

# Climatização Eficaz em Data Centers: Desenvolvimento e Implementação de um Sistema de Controle e Monitoramento

## Effective Climate Control in Data Centers: Development and Implementation of a Control and Monitoring System

Francisco Manoel Portela  
Moura Alves de Carvalho  
Universidade Estadual do  
Piauí, Piriipiri, Piauí, Brasil.  
Laboratório de Engenharia de  
Software, Piriipiri, Piauí, Brasil.  
manoelmoura@aluno.uespi.br

José Vigno Moura Sousa  
Universidade Estadual do  
Piauí, Piriipiri, Piauí, Brasil.  
Laboratório de Engenharia de  
Software, Piriipiri, Piauí, Brasil.  
josevigno@prp.uespi.br

Carlos Alexandre Nery  
da Silva  
Universidade Estadual do  
Piauí, Piriipiri, Piauí, Brasil.  
Laboratório de Engenharia de  
Software, Piriipiri, Piauí, Brasil.  
carlosalexandre@aluno.uespi.br

Alcemir Rodrigues  
Santos  
Universidade Estadual do  
Piauí, Piriipiri, Piauí, Brasil.  
Laboratório de Engenharia de  
Software, Piriipiri, Piauí, Brasil.  
alcemir@prp.uespi.br

### ABSTRACT

Data centers play a crucial role in storing, managing, and processing data, requiring optimal environmental conditions to ensure effective operation of the equipment. This work proposes the development of an embedded system focused on the climate control and monitoring of small-scale data centers. To achieve this goal, infrared, temperature, and humidity sensors were employed, along with a dashboard to facilitate data analysis and decision-making. Two embedded systems were developed, which meet the proposed requirements and offer features such as data storage, graphical visualization, alert issuance, and remote control of cooling devices. The resulting prototype enabled continuous monitoring of temperature and humidity, contributing to ensuring ideal operating conditions in the data center. With remote operation capability and potential for improvements in efficiency and reliability of data center environments, the system presents itself as a solution to enhance the climate management of these spaces.

### Keywords

data centers, management, environmental conditions, em-

bedded system, control, climate monitoring

### RESUMO

Data centers desempenham um papel crucial no armazenamento, gerenciamento e processamento de dados, demandando condições ambientais ideais para garantir o funcionamento eficaz dos equipamentos. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema embarcado focado no controle e monitoramento climático de data centers de pequeno porte. Para atingir esse objetivo, foram empregados sensores infravermelho, de temperatura e umidade, em conjunto com um dashboard para facilitar a análise de dados e a tomada de decisões. Dois sistemas embarcados foram desenvolvidos, os quais atendem aos requisitos propostos e oferecem recursos como armazenamento de dados, visualização gráfica, emissão de alertas e controle remoto de dispositivos de refrigeração. O protótipo resultante permitiu o monitoramento contínuo da temperatura e umidade, contribuindo para a garantia de condições ideais de operação no data center. Com capacidade de operação remota e potencial para melhorias na eficiência e confiabilidade dos ambientes de data centers, o sistema apresenta-se como uma solução para aprimorar a gestão climática desses espaços.

### Palavras-Chave

data centers, gerência, condições ambientais, sistema embarcado, controle, monitoramento climático

## 1. INTRODUÇÃO

Data center (DC) são instalações físicas criadas para centralizar as redes e serviços de tecnologia da informação e

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

são de suma importância para qualquer organização. Sua principal função é disponibilizar os equipamentos e serviços fundamentais para o funcionamento adequado de empresas e organizações, além disso são responsáveis por comportar o tráfego e armazenamento de seus dados. Devido ao seu importante papel essas infra estruturas necessitam manter uma alta disponibilidade[1].

Devido à concentração de equipamentos e ao intenso processamento de informações em data centers, é crucial garantir um ambiente com climatização adequada, uma vez que esses dispositivos possuem componentes sensíveis a altas temperaturas [2]. Esse cuidado é essencial para evitar o superaquecimento dos componentes, o qual pode resultar em indisponibilidade devido a desligamentos forçados e danos ao hardware quando exposto a longos períodos de altas temperaturas.

O free-cooler é um método de resfriamento que aproveita a temperatura externa para refrigerar o ambiente interno, sendo utilizado em data centers localizados em regiões frias e secas para economizar energia, eliminando a necessidade de sistemas de refrigeração convencionais. Esse método se baseia na diferença de temperatura para realizar o resfriamento. No entanto, quanto mais alta a temperatura ambiente externa, mais desafiador se torna o uso da temperatura externa para resfriamento.

Nesse contexto, a pesquisa de Duc Van Le [3] tem como foco a construção e configuração de um data center de teste com refrigeração por free-cooler em condições tropicais. Nessa pesquisa foi demonstrada a viabilidade dessa técnica nessas condições, evidenciando que os servidores podem operar sem degradação no desempenho computacional mesmo em temperaturas de até 37 graus Celsius. No entanto, é importante ressaltar que o uso desse método requer cuidados especiais para lidar com contaminantes transportados pelo ar e ainda não está amplamente difundido.

Diante dessa realidade, é comum que as instalações de data centers, especialmente em regiões tropicais, dependam frequentemente do uso de aparelhos de ar-condicionado, que operam de forma contínua em conjunto com os servidores. Além disso, normas como a ASHRAE e a TIA-942 são seguidas para estabelecer a temperatura recomendada para o funcionamento desses centros de dados. Essas normas fornecem diretrizes e padrões que garantem um ambiente adequado e uma temperatura ideal dentro dos data centers, contribuindo para um desempenho confiável e uma vida útil prolongada dos equipamentos.

Contudo, aparelhos de refrigeração, como o ar-condicionado, muitas vezes não estão equipados com sistemas de detecção ou alerta para falhas que possam comprometer seu desempenho. Como resultado, em caso de falhas, pode ocorrer o aumento da temperatura dentro do data center. Além dos problemas causados pelo aumento da temperatura, a umidade no ambiente também é uma preocupação significativa. Em conjunto com as baixas temperaturas mantidas no data center, a umidade excessiva pode levar à condensação de água nos equipamentos, resultando em perda de dados ou danos irreparáveis aos equipamentos [4].

Desse modo, para garantir o controle adequado da temperatura e umidade em um data center, é crucial o auxílio de ferramentas externas especializadas para o monitoramento. Além disso, é necessário monitoramento frequente para verificar eventuais falhas e tomar medidas corretivas rapidamente. Essa responsabilidade é de extrema importância, por

tanto grandes organizações investem em equipamentos de última geração e contam com equipes especializadas dedicadas à manutenção de sua infraestrutura. Essas equipes dispõem de conhecimento técnico e experiência para garantir o funcionamento ideal do sistema e minimizar os riscos associados ao controle inadequado de temperatura e umidade.

