

Gerenciamento e monitoramento do sistema de ar-condicionado em data centers

Francisco Manoel Portela Moura Alves de Carvalho^{1,2}, José Vigno Moura Sousa^{1,2},
Alcemir Rodrigues Santos^{1,2}, Carlos Alexandre Nery da Silva^{1,2}

¹Universidade Estadual do Piauí, Piripiri, Piauí, Brasil.

²Laboratório de Engenharia de Software, Piripiri, Piauí, Brasil.

{manoelmoura, carlosalexandre}@aluno.uespi.br, {josevigno,alcemir}@prp.uespi.br

Abstract. *Data centers are physical facilities built for storing and processing data. Therefore, they are designed to guarantee maximum safety and ideal environmental conditions for the operation of the equipment. Thus, this research aims to develop an embedded system focused on climate control and monitoring of a data center. For this, infrared sensors, temperature and humidity sensors were used, along with a dashboard to help in decision making. Finally, two embedded systems were developed that together meet the objectives.*

Resumo. *Data centers são instalações físicas construídas para o armazenamento e processamento de dados. Assim sendo, eles são projetados para garantir a máxima segurança e as condições ambientais ideais para o funcionamento dos equipamentos. Desse modo, essa pesquisa visa o desenvolvimento de um sistema embarcado focado no controle e monitoramento climático de um data center. Para tal, foram usados sensores infravermelho, sensores de temperatura e umidade, juntamente com um dashboard para ajudar na tomada de decisões. Por fim, foram desenvolvidos dois sistemas embarcados que juntos atendem os objetivos.*

1. Introdução

Os Data Centers (DC) desempenham um papel vital em organizações de diversos setores, centralizando redes e serviços de tecnologia da informação. Essas infraestruturas são responsáveis por fornecer serviços fundamentais para o adequado funcionamento das empresas, além de comportar o tráfego e armazenar dados. A alta disponibilidade é um requisito crucial para essas instalações, pois ela garante a continuidade das operações [Teixeira et al. 2019].

Devido à concentração de equipamentos e ao intenso processamento de informações nos Data Centers, a climatização adequada torna-se um aspecto crucial para garantir o funcionamento eficiente dessas instalações. Isso ocorre porque os dispositivos presentes nesses centros contêm componentes sensíveis a altas temperaturas (Tanenbaum, 2016), o que pode levar à indisponibilidade dos serviços e até mesmo danos ao hardware. Embora o método de resfriamento por free-cooler seja uma opção econômica em regiões frias, o desafio aumenta significativamente em locais com temperaturas tropicais elevadas (Van et al., 2020).

Nesse contexto, surge a proposta desta pesquisa, que visa desenvolver um sistema embarcado acessível e eficaz para aprimorar a climatização de data centers

que utilizam aparelhos de refrigeração domésticos em regiões tropicais. O sistema permitirá a coleta e o armazenamento de dados climáticos, como temperatura e umidade, possibilitando o monitoramento por meio de um painel de controle remoto. Com a implementação desse sistema, busca-se melhorar a eficiência da climatização, mesmo em instituições com recursos limitados, com o objetivo de aprimorar o desempenho e garantir a disponibilidade contínua dos data centers nessas condições desafiadoras.

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 [Meng et al. 2020]. 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 impulsionado pesquisas no campo do monitoramento e controle desses sistemas de refrigeração.

No trabalho de Alejandro Medina-Santiago [Medina-Santiago et al. 2019], 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 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 [Cerqueira et al. 2021] 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 [da Silva Donizetti et al. 2023], 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 [Silva and Gomes 2022], 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).

3. Proposta do Trabalho

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema embarcado para análise e monitoramento climático em ambientes fechados, com foco em atender as necessidades de controle e monitoramento de um data center de pequeno porte. O projeto consiste na criação de um protótipo que coleta dados de temperatura e umidade, oferecendo recursos como armazenamento desses dados, visualização por meio de gráficos usando a plataforma Grafana, emissão de alertas, controle remoto de aparelhos de refrigeração e interação com o protótipo através do aplicativo de mensagens Telegram.

O Dashboard Grafana foi escolhido devido ao seu uso já estabelecido no data center onde o protótipo foi testado. Entretanto, 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 via Telegram e a visualização dos dados pelo Grafana foram adicionadas temporariamente, sendo utilizadas apenas para avaliar a viabilidade da proposta da pesquisa. O objetivo futuro é desenvolver um software dedicado ao protótipo, visando aprimorar o controle, monitoramento e, especialmente, reforçar a segurança do sistema.

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 utilizados resistores, LEDs emissores infravermelhos, receptores infravermelhos, sensor de temperatura e umidade AHT10 [AHT], sensor de temperatura DS18B20 [GAIMC], sensor de corrente SCT-013-000 [SCT] e dois microcontroladores, o Arduino Uno e o Wemos D1 Mini.

O projeto utiliza dois microcontroladores de forma independente. O sistema embarcado com o Arduino Uno é responsável por realizar a engenharia reversa do protocolo de comunicação infravermelho dos aparelhos de refrigeração. Ele obtém o sinal infravermelho necessário para o protótipo desenvolvido na pesquisa, conforme ilustrado na Figura 1. A divisão de tarefas entre os microcontroladores foi necessária devido à dificuldade de encontrar bibliotecas ou materiais para obter os códigos infravermelhos específicos para controlar os aparelhos de refrigeração. Como solução, o sistema embarcado com o Arduino Uno foi projetado para capturar o sinal infravermelho emitido por um controle remoto e configurar o protótipo. O objetivo principal do projeto foi criar um sistema compatível com diferentes fabricantes de aparelhos de ar-condicionado, reconhecendo os protocolos de comunicação emitidos pelos controles remotos, sejam eles abertos ou proprietários.

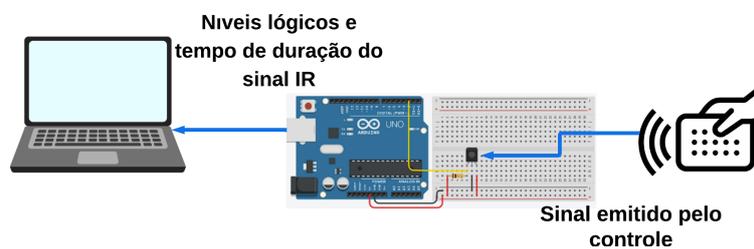


Figura 1. Sistema de Identificação de Protocolo IR

Fonte: Autoria própria

O protótipo proposto nesta pesquisa, foi desenvolvido utilizando o sistema embarcado Wemos D1 Mