados anteriormente.

Database: Esta é a rota onde é feito o processamento dos dados de leitura, os quais são enviados dos dispositivos ao servidor, assim como o registro dos dados no banco de dados.

Details: Esta é a rota onde é feito o processamento dos dados de consumo, tensão e corrente de um dispositivo em específico, também é responsável pela estruturação dos gráficos dessas mesmas grandezas. Na figura 29 é mostrado o formato do dado que é recebido nesta rota.

3.5.2 Descrição do *front-end*

A interface gráfica ou *front-end* consiste nas telas que o usuário tem acesso para gerenciar o sistema de controle e monitoramento. O *framework* utilizado para o desenvolvimento da interface foi o *bootstrap*.

Na aplicação estão presente quatro telas principais:

Inicial/Dispositivos: Consiste na tela que irá listar todos os dispositivos, como pode ser visto na figura 31.

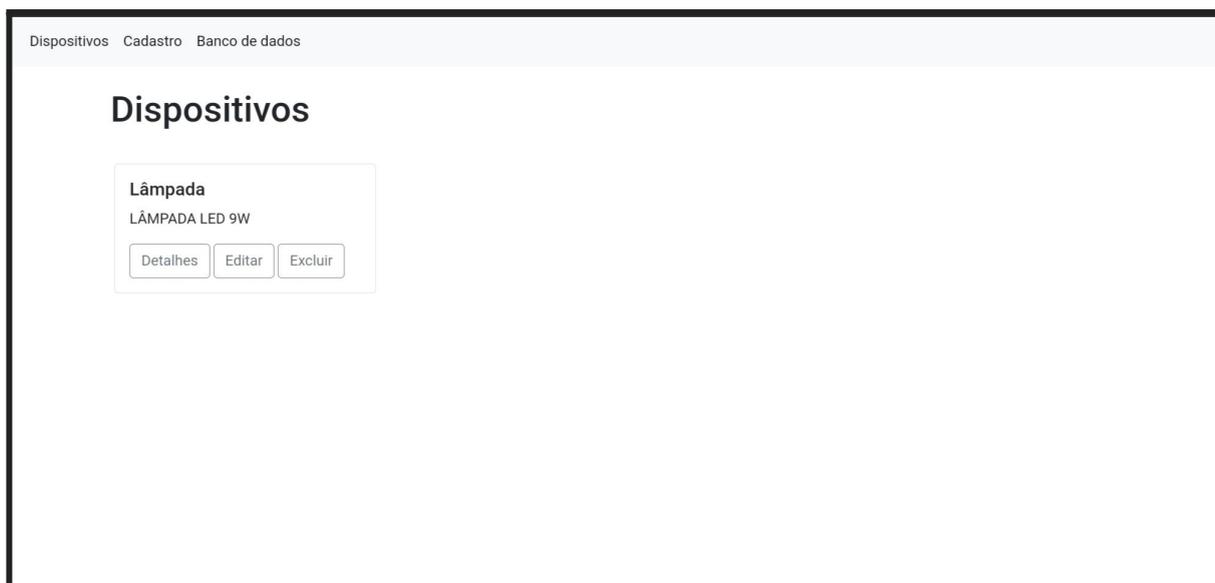
Detalhes: Consiste na tela onde serão mostrados todos os dados de leituras de um dispositivo, assim como gráficos de leitura de tensão, corrente e consumo, assim como o valor total consumido por um dispositivo, tanto em kWh como em reais, como pode ser visto na figura 32.

Cadastro: Consiste na tela onde serão escritos cada parâmetro de dispositivos novos os quais serão cadastrados no sistema, como pode ser visto na figura 33.

Edição: Consiste na tela onde dispositivos os quais já foram cadastrados anteriormente terão seus parâmetros modificados ou corrigidos, como pode ser visto na figura 34.

Banco de dados: Consiste na tela onde são mostrados todos os dados, e seus valores, já enviados por dispositivos em ordem do mais recente para o menos recente, como pode ser visto na figura 35.

Figura 31 - Tela inicial da aplicação.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 32 - Tela de detalhes do dispositivo da aplicação.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 33 - Tela de cadastro de dispositivo da aplicação.

Dispositivos Cadastro Banco de dados

Cadastro de dispositivo

Nome do dispositivo:
[Input field]

Endereço MAC do dispositivo:
[Input field]
Escrever pontuação referente ao endereço MAC além dos números.

Endereço IP do dispositivo:
[Input field]
Escrever pontuação referente ao endereço IP além dos números.

Descrição do dispositivo:
[Input field]

[Cadastrar]

Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 34 - Tela de edição de dispositivos da aplicação.

Dispositivos Cadastro Banco de dados

Editar dispositivo

Nome do dispositivo:

Endereço MAC do dispositivo:

Escrever somente os números.

Endereço IP do dispositivo:

Escrever somente os números.

Descrição do dispositivo:

Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 35 - Tela do banco de dados da aplicação.

Dispositivos Cadastro Banco de dados

Banco de dados

ID	Endereço MAC	Tensão(V)	Corrente(A)	Consumo(kWh)	Data e Hora
4308	3C:71:BF:F1:56:D4	113.552	0.072974	0.0004603524248888896	2022-01-01 12:27:52.692152
4307	3C:71:BF:F1:56:D4	112.943	0.072839	0.0004570363987222222	2022-01-01 12:27:42.549907
4306	3C:71:BF:F1:56:D4	112.351	0.072542	0.0004527870134444444	2022-01-01 12:27:32.587706
4305	3C:71:BF:F1:56:D4	113.184	0.075561	0.0004751275680000005	2022-01-01 12:27:22.551996
4304	3C:71:BF:F1:56:D4	113.465	0.071661	0.0004517230758333334	2022-01-01 12:27:12.516300
4303	3C:71:BF:F1:56:D4	113.266	0.076121	0.0004885755338733333	2022-01-01 12:27:02.688609
4302	3C:71:BF:F1:56:D4	113.203	0.0764	0.00048048384444444446	2022-01-01 12:26:52.665751
4301	3C:71:BF:F1:56:D4	113.891	0.072592	0.00045930974844444447	2022-01-01 12:26:42.349694
4300	3C:71:BF:F1:56:D4	112.723	0.074853	0.0004687585955000006	2022-01-01 12:26:32.174431
4299	3C:71:BF:F1:56:D4	112.814	0.074064	0.00047347584543999997	2022-01-01 12:26:22.143147
4298	3C:71:BF:F1:56:D4	112.772	0.071885	0.0004502675122222222	2022-01-01 12:26:11.047714

Fonte: Autoria própria (2021).

3.5.3 Descrição do banco de dados

O banco de dados da aplicação é onde são registrados os dados referentes aos dispositivos e aos dados coletados pelos dispositivos. O banco de dados utilizado é um banco do tipo SQL, e para gerenciar as tabelas foi usado o SQLAlchemy que é uma

biblioteca para gerenciamento de banco de dados em Python.

O banco de dados consiste de duas tabelas, uma é a *'devices'* na qual são registrados, os dados dos dispositivos, e a *'energydata'*, que é onde são registrados os dados de leitura e consumo de cada dispositivo.

A estrutura da tabela *'devices'* pode ser visto na figura 36 e a estrutura da tabela *'energydata'* pode ser visto na figura 37.

Figura 36 - Estrutura da tabela *'devices'*.

```
class Devices(db.Model):
    __bind_key__ = 'devices'
    id = db.Column(db.Integer, primary_key = True)
    name = db.Column(db.String(20), nullable = False)
    ipaddress = db.Column(db.String(20), unique = True, nullable = False)
    macaddress = db.Column(db.String(20), unique = True, nullable = False)
    description = db.Column(db.Text)
    date_created = db.Column(db.DateTime, default = datetime.now)
    def __repr__(self):
        return '<Name %r>' % self.id
```

Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 37 - Estrutura da tabela *'energydata'*.

```
class Energydata(db.Model):
    __bind_key__ = 'energydata'
    id = db.Column(db.Integer, primary_key = True)
    macaddress = db.Column(db.String(20), nullable = False)
    amp = db.Column(db.Float)
    voltage = db.Column(db.Float)
    consumption = db.Column(db.Float)
    date_created = db.Column(db.DateTime, default = datetime.now)
    def __repr__(self):
        return '<Name %r>' % self.id
```