Porém, é comum que instituições de pequeno porte, que não dispõem de tantos recursos para gerenciar sua infraestrutura, acabem utilizando aparelhos de climatização doméstica para resfriar seus data centers. No entanto, essa abordagem geralmente resulta em baixa eficiência de resfriamento [5]. Assim sendo, o objetivo desta pesquisa é desenvolver um sistema embarcado acessível e eficaz que possa melhorar o desempenho da climatização em data centers que utilizam aparelhos de refrigeração domésticos. Esse sistema proporcionará auxílio na coleta e armazenamento de dados climáticos, como temperatura e umidade, permitindo o acompanhamento e monitoramento por meio de um painel de controle. Além disso, ele possibilitará a visualização dos dados e a interação com os climatizadores de forma remota, tornando possível o controle e monitoramento de qualquer lugar do mundo.

Este trabalho estende um trabalho anterior do grupo. No trabalho anterior [6], foi concebido um sistema embarcado destinado a otimizar a climatização em data centers que empregam equipamentos de refrigeração doméstica. Este sistema é capaz de coletar e armazenar dados climáticos, tais como temperatura e umidade, proporcionando a capacidade de monitoramento através de um painel de controle e permitindo o controle remoto dos climatizadores a partir de qualquer local no mundo. Como contribuições adicionais, este trabalho inclui a integração do protocolo MQTT como intermediário para a coleta e armazenamento de dados, ampliando a abrangência e impacto do trabalho. A adição do protocolo MQTT visa especialmente facilitar a escalabilidade do projeto, proporcionando uma infraestrutura flexível e eficiente para lidar com volumes crescentes de dados e demandas futuras.

A estrutura deste trabalho segue conforme descrito a seguir: na seção 2, são apresentados os trabalhos relacionados, fornecendo um panorama dos estudos prévios que fundamentam o presente trabalho. A seção 3, proposta do trabalho, detalha os Materiais e Métodos utilizados para desenvolver o projeto, incluindo subseções para explicar todos os materiais usados no protótipo (3.1), o Sistema de Identificação de Protocolo IR para coleta de sinais infravermelhos (3.2) e o protótipo desenvolvido na pesquisa (3.3), delineando os passos seguidos na realização da pesquisa. A seção 4, resultados, apresenta os sistemas implementados e sua eficácia na coleta e monitoramento de dados climáticos. Por fim, a seção 5, conclusão, recapitula os principais achados, destacando a relevância do trabalho e indicando possíveis caminhos para futuras investigações.

## 2. TRABALHOS RELACIONADOS

Os servidores de TI (Tecnologia da Informação) possuem requisitos mais rígidos em relação à temperatura e umidade do ar, pois possuem uma maior liberação de calor comparado a edifícios em geral [7]. Embora existam outros métodos de resfriamento disponíveis, os aparelhos de ar-condicionado convencionais continuam sendo amplamente utilizados em data centers para garantir um ambiente térmico adequado para os servidores. No entanto, essa necessidade tem impul-

sionado pesquisas no campo do monitoramento e controle desses sistemas de refrigeração.

Em seu trabalho GM Sharif Ullah Al-Mamun [8], constrói uma rede de sensoriamento com vários nós para monitorar os aparelhos de ar-condicionado. Onde cada nó filho é equipado com sensores de temperatura e umidade e são distribuídos em cima dos racks com os equipamentos. Para a comunicação entre eles foram usados rádios que conectam os nós filhos ao nó pai, além disso é utilizado uma interface gráfica para selecionar cada nó e analisar separadamente temperatura e umidade. Apesar de possuir maior robustez e o monitoramento mais minucioso das condições climáticas de um data center, esse projeto se difere desta pesquisa por não apresentar uma solução de controle dos aparelhos, assim sendo, ele torna viável o monitoramento à distância mas não o controle.

Durante as pesquisas de Ricardo Alves de Farias [9], foi desenvolvido um sistema automatizado, baseado em Arduino, para gestão de aparelhos de ar-condicionado, que integra a tecnologia PLC (*Power Line Communication*). Além disso, desenvolveram um software de gerenciamento para interface entre o operador e o servidor Arduino. O software torna a interface mais amigável, e disponibiliza módulos que facilitam a gestão da automação dos ar-condicionados. Durante os testes realizados o sistema embarcado desenvolvido apresentou baixa latência e ausência de perda de pacotes o que prova a viabilidade do uso da tecnologia PLC para auxiliar na comunicação entre dispositivos de automação. Apesar de não ser aplicado a monitoramento de data center, sua pesquisa apresenta uma proposta similar a esta, oferecendo uma solução para controle e monitoramento de aparelhos de ar-condicionado, aliado a uma interface amigável ao usuário. Contudo, eles focam apenas no monitoramento de temperatura, negligenciando a umidade e fornecendo um controle bem limitado dos dispositivos, sendo possível apenas ligar ou desligar os aparelhos.

No trabalho de Alejandro Medina-Santiago [10], a *Internet of things (IoT)* foi usada para obter e analisar variáveis climáticas, a fim de identificar estratégias de implementação, em um sistema de monitoramento ideal, que atenda aos padrões estabelecidos para serem certificados pela *International Computer Room Experts Association (ICREA)* e a *Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRA)*. Assim sendo, ele segue as diretrizes térmicas ambientais estabelecidas pela ASHRAE que estabelece a variação de temperatura e umidade ideais para um data center. Sendo a variação de temperatura entre 18 °C e 27 °C e a variação de umidade entre 40% RH a 60% RH. Para isso, foi desenvolvido um sistema embarcado que capta a temperatura e umidade em 7 pontos do data center e envia a um servidor web, que os armazena em um banco de dados a cada 10 segundos para serem representados por meio de histogramas, gráficos radiais e gráficos de linhas.

O trabalho de NNA Cerqueira [11] se baseia no desenvolvimento de um protótipo para monitorar remotamente a temperatura e umidade em um data center. Para tal foi utilizado o microcontrolador ESP8266, um sensor de temperatura e umidade DHT11, display OLED para visualização dos dados, relé para acionamento dos condicionadores e a plataforma OpenWeatherMap para obter a temperatura externa. Além disso, foi realizado monitoramento gráfico através do ThingSpeak e o controle e monitoramento com o aplicativo Blynk, com notificações pelo aplicativo e no

email. Embora haja algumas semelhanças entre esse trabalho e o presente projeto, existem diferenças significativas. Esse projeto conta um maior número de sensores de temperatura, especialmente distribuídos para monitorar de forma precisa os pontos específicos, como servidores e dispositivos de routerboards. Além disso, o controle dos condicionadores é mais eficiente, preciso e não invasivo. E contar com interface aprimorada para visualização dos dados e interação com o protótipo.