Fonte: Autoria própria (2021).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A implementação do hardware não foi tão complicada pelo fato de que os sinais de leitura os quais os módulos de sensores geraram são compatíveis com a placa controladora. Apesar da implementação do hardware ter sido relativamente simples, houve uma peculiaridade, pelo fato de estar sendo usado um ESP-32, que é o fato dele usar o ADC2 (Analogic/digital converter) na sua rotina de conexão *wi-fi*, fazendo com que todas as leituras fossem feitas por pinos analógicos conectados ao outro ADC da placa.

Na implementação do firmware, houve uma complicação, o uso da biblioteca EmonLib.h na qual foi usada para a aquisição de dados do sensor de tensão. No caso a biblioteca comporta várias funcionalidades além da leitura de tensão para o módulo ZMPT101B, e ocorre que uma dessas funcionalidades entrava em conflito com a conexão sem fio por fazer uso do ADC2, então foi necessário fazer um estudo dessa biblioteca. Primeiramente foi verificado se ao fazer a leitura de tensão o ADC2 era usado, e caso ele não fosse usado para a leitura, verificar se era possível reescrever o cálculo que é feito de forma interna na biblioteca, fora dela. Ao identificar que o ADC2 não era usado para leitura de tensão, o código responsável por fazer a filtragem da leitura de tensão do sensor foi reescrito fora da biblioteca.

Na implementação do software, o principal desafio foi a construção dos gráficos para cada dispositivo. Os gráficos são modelos gráficos dos dados que estão salvos no banco de dados, e para acessá-los foi usado a biblioteca SQLAlchemy. A biblioteca SQLAlchemy tem como objetivo fazer uma abstração de comandos SQL, que são utilizados para gerenciar banco de dados SQL, mas caso seja necessário o uso de dados para criação de gráficos, a biblioteca carece de dinamicidade, então para criação dos gráficos foi necessário o uso de comandos SQL puros, fazendo com que para os gráficos em específico, a tarefa de fazer consulta dos dados fosse um pouco mais complicada.

Figura 38 - Dados enviados pelo dispositivo cadastrado no banco de dados.

ID	Endereço MAC	Tensão(V)	Corrente(A)	Consumo(kWh)	Data e Hora
2230	F0:08:D1:C8:3C:A8	113.008	0.071885	2.2863364825155557e-05	2022-01-06 06:11:19.217757
2229	F0:08:D1:C8:3C:A8	112.904	0.075438	2.391455075856e-05	2022-01-06 06:11:09.080498
2228	F0:08:D1:C8:3C:A8	112.888	0.076212	2.401310187008e-05	2022-01-06 06:10:58.938625
2227	F0:08:D1:C8:3C:A8	113.294	0.072306	2.3100977418479997e-05	2022-01-06 06:10:48.906616
2226	F0:08:D1:C8:3C:A8	112.707	0.071097	2.2570314980849995e-05	2022-01-06 06:10:38.665426
2225	F0:08:D1:C8:3C:A8	112.901	0.07317	2.32592091942e-05	2022-01-06 06:10:28.631641
2224	F0:08:D1:C8:3C:A8	112.314	0.076708	2.4194865326199996e-05	2022-01-06 06:10:18.493938
2223	F0:08:D1:C8:3C:A8	114.175	0.075011	2.3837526907916664e-05	2022-01-06 06:10:08.352446
2222	F0:08:D1:C8:3C:A8	112.702	0.071139	2.2627188053466664e-05	2022-01-06 06:09:58.320720

Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 39 - Dados sendo enviados pelo dispositivo.

```
PROBLEMS  OUTPUT  DEBUG CONSOLE  TERMINAL
{"macaddress": "F0:08:D1:C8:3C:A8", "voltage": 113258.00, "amp": "76258.00", "var_time": "10052.00"}
{"message": "success", "status": 200}
{"macaddress": "F0:08:D1:C8:3C:A8", "voltage": 113090.00, "amp": "76246.00", "var_time": "10150.00"}
{"message": "success", "status": 200}
{"macaddress": "F0:08:D1:C8:3C:A8", "voltage": 112702.00, "amp": "71139.00", "var_time": "10160.00"}
{"message": "success", "status": 200}
{"macaddress": "F0:08:D1:C8:3C:A8", "voltage": 114175.00, "amp": "75011.00", "var_time": "10020.00"}
{"message": "success", "status": 200}
{"macaddress": "F0:08:D1:C8:3C:A8", "voltage": 112314.00, "amp": "76708.00", "var_time": "10110.00"}
{"message": "success", "status": 200}
{"macaddress": "F0:08:D1:C8:3C:A8", "voltage": 112901.00, "amp": "73170.00", "var_time": "10136.00"}
{"message": "success", "status": 200}
{"macaddress": "F0:08:D1:C8:3C:A8", "voltage": 112707.00, "amp": "71097.00", "var_time": "10140.00"}
{"message": "success", "status": 200}
{"macaddress": "F0:08:D1:C8:3C:A8", "voltage": 113294.00, "amp": "72306.00", "var_time": "10152.00"}
{"message": "success", "status": 200}
{"macaddress": "F0:08:D1:C8:3C:A8", "voltage": 112888.00, "amp": "76212.00", "var_time": "10048.00"}
{"message": "success", "status": 200}
{"macaddress": "F0:08:D1:C8:3C:A8", "voltage": 112904.00, "amp": "75438.00", "var_time": "10108.00"}
{"message": "success", "status": 200}
{"macaddress": "F0:08:D1:C8:3C:A8", "voltage": 113008.00, "amp": "71885.00", "var_time": "10132.00"}
Default (testearduino)
```

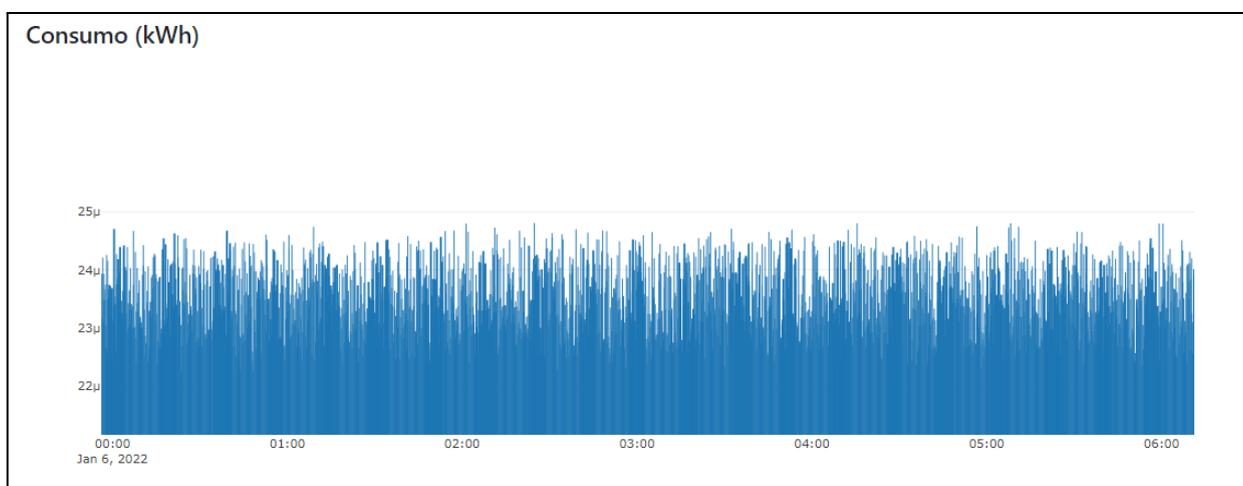
Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 40 - Consumo mensal, valor gasto e valor da tarifa.



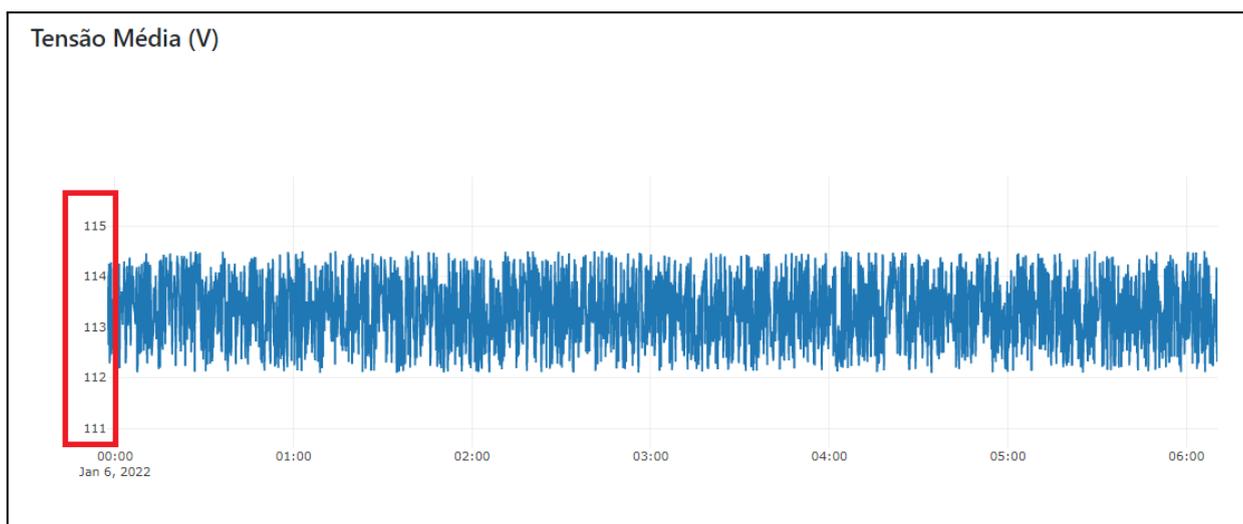
Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 41 - Gráfico de consumo do mês.



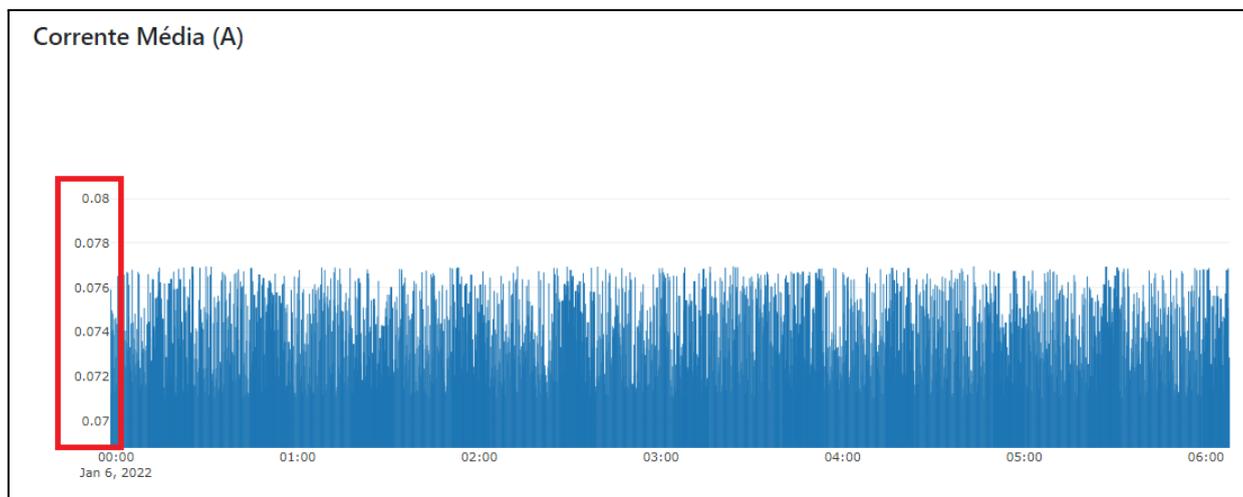
Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 42 - Gráfico de tensão média, em destaque os valores de tensão no eixo y.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 43 - Gráfico de corrente média, em destaque os valores de corrente no eixo y.