No trabalho de Silva Donizetti [12], o objetivo é desenvolver um sistema de monitoramento local de temperatura, umidade relativa e presença de pessoas em datacenters e outros ambientes computacionais críticos. Para tal é usado o M5StickC que é um kit portátil baseado no ESP32 que possui diversos sensores integrados, como transmissor IR, microfone e sensor IMU 6-DoF, além de botões de uso geral. Além disso, foram utilizadas várias ferramentas como o broker MQTT Mosquitto, o Node-Red, o InfluxDB, o Grafana, o agente SMTP chamado sSMTP e o framework Python Flask para capturar, transmitir, armazenar e visualizar os dados ambientais. A visualização dos dados é feita por meio de gráficos de linha, que apresenta a média da temperatura dos últimos 5 minutos e caso detecte pontos fora da curva do gráfico envia imagem do gráfico por email, usando recursos do Grafana.

No seu trabalho, Isabela Félix da Silva e Matheus de Moura Gomes [13], desenvolveram um sistema eletrônico para mitigar os impactos negativos do uso de aparelhos de ar-condicionado, como o funcionamento em horários inadequados e a utilização incorreta pelos usuários. Para alcançar esse objetivo, foi criado um dispositivo embarcado capaz de identificar o protocolo de comunicação emitido por um LED infravermelho (IR) e replicá-lo através de um emissor, realizando assim a engenharia reversa. Além disso, foi utilizado um RTC (Real Time Clock - Relógio de Tempo Real) para monitorar o horário. Durante os períodos de funcionamento do ar-condicionado, o sistema realiza ajustes na temperatura com base na temperatura externa ao ambiente climatizado. Para a comunicação entre os dois sistemas, foram empregados transceptores LoRa (Long Range).

Esta pesquisa foi fundamentada principalmente nos trabalhos de Alejandro Medina-Santiago [10], NNA Cerqueira [11] e Guilherme da Silva Donizetti [12], os quais apresentaram protótipos específicos para aplicação em data centers. Além disso, a Tabela 1 apresenta uma análise comparativa das características dos principais trabalhos relacionados à proposta deste projeto. Adicionalmente, o estudo de Isabela Félix da Silva [13] foi crucial para o desenvolvimento de um protótipo não invasivo ao circuito dos sistemas de ar-condicionado. Esse enfoque inovador possibilitou a abordagem de questões relacionadas ao controle dos aparelhos de refrigeração dos data centers sem interferir na infraestrutura existente, oferecendo assim uma solução mais prática e viável.

### 3. PROPOSTA DO TRABALHO

A proposta deste trabalho é desenvolver um sistema embarcado para a análise e monitoramento climático em ambientes fechados, com foco em suprir as necessidade de controle e monitoramento de um data center de pequeno porte. Desta forma, esse projeto propõe a criação de um protótipo para coleta de temperatura e umidade que dispõem de diversos recursos, como armazenamento de dados, sua disposição

**Tabela 1: Tabela de características das plataformas. Protótipos de Referência**

Características	GM SHARIF ULLAH AL-MAMUN [8]	RICARDO ALVES DE FARIAS [9]	ALEJANDRO MEDINA-SANTIAGO [10]	CERQUEIRA ET AL. [11]	SILVA DONIZETT [12]	ISABELA FÉLIX DA SILVA [13]	PROTÓTIPO PROPOSTO
Realiza medições de temperatura	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Realiza medições de umidade	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Armazena os dados coletados	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gera gráficos de análise	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Oferece interação com o protótipo desenvolvido	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
É um sistema não invasivo	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Controla o sistema de ar condicionado	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Oferece garantia do controle dos sistemas de ar condicionado	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Específico para aplicação em data centers	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

através de gráficos (Grafana), a emissão de alertas, controle de aparelhos de refrigeração a distância e interação com o protótipo através do Telegram.

É fundamental destacar que o Grafana foi escolhido como painel de controle devido ao seu uso já estabelecido no data center onde o protótipo foi testado. Além disso, é importante ressaltar que o Telegram não possui registro no Brasil, o que levanta preocupações sobre sua segurança para uso no protótipo. Portanto, a interação com o projeto por meio do Telegram e a visualização dos dados pelo Grafana são temporárias, sendo utilizadas apenas para avaliar a viabilidade da proposta desta pesquisa. Para o futuro, o objetivo é desenvolver um software dedicado ao protótipo, com o objetivo de aprimorar o controle, monitoramento e, principalmente, reforçar a segurança.

### 3.1 Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento desse projeto, foi utilizado a distribuição Ubuntu GNU/Linux 20.04 LTS amd64, juntamente com o ambiente de desenvolvimento Arduino IDE na versão 1.8.19. Além disso, foram usados os materiais listados nas tabelas 2 e 3, essas tabelas contêm os modelos e a quantidade de cada material usado no protótipo. Em suma, serão utilizados resistores, led emissor infravermelho, receptor infravermelho, sensor de temperatura e umidade AHT10, sensor de temperatura Ds18b20, o sensor de corrente SCT-013-000 e dois microcontroladores. Sendo eles o Arduino Uno e o Wemos D1 Mini.

No projeto, os dois microcontroladores são utilizados de forma independente. O sistema embarcado criado com o Arduino Uno, conforme ilustrado na Figura 1 e detalhado na subseção 3.2 (Sistema de Identificação de Protocolo IR), é utilizado para realizar a engenharia reversa do protocolo de comunicação infravermelho do controle dos aparelhos de refrigeração. Ele é exclusivamente utilizado para obter o si-

nal infravermelho necessário no protótipo desenvolvido nesta pesquisa. Os materiais usados para o desenvolvimento são listados na tabela 2.

**Tabela 2: Materiais para Identificação de Protocolo IR.**

Modelo	Quantidade	Datasheet
Arduino Uno	1	[14]
Receptor Infravermelho (VS18398B)	1	[15]
Resistor de 10k	1	[16]

Por outro lado, o sistema embarcado implementado com o D1 mini, conforme ilustrado na Figura 2 e detalhado na subseção 3.3 (Protótipo desenvolvido), representa o protótipo proposto nesta pesquisa. Este sistema desempenha diversas funções vitais, incluindo o envio e recebimento de mensagens pelo Telegram, a coleta de dados climáticos por meio do sensor de temperatura e umidade, bem como o controle dos aparelhos de refrigeração. Além disso, é responsável por enviar os dados coletados para um banco de dados. Para essa finalidade, optou-se pelo uso do protocolo MQTT. O protótipo realiza a publicação dos dados em um servidor Mosquitto, que, por sua vez, encaminha-os para um servidor Node-RED, sendo, posteriormente, direcionados ao banco de dados.

Esta estratégia de armazenamento foi selecionada considerando a escalabilidade do projeto, bem como aspectos de segurança, uma vez que o objetivo principal é o controle e monitoramento remoto do data center. Para manter o projeto não invasivo ao circuito elétrico dos aparelhos de refrigeração, optou-se por utilizar o sinal infravermelho para o controle. Os materiais utilizados no desenvolvimento deste protótipo estão listados na Tabela 3.

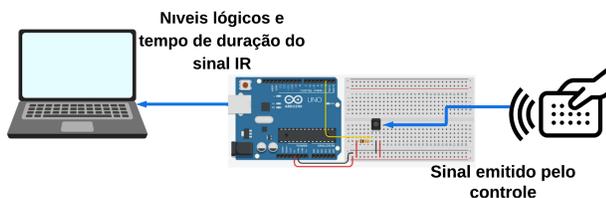
**Tabela 3: Materiais usados no protótipo.**

Modelo	Quantidade	Datasheet
Wemos Esp D1 Mini	1	[17]
Led infravermelho 5mm	1	[18]
Resistor 10K	1	[16]
Sensor Ds18b20	2	[19]
Sensor AHT10	1	[20]
Sensor SCT-013-000	1	[21]

### 3.2 Sistema de Identificação de Protocolo IR

A divisão de tarefas entre os microcontroladores ocorreu devido à dificuldade de encontrar bibliotecas ou materiais que fornecessem os códigos infravermelhos necessários para controlar os aparelhos de refrigeração. Como solução, desenvolveu-se um sistema embarcado que captura o sinal infravermelho emitido por um controle remoto e o utiliza para configurar o protótipo.

A figura 1 ilustra o sistema embarcado que construído, utilizando um Arduino Uno, um receptor infravermelho e um resistor de 10k. O objetivo principal desse estudo foi desenvolver um sistema compatível com diferentes fabricantes de aparelhos de ar-condicionado, através do reconhecimento dos protocolos de comunicação emitidos pelos controles remotos, sejam eles abertos ou proprietários.



**Figura 1: Sistema de Identificação de Protocolo IR**  
Fonte: Autoria própria

O controle remoto do aparelho de ar-condicionado, independentemente do fabricante, emite um sinal correspondente a uma tecla específica. Esse sinal é recebido pelo sensor infravermelho (IR), que converte o sinal em bits seriais e os envia para uma entrada digital do sistema microprocessado. O sistema, por sua vez, possui um código que interpreta os bits recebidos do sensor IR, enviando os níveis lógicos e a duração de cada bit para o computador por meio de uma interface USB, como mostrado na figura 1. Em seguida este sinal é usado na configuração do protótipo, ilustrado na figura 2.

### 3.3 Protótipo desenvolvido

O modelo funcional do protótipo proposto nesta pesquisa é ilustrado na Figura 2. Conforme representado na figura, o microcontrolador realiza a coleta da temperatura e umidade do data center, além de desempenhar a função de comunicação bidirecional entre o Telegram e o microcontrolador. O microcontrolador também é responsável por executar os comandos infravermelhos para controlar o ar-condicionado, bem como publicar os dados coletados através do protocolo MQTT, a fim de armazená-los no banco de dados.

Para a coleta de dados climáticos no data center, foi utilizado o sensor de temperatura e umidade AHT10 devido ao seu tamanho compacto. O sensor foi alimentado com uma

tensão de 3.3V, conforme ilustrado na figura 3. No projeto a comunicação entre o sensor AHT10 e o microcontrolador foi estabelecida utilizando o protocolo I2C (Inter-Integrated Circuit). Esse protocolo utiliza duas linhas de comunicação, SCL (Serial Clock) e SDA (Serial Data), para transmitir os sinais de relógio e dados, respectivamente. No microcontrolador utilizado, as portas D1 e D2 foram designadas para a comunicação com o sensor AHT10, pois correspondem às portas SCL e SDA, respectivamente.

Além disso, foram utilizados dois sensores de temperatura DS18B20. Um deles foi posicionado próximo aos servidores, enquanto o outro foi colocado acima dos equipamentos responsáveis por receber e redistribuir a internet em toda a universidade, como ilustrado na figura 4. Esses pontos de coleta foram escolhidos por representarem áreas críticas em termos de acumulação de calor.

No projeto, os dados de temperatura e umidade coletados pelo sensor são temporariamente armazenados no microcontrolador. O microcontrolador foi programado para calcular a média dessas grandezas. Essa abordagem tem o objetivo de reduzir as pequenas variações entre cada amostra, proporcionando uma visão mais estável das condições climáticas. A cada 2 minutos, os dados de temperatura e umidade são enviados para o banco de dados, garantindo que os gráficos do painel de controle estejam sempre atualizados. Além disso, essa frequência de envio minimiza o armazenamento excessivo de amostras, mantendo apenas as informações necessárias.

Para o armazenamento e gerenciamento dos dados, utilizou-se o banco de dados MariaDB juntamente com o sistema de gerenciamento Phpmyadmin. Essa combinação oferece uma solução robusta e confiável para o armazenamento dos registros coletados.

A comunicação entre o microcontrolador D1 mini e o MariaDB é estabelecida por meio do protocolo MQTT. Este protocolo, conhecido por sua leveza, é amplamente utilizado em projetos de automação e IoT (Internet das Coisas), oferecendo facilidade de uso e suportando múltiplos clientes como subscribes (recebimento de dados) ou como publishers (envio de dados) [22]. O MQTT desempenha um papel crucial no desenvolvimento de IoT, servindo como meio de comunicação entre dispositivos, sensores e clientes que monitoram, permitindo suas interações pela rede de internet.

Para transmitir as informações, o microcontrolador envia os dados ao broker (servidor Mosquitto), que os redistribui aos inscritos nos tópicos correspondentes. Posteriormente, para armazená-las no banco de dados, utiliza-se o Node-Red, reconhecido como um framework amplamente empregado para o tratamento e redirecionamento de dados na internet. Ao se inscrever nos tópicos, o Node-Red segmenta e encaminha essas informações para o banco de dados, conforme ilustrado na figura 2. Essa estratégia foi adotada com o intuito de simplificar a escalabilidade do projeto, possibilitando a expansão da rede com a inclusão de mais nós e a coleta de informações provenientes de diversos pontos do data center.

Com essa integração entre o microcontrolador e o MariaDB, é possível alimentar a base de dados com os dados coletados, o que viabiliza a visualização dessas informações por meio de gráficos e a análise através de dashboards. Isso proporciona uma compreensão detalhada das condições climáticas do ambiente monitorado, contribuindo para a tomada de decisões informadas e o gerenciamento eficaz do