Fonte: Autoria própria (2021).

A tabela de custos do projeto pode ser vista abaixo:

Tabela 2 - Custo dos componentes.

Item	Material	Custo(R\$)
1	Placa de desenvolvimento (ESP-32)	71,59
2	Módulo LM2596	15,90
3	Módulo ZMPT101B	29,99
4	Módulo ACS758	66,13
5	Módulo Relé de dois canais	18,65
#	Total:	202,26

Fonte: Autoria própria (2021).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o objetivo de desenvolver um sistema de controle e monitoramento de energia elétrica em ambiente residencial foi atingido.

Com este estudo, é possível concluir que os sensores, atuadores e placa de desenvolvimento apresentam o comportamento esperado, assim como a aplicação web facilitou a visualização dos dados recebidos sem que estes sofressem qualquer tipo de distorção.

O processo de coleta de dados referente ao consumo também foi comprovado, fazendo com que o monitoramento dos gastos com energia elétrica fosse acompanhado.

A utilização de componentes baratos e plataformas de código aberto fazem possível e permitem a reprodução do trabalho.

Para trabalhos futuros, recomenda-se um estudo mais aprofundado sobre grandezas elétricas a serem medidas, tendo em vista a redução de possíveis erros de leitura, a implementação de melhorias de prototipação, integrando todos os módulos usados em uma única placa, assim como o desenvolvimento de um firmware mais robusto e a construção de um case para comportar o dispositivo. Para a transmissão de dados, por se tratar de um dispositivo de captação de dados de energia elétrica, recomenda-se o uso de um transmissor *low-energy* que consiga enviar dados por grandes distâncias.

6. REFERÊNCIAS

BARR, Michael. **Embedded Systems Glossary**. Neutrino Technical Library. Disponível em: <<https://barrgroup.com/embedded-systems/glossary>>. Acesso em: 31 de setembro de 2021.

HEATH, Steve. **Embedded systems design. EDN series for design engineers (2 ed.)**. Newnes. p. 2, 2003.

Bruno P. Santos, Lucas A. M. Silva, Clayson S. F. S. Celes, João B. Borges Neto, Bruna S. Peres, Marcos Augusto M. Vieira, Luiz Filipe M. Vieira, Olga N. Goussevskaia e Antonio A. F. Loureiro. **Internet das Coisas: da Teoria à Prática**. p. 2. Consultado em 23 de Outubro de 2021.

GIRARDI, Greyci. **Por que monitorar o consumo de energia elétrica?**, 2019. Disponível em: <<https://www.way2.com.br/blog/monitorar-consumo-de-energia/>> Consultado em 3 de Novembro de 2021.

ROSA, Mayra. **Falta de eficiência energética faz Brasil perder o equivalente a uma Itaipu por ano**, 2017. Disponível em: <<https://ciclovivo.com.br/planeta/desenvolvimento/falta-de-eficiencia-energetica-faz-brasil-perder-o-equivalente-a-uma-itaipu-por-ano/>>. Consultado em 3 de Novembro de 2021.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Método de Pesquisa**. Universidade Aberta do Brasil UAB/UFRGS. Curso de Graduação Tecnológica, Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. Porto Alegre. 2009.

ROLL-HANSEN, Nils. **Why the distinction between basic (theoretical) and applied (practical) research is important in the politics of science**. The London School of Economics and Political Science, 2009. Consultado em 19 de novembro de 2021.

KOLBAN, Neil. **Kolban's book on ESP32**. [S.l.]: Leanpub, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24, 2018. Consultado em 21 de novembro de 2021 .

IBRAHIM, Dragan. **The Complete ESP32 Projects Guide**. 1a. ed. [S.l.]: Elektor Digital, 2017. Citado na página 23.

ESPRESSIF. **ESP32 Series Datasheet**. Version 3.8 Espressif Systems Copyright, 2021. Acessado em 23 de novembro de 2021.