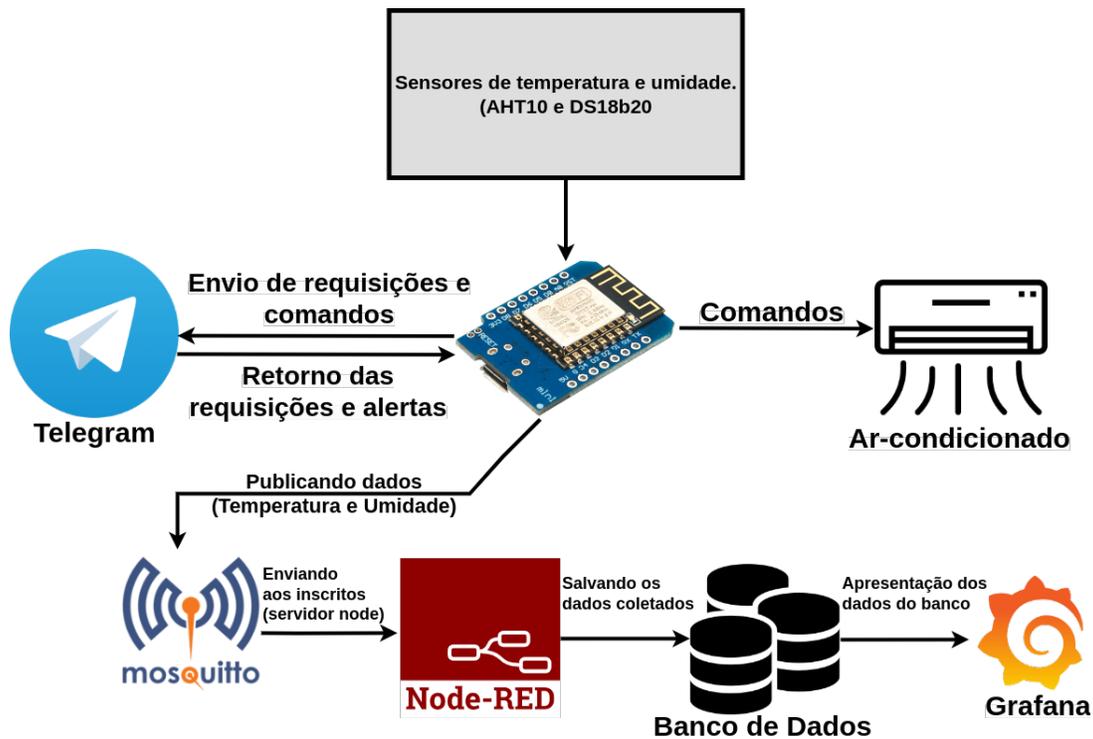
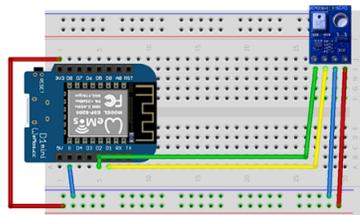


Figura 2: Modelo funcional  
Fonte: Autoria própria



VIN – 3.3 V | GND – GND | SCL – D1 (GPIO5) | SDA – D2 (GPIO4)

Figura 3: Sistema de coleta de dados climático do data center  
Fonte: Autoria própria

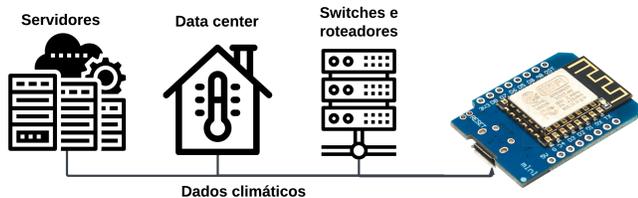


Figura 4: Representação dos Dados Climáticos Coletados e Enviados ao Microcontrolador  
Fonte: Autoria própria

data center.

No projeto, foi realizada a integração do banco de dados com o Grafana. A escolha do Grafana como ferramenta de dashboard se deu devido ao seu uso já estabelecido no data center onde o protótipo foi testado e por ser uma plata-

forma web de código aberto. O Grafana oferece suporte a várias fontes de dados e permite a visualização e análise de dados em tempo real. Essa integração possibilitou a criação de painéis personalizados com gráficos, proporcionando uma visualização intuitiva e facilitando a análise dos dados coletados.

O dashboard criado no Grafana é ilustrado na figura 5 e oferece uma visão detalhada dos dados coletados pelo sensor AHT10. Nele, é possível acompanhar a leitura mais recente de temperatura e umidade, fornecendo uma análise instantânea das condições climáticas dentro do data center. As informações sobre a temperatura do ambiente onde estão localizados os servidores e dispositivos de rede são restritas ao administrador do data center, sendo acessíveis apenas por meio do Telegram.

Além disso, o dashboard apresenta indicadores de alerta na parte superior dos mostradores de temperatura e umidade. Esses indicadores variam de verde ou azul, indicando condições favoráveis, amarelo para situações de atenção e vermelho para alertas críticos de perigo. Essa visualização intuitiva permite uma rápida identificação de variações indesejadas nas condições do ambiente monitorado.

Por fim, o Grafana oferece a possibilidade de visualizar gráficos que representam os dados de temperatura e umidade ao longo do tempo. Essa funcionalidade permite analisar a evolução dessas variáveis e identificar possíveis correlações entre elas. Essa análise desempenha um papel fundamental na compreensão das interações entre temperatura e umidade, fornecendo insights valiosos para a tomada de decisões informadas e eficazes no gerenciamento adequado do ambiente do data center.



**Figura 5: Interface do grafana**  
 Fonte: Autoria própria

Toda a interação com o protótipo foi realizada através do Telegram. Para isso, foi necessário criar um bot no Telegram usando o BotFather, um bot específico do Telegram para criação e configuração de bots. A criação do bot foi necessário pois o ID do Bot é indispensável para o projeto. Em seguida, utilizou-se a biblioteca CTBot disponível no Arduino IDE para estabelecer a comunicação entre o bot criado e o microcontrolador. Sendo assim, quando uma mensagem é enviada ao bot, ele a encaminha para o microcontrolador, que fica aguardando a chegada das mensagens. Quando o microcontrolador recebe uma mensagem, ele armazena o ID do usuário que a enviou, juntamente com o nome, sobrenome e o conteúdo da mensagem.

O microcontrolador foi programado para identificar os administradores pelo ID de usuário. Caso o ID de usuário não esteja registrado como administrador do sistema, o solicitante tem acesso apenas a comandos públicos que estão descritos na tabela 4, como solicitar a temperatura e umidade do data center, além de obter a lista de comandos disponíveis. O bot responde à mensagem com o nome e sobrenome do usuário, seguido das informações solicitadas. Se a solicitação for inválida, o bot retorna uma mensagem informando sobre o comando inválido e sugere o comando para solicitar a lista de comandos disponíveis.

**Tabela 4: Comandos públicos**

Comando	Descrição
/temperatura	Retornar a temperatura do local
/umidade	Retorna a umidade do local
/status	Retorna temperatura e umidade do local
/start	Retorna todos os comandos disponíveis

No entanto, se o ID de usuário estiver registrado como administrador do sistema, o usuário terá acesso a todos os comandos disponíveis para usuários normais, além de receber dados adicionais, como a temperatura dos servidores, dispositivos de rede e informações sobre o consumo dos aparelhos de refrigeração. Além disso, o administrador tem a opção de controlar esses dispositivos por meio de comandos, podendo alterar a temperatura e ligar/desligar os aparelhos com os comando descritos na tabela 5.

**Tabela 5: Comandos dos administradores**

Comando	Descrição
Ligar	Comando para ligar o aparelho.
Desligar	Comando para desligar o aparelho.
17 - 22	Comando para determinar a temperatura.