ALLEGRO. **ACS758xCB Datasheet**. Rev. 17 Allegro microsystems, 2020. Acessado

em 23 de novembro de 2021.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM2596 Datasheet**. Revised April 2021, 2021. Acessado em 24 de novembro de 2021.

AZEVEDO; ENSSLIN. **Metodologia da pesquisa para engenharias**. 1a. ed. 2020. Acessado dia 20 de novembro de 2021.

CUNHA, Alessandro. – **O que são sistemas embarcados?**, consultado em 26 de dezembro de 2021.

BALL, Stuart. **Embedded Microprocessor Systems: Real World Design**, 3rd edition, Editora: MCPros, EUA, 2005.

CHASE, Otávio. **Sistemas Embarcados**, Editora:SBA Jovem, Brasil, 2007.

Blog do Baú da eletrônica. **ESP32: Conhecendo o sucessor do ESP8266**, 2018. Disponível em: <<https://blog.baudaeletronica.com.br/conhecendo-esp32/>>. Acessado em 18 de novembro de 2021.

GOMES, Pedro. **Telemetria: O que é e como funciona?**, 2019. Disponível em: <<https://www.opservices.com.br/telemetria/3>>. Acessado em 17 de novembro de 2021.

MATTEDE, Henrique. **O que é relé? Como funciona um relé?**, 2018. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-rele-como-funciona-um-rele/>>. Consultado em 13 de novembro de 2021.

FILIPFLOP, filipflop. **Módulo Relé 5v dois canais**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-rele-5v-2-canais/>>. Consultado em 20 de novembro de 2021.

TECHTARGET, Tectarget. **Wireless Router**, 2005. Disponível em: <<https://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/wireless-router>>. Consultado em 22 de novembro de 2021.

BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V.J. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas** 2 ed. São Paulo: LTC, 2011.

FIGLIOLA, Richard. **Teoria E Projeto Para Medições Mecânicas**. [S.l.]: Ltc. ISBN, 2007.

BRUNETE, Alberto. SAN, Pablo. HERRERO, Rebeca. **Introducción a la Automatización Industrial**, 2020. Disponível em: <https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/>. Consultado em 30 de

novembro de 2021.

SANTOS, K. Vinente dos. **Fundamentos de eletricidade**. Centro de Educação Tecnológica do Amazonas, 2011.

MARTINS, G. **Eficiência energética**, 2009.

PELEGRINI, Matheus; MARTINS, Paulo. **Monitoramento de Consumo de Energia, Utilizando Arduino e Sensor de Tensão e Corrente Elétrica**. Consultado em 27 de dezembro em 2021

MELEXIS, Melexis, **Current Sensors Reference Design Guide**, rev.002, 10/2016.

GONÇALVES, Thieplo. **Implementação de amperímetro por sensor magnético de efeito Hall aplicado a instrumentação de carregadores de baterias tipo íon-lítio**, 2019.

NESBITT, B. (2011). **Handbook of Valves and Actuators: Valves Manual International**. Elsevier Science, 2021.

THOMAS. **Complete Guide to Actuators (Types, Attributes, Applications and Suppliers)**, 2016. Disponível em: <<https://www.thomasnet.com/articles/pumps-valves-accessories/types-of-actuators/>> Consultado em 28 de novembro de 2021.

SHABESTARI, N. P. **Fabrication of a simple and easy-to-make piezoelectric actuator and its use as phase shifter in digital speckle pattern interferometry**. Journal of Optics, 2019.

MASTER TECNOLOGIA INDUSTRIAL. **Guia completo de atuadores pneumáticos**. Disponível em: <<https://www.mtibrasil.com.br/guia-do-atuador-pneumatico.php>>. Consultado em 26 de novembro de 2021.

WEBSTER, J. G. **The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook**. Boca Raton, FL, Estados Unidos: CRC PRESS, 1999.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Automação industrial**. Salvador:[sn], 1999.

LIMA, Cassiano. **TELEMETRIA: Avaliação da produtividade de empilhadeiras em operações logísticas**, 2021. Consultado dia 17 de dezembro de 2021.