É importante ressaltar que a biblioteca CTBot, usada para a comunicação com o bot do Telegram, requer uma biblioteca adicional chamada ArduinoJson. Essa biblioteca está disponível na versão 6.21.2, mas nossos testes indicaram que a biblioteca CTBot apresenta mau funcionamento em versões do ArduinoJson superiores à 5.13.5. Por fim, como o uso do Telegram é apenas uma solução temporária, optou-se por permanecer usando a esta biblioteca, mesmo com essa limitação de atualização.

Na seção 3.2 deste trabalho (Sistema de Identificação de Protocolo IR), foi detalhado o desenvolvimento de um sistema embarcado capaz de decodificar sinais infravermelhos emitidos por controles remotos, mesmo quando o protocolo utilizado é proprietário. Após essa etapa, os dados decodificados são transferidos para o D1 mini, que utiliza um LED emissor de sinal infravermelho de 5 mm, ilustrado na figura 6. Esse LED emite um sinal com nível lógico e duração idênticos aos sinais coletados pelo sensor.



**Figura 6: Led que controla os aparelhos de refrigeração**  
 Fonte: Autoria própria

Os testes desses sistemas embarcados foram conduzidos no Núcleo de Processamento de Dados (NPD) da Universidade

Estadual do Piauí, localizado no campus Piripiri. O NPD, embora seja um pequeno data center, desempenha um papel crucial ao atender às necessidades de processamento de dados da universidade. Ele é equipado com sistemas de refrigeração, como aparelhos de ar-condicionado, que são diariamente ajustados para manter uma temperatura ideal para o funcionamento adequado dos dispositivos.

#### 4. RESULTADOS

Os resultados obtidos foram o desenvolvimento de dois sistemas embarcados. O primeiro sistema, representado na figura 1 foi desenvolvido para identificação de protocolo IR emitidos por controle remoto, enquanto o segundo sistema, como ilustrado no modelo funcional da figura 2, foi desenvolvido como um protótipo para coleta de temperatura e umidade, que oferece recursos como armazenamento de dados, emissão de alertas, controle remoto de aparelhos de refrigeração e interação através do Telegram.

O primeiro sistema desenvolvido foi o de identificação de protocolo IR. Com esse sistema, tornou-se possível capturar e decodificar com precisão os sinais infravermelhos emitidos por controles remotos de diferentes fabricantes, incluindo protocolos proprietários. Essa funcionalidade permitiu configurar o protótipo de acordo com o sinal capturado, tornando-o compatível com uma ampla variedade de aparelhos de ar-condicionado. Dessa forma, o protótipo pode operar com aparelhos de ar-condicionado de qualquer fabricante, ampliando sua compatibilidade.

O segundo sistema desenvolvido é responsável pela coleta e armazenamento dos dados climáticos, controle dos aparelhos de refrigeração e comunicação através do Telegram. Além disso foi realizada a integração do banco de dados com a ferramenta de dashboard Grafana, para análise e monitoramento dos dados.

A coleta de dados climáticos, como temperatura e umidade, foi realizada com o sensor AHT10, proporcionando uma base para monitorar as condições dentro do data center e verificar se os aparelhos de refrigeração estão funcionando adequadamente. Além disso, os sensores de temperatura DS18B20 permitiram avaliar a temperatura nos pontos onde o calor é mais concentrado, como servidores e dispositivos de distribuição de internet. Esses dados coletados forneceram informações valiosas para o gerenciamento eficiente do ambiente térmico do data center.

O processo de armazenamento de dados no banco de dados MariaDB, por meio de MQTT, ocorreu sem problemas desde a implementação e início dos testes. A base de dados do projeto agora abriga mais de cento e oitenta mil amostras. Esses dados estão prontamente acessíveis para análise por meio do Grafana, que proporciona uma interface intuitiva, facilitando a compreensão e análise dos dados.

O Grafana exibe os dados climáticos em tempo real, com indicadores de alerta que mudam de cor para indicar o nível de alerta, como mostrado na figura 5. A cor varia de verde ou azul para uma situação adequada, amarelo para estado de alerta e vermelho para perigo. Além disso, o Grafana é uma plataforma versátil e fácil de manipular, permitindo aos administradores do sistema editar ou criar seus próprios gráficos e personalizar o painel de controle conforme necessário. Gráficos também foram utilizados para representar a evolução das variáveis ao longo do tempo, possibilitando a análise de tendências e a identificação de possíveis correlações.

A interação com o bot do Telegram mostrou-se altamente

eficiente, atendendo a todas as requisições com sucesso. Embora exista um pequeno atraso de alguns segundos, isso não afeta significativamente o uso do bot. Além disso, o bot possui um recurso de armazenamento de mensagens caso ocorra uma perda de conexão com o microcontrolador. Conforme ilustrado no teste da Figura 7, as mensagens foram enviadas ao bot no dia 8 de junho, porém o protótipo estava desligado naquele momento. O bot armazenou essas mensagens e as encaminhou assim que detectou que o protótipo estava ligado novamente. As mensagens foram recebidas pelo protótipo no dia seguinte, pela manhã, quando ele foi religado, e ele conseguiu responder adequadamente. Isso demonstra a robustez do sistema, garantindo que nenhuma mensagem seja perdida durante a interação.

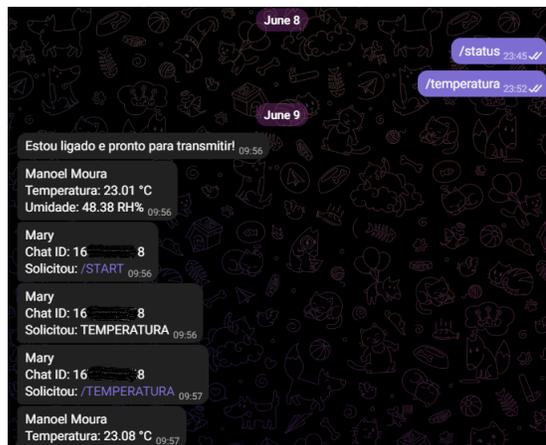


Figura 7: Teste de persistência das mensagens

Fonte: Autoria própria

O controle de recursos do protótipo através da identificação do administrador por ID também se mostrou muito eficiente. Com demonstrado nas figuras 8 e 9, foram realizados testes usando usuários sem privilégios de administração para tentar controlar o ar-condicionado. Com resultado eles foram incapazes de executar os comandos de administradores, listados na tabela 4. Além disso o usuário registrado como administrador foi capaz de receber todas as requisições feitas ao bot e controlar os aparelhos de refrigeração.

Para confirmar os comandos enviados ao aparelho de refrigeração, foi utilizado um sensor de leitura de corrente, conforme demonstrado na Figura 10. Esse sensor foi escolhido por ser não invasivo, permitindo a captura de dados sobre corrente elétrica sem perturbar o sistema em operação, o que estava alinhado com uma das metas do trabalho, que era realizar o monitoramento e controle de forma não invasiva.