LAMIN, H. **Medição eletrônica em baixa tensão: Aspectos regulatórios e recomendações para implantação**, 2009.

ASHTON, Kevin: **That 'Internet of Things' Thing**. RFID Journal, 22 de julho de 2009.

Disponível em:
<<https://www.itrco.jp/libraries/RFIDjournal-That%20Internet%20of%20Things%20Thing.pdf>>

DODSON, Sean (9 de outubro de 2003). **The internet of things**. The Guardian, 2003. Disponível em:
<<https://www.theguardian.com/technology/2003/oct/09/shopping.newmedia>>. Consultado em 30 de outubro de 2021.

HÖLLER, J. TSIATSI, V. MULLIGAN, C. KARNOUSKOS, S. AVESAND, S. BOYLE, D. **From Machine-to-Machine to the Internet of Things: Introduction to a New Age of Intelligence**. Elsevier, 2014.

EVANS, Dave. **Internet de las cosas - Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo**. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), abril de 2011.

ZANJIREH, Mohammadi. MORTEZA. HADI, Larijani. **A Survey on Centralised and Distributed Clustering Routing Algorithms for WSNs**. IEEE Vehicular Technology Conference. VTC 2015. Glasgow, Scotland

FIALHO, A. B. **Automação pneumática: Projetos, dimensionamento e análise**. Editora Érica; 7ª edição. São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, Felipe. **Uma Arquitetura de Microserviços de Internet das Coisas para Casas Inteligentes**. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada 2, 2017.

<https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/gateway>

VALENTE, Mario. **Engenharia de Software Moderna Princípios Práticas para Desenvolvimento de Software com Produtividade**. Consultado dia 28 de dezembro de 2021.

TEGRA. **Aplicações web: o que são e quais suas vantagens? Entenda aqui**, Tegra, 2020. Disponível em: <<https://tegra.com.br/aplicacoes-web/>>. Consultado em 27 de dezembro de 2021.

ROVEDA, Hugo. **O que é back end, para que serve e como aprender em 2021**, Kenzie, 2021. Disponível em: <<https://kenzie.com.br/blog/back-end/>>. Consultado em 28 de dezembro de 2021.

ROVEDA, Hugo. **O que é front-end, para que serve e como aprender front-end**, Kenzie, 2020. Disponível em: <<https://kenzie.com.br/blog/front-end/>>. Consultado em 20 de dezembro de 2021.

KORTH, H.F. e SILBERSCHATZ, A.; **Sistemas de Bancos de Dados**. Makron Books, 2a. edição revisada, 1994.

DATE, C.J.; **Introdução a Sistemas de Bancos de Dados**, tradução da 4a. edição norte-americana, Editora Campus, 1991.

REZENDE, Ricardo. **Conceitos fundamentais de banco de dados**, 2006. Disponível em: <<https://www.devmedia.com.br/conceitos-fundamentais-de-banco-de-dados/1649>>. Consultado em 26 de dezembro de 2021.

FONSECA, Elton. **O que é HTTP, Request, GET, POST, Response, 200, 404?**. Treinaweb, 2019. Disponível em: <<https://www.treinaweb.com.br/blog/o-que-e-http-request-get-post-response-200-404>> Consultado em 27 de dezembro de 2021.

MEDEIROS, Israel; ÍCARO, Pedro; TAVAREZ, João Vítor. **Entenda a crise hídrica que ameaça o fornecimento de energia no Brasil**. Correio Braziliense, 2021. Disponível em:

<<https://www.correiobraziliense.com.br/brasil/2021/06/4931467-entenda-a-crise-hidrica-que-ameaca-o-fornecimento-de-energia.html>> Consultado em 15 de janeiro de 2022.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Resenha Mensal: O consumo de eletricidade no Brasil em junho de 2021 apresentou avanço de 12,5% em relação ao mesmo mês de 2020**. Empresa de Pesquisa Energética, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/resenha-mensal-o-consumo-de-eletricidade-no-brasil-em-junho-de-2021-apresentou-avanco-de-12-5-em-relacao-ao-mesmo-mes-de-2020>> Consultado em 15 de janeiro de 2022.