Esse sensor possibilitou a leitura da corrente elétrica, o que permitiu uma estimativa do consumo e a determinação do status de ligado ou desligado do aparelho de refrigeração. A leitura da corrente foi fundamental para confirmar se o aparelho de ar-condicionado estava realmente ligado ou desligado. Um fluxo de corrente indicava que o aparelho estava ligado; caso contrário, concluíam que estava desligado.

Conforme ilustrado na Figura 8, usuários sem privilégios de administrador têm permissão para solicitar o status do protótipo, o qual retorna a temperatura e umidade em tempo real do data center. No entanto, como demonstrado na fi-

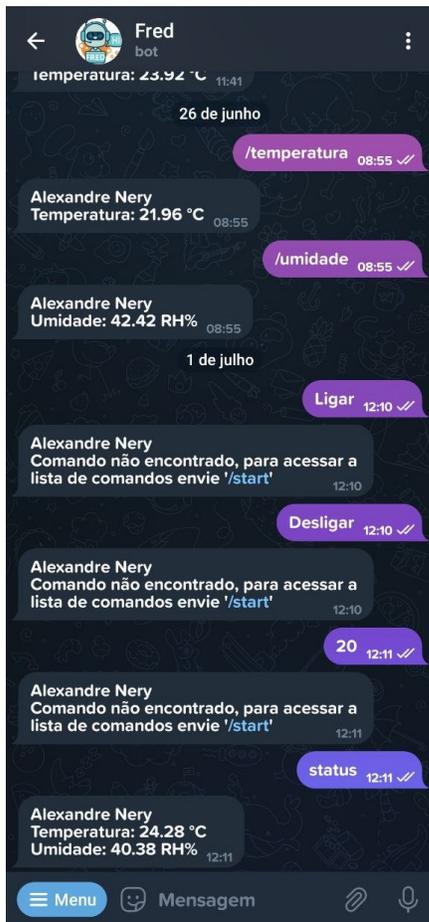


Figura 8: Usuário sem privilégios de administração tentando controlar o ar-condicionado.

Fonte: Autoria própria

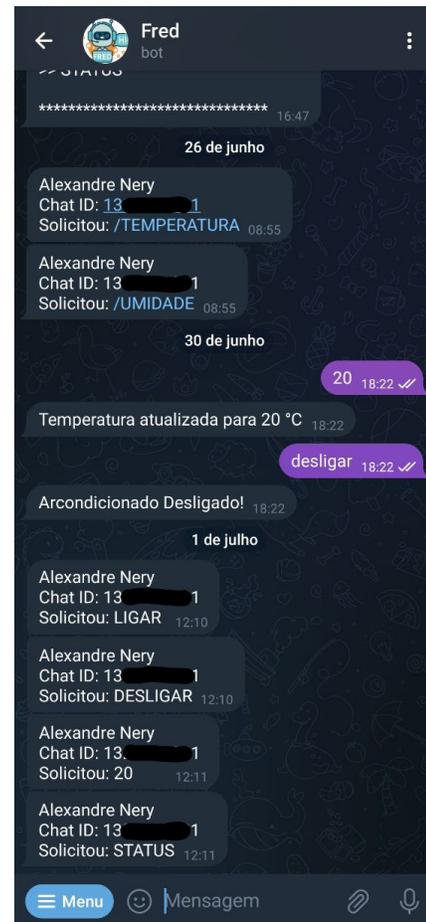


Figura 9: Usuário administrador controlando o ar-condicionado e recebendo solicitações de usuários não administradores.

Fonte: Autoria própria

gura 11, quando esse mesmo comando é executado por um administrador, ele obtém uma coleção mais abrangente de resultados. Além das informações de temperatura e umidade, o administrador recebe também a temperatura na região dos servidores e dos aparelhos de distribuição de internet (routers, switches). Além disso, são fornecidas informações adicionais sobre o aparelho de refrigeração, como corrente, tensão e uma estimativa do consumo.

Sobre à medição da tensão do aparelho de refrigeração, com o intuito de preservar a segurança e manter o protótipo não invasivo, essa informação foi obtida utilizando um multímetro, apenas para estabelecer um valor padrão no microcontrolador e, assim, estimar o consumo do aparelho de refrigeração. Essa abordagem tem como objetivo assegurar a integridade do sistema e evitar possíveis riscos relacionados à manipulação direta da tensão do equipamento de refrigeração.

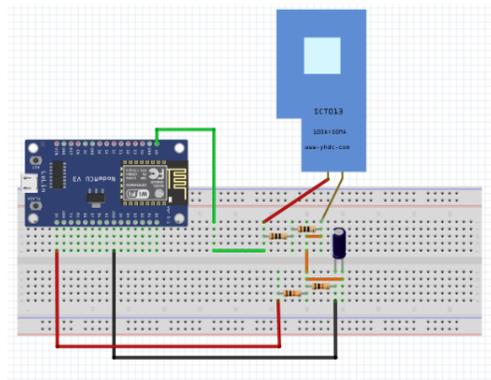


Figura 10: Circuito para coleta de corrente

Fonte: autocorobotica.blog.br

## 5. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um protótipo de controlador de temperatura e umidade acessível economicamente, especialmente projetado para atender às necessidades de um data center. O foco principal foi alcançar

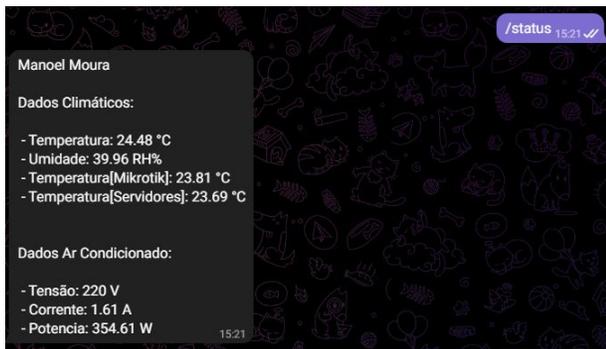


Figura 11: Solicitação de status por um usuário administrador  
Fonte: Autoria própria

a eficácia no controle e monitoramento climático, visando promover maior segurança e reduzir indisponibilidades no ambiente.

Com base na revisão da literatura na área, as informações obtidas foram fundamentais para orientar a construção e a montagem do projeto. A partir dessas informações, foi identificada a possibilidade de integração de diversos componentes ao microcontrolador D1 mini, possibilitando a criação de um protótipo de hardware que atendesse aos objetivos estabelecidos no escopo do presente trabalho.

O protótipo desenvolvido permitiu o monitoramento contínuo da temperatura e umidade dentro do data center, fornecendo informações valiosas para garantir condições ideais de operação. Com base nos dados coletados, o sistema de controle foi capaz de auxiliar a manter os níveis adequados de temperatura e umidade.

Ao oferecer uma solução de baixo custo, o protótipo demonstrou viabilidade econômica para implementação em data centers de diferentes escalas. Além disso, a autonomia proporcionada pelo sistema permitiu uma operação mais eficiente, reduzindo a dependência de intervenções manuais e minimizando os riscos de falhas ou indisponibilidades devido a variações climáticas indesejáveis.

Com a implementação deste protótipo de controlador de temperatura e umidade, espera-se melhorar significativamente o ambiente de um data center, proporcionando condições climáticas estáveis e seguras para o funcionamento adequado dos equipamentos e sistemas. Isso resulta em um ambiente mais confiável e eficiente, com menor probabilidade de interrupções ou danos aos componentes críticos.

Com base no que foi apresentado, podemos concluir que o trabalho realizado se mostrou útil e viável como uma solução para um data center. Isso se deve a diversos fatores, como o baixo custo, a capacidade de aplicação remota e a facilidade de manipulação de hardware e software. Além disso, o projeto demonstrou ser suscetível a expansões futuras, o que o torna adaptável às necessidades em constante evolução de um data center.

Como trabalho futuro, planeja-se expandir o projeto com distribuição de nós com microcontroladores, visando realizar o controle e gerenciamento automático dos aparelhos de refrigeração. Além disso, pretende-se implementar o desligamento automático dos servidores em caso de superaquecimento e desenvolver um software dedicado ao protótipo.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Djalma Teixeira, Adriano Vogel, and Dalvan Griebler. Proposta de monitoramento e gerenciamento inteligente de temperatura em datacenters. In *Anais da XVII Escola Regional de Redes de Computadores*, pages 33–40, Porto Alegre, RS, Brasil, 2019. SBC.
- [2] AS Tanenbaum and N Machado Filho. Sistemas operacionais modernos (vol. 4). *Único*, (Copyright, 1992), page 152, 2016.
- [3] Duc Van Le, Yingbo Liu, Rongrong Wang, Rui Tan, and Lek Heng Ngoh. Experiences and learned lessons from an air free-cooled tropical data center testbed. In *Proceedings of the 7th ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Buildings, Cities, and Transportation*, pages 160–169, 2020.
- [4] Chrisjonpane F Lazaga, Aldrich Kevin S Rodriguez, Geoffrey T Salvador, and Jo-Ann V Magsumbol. Optimization of dew point, humidity, and temperature in data centers using genetic algorithm with multiple linear regression. In *TENCON 2022-2022 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, pages 1–5. IEEE, 2022.
- [5] Mustafa Kuzay, Aras Dogan, Sibel Yilmaz, Oguzhan Herkiloglu, Ali Serdar Atalay, Atila Cemberci, Cagatay Yilmaz, and Ender Demirel. Retrofitting of an air-cooled data center for energy efficiency. *Case Studies in Thermal Engineering*, 36:102228, 2022.
- [6] Francisco Carvalho, José Sousa, Alcemir Santos, and Carlos Silva. Gerenciamento e monitoramento do sistema de ar-condicionado em data centers. In *Anais do XVI Encontro Unificado de Computação do Piauí*, pages 138–145, Porto Alegre, RS, Brasil, 2023. SBC.
- [7] Xiong Zhuang Meng, Junli Zhou, Xuejiao Zhang, Zhiwen Luo, Hui Gong, and Ting Gan. Optimization of the thermal environment of a small-scale data center in china. *Energy*, 196:117080, 2020.
- [8] GM Sharif Ullah Al-Mamun, Firuz Kabir, Fahima Nazeen, and Jarin Sobah. A review on data center monitoring system using smart sensor network. *International Research Journal of Science, Technology, Education, and Management*, 2(1):1–1, 2022.
- [9] Ricardo Alves de Farias, Saulo Correa Peixoto, Agnaldo Volpe Lovato, ALEX FERREIRA DOS SANTOS, and Robson Hebraico Cipriano Maniçoba. Aplicação web para automação de ar-condicionado via integração das tecnologias arduino e power line communication. *Revista Semiárido De Visu*, 10(1), 2022.
- [10] Alejandro Medina-Santiago, Ana Dalia Pano Azucena, José Manuel Gómez-Zea, José Angel Jesús-Magaña, Maria de la Luz Valdez-Ramos, Eutimio Sosa-Silva, and Fernando Falcon-Perez. Adaptive model iot for monitoring in data centers. *IEEE Access*, 8:5622–5634, 2019.
- [11] NNA Cerqueira, DA Narde, RAH Dias, ES Leite, and PRR Barreto. Controle inteligente de temperatura e umidade em data center. In *Congresso de Ensino Pesquisa e Extensão- CONEPE*, 2021.
- [12] Guilherme da Silva Donizetti, Luiz Fernando da Costa Rodrigues, Eugênio Sper de Almeida, and Márcio AA Santana. Uso da iot para monitoramento de temperatura, umidade e presença em data centers. *Revista Eletrônica de Iniciação Científica em*

*Computação*, 21(1), 2023.

- [13] Isabela Félix da Silva and Matheus de Moura Gomes. Projeto e desenvolvimento de sistema não invasivo para eficiência energética em aparelhos de ar condicionado. 2022.
- [14] Arduino datasheet. Online.
- [15] MSS Eletrônica. Datasheet do produto 840. <https://www.msseletronica.com.br/arquivos/840.pdf>, Ano desconhecido. Acesso em: 14 de julho de 2023.
- [16] Maxim Integrated Products. MAX5492 Datasheet. <https://datasheetspdf.com/pdf-file/560579/MaximIntegratedProducts/MAX5492/1>. Acesso em: 14 de julho de 2023.
- [17] ESP8266EX Datasheet. <https://www.makerhero.com/img/files/download/ESP8266EX-Datasheet.pdf>. Acessado em 14 de julho de 2023.
- [18] Diodo Infravermelho 5mm Encapsulamento Azul Transparente 940Nm Datasheet. <https://cromatek.com.br/datasheet/optoeletronicos/diodo-infravermelho-5mm-encapsulamento-azul-transparente-940Nm-EI1L2BT.pdf>. Acessado em 14 de julho de 2023.
- [19] GAIMC. GTS200 Temperature Sensor Datasheet. <https://www.gaimc.com/Uploads/Download/Temperature/GTS200.pdf>. Acessado em 14 de julho de 2023.
- [20] AHT10 Datasheet. [https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/1912111437\\_Aosong-Guangzhou-Elec-AHT10\\_C368909.pdf](https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/1912111437_Aosong-Guangzhou-Elec-AHT10_C368909.pdf). Acessado em 14 de julho de 2023.
- [21] SCT013 Datasheet. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1159366/YHDC/SCT013.html>.
- [22] Asif Ali Laghari, Kaishan Wu, Rashid Ali Laghari, Mureed Ali, and Abdullah Ayub Khan. A review and state of art of internet of things (iot). *Archives of Computational Methods in Engineering*, pages 1–19, 2021.
- [23] Emanuel Xavier. Medindo corrente ac com nodemcu e sct-013-000. <https://autocorerobotica.blog.br/medindo-corrente-ac-com-nodemcu-e-sct-013-000/>, 2023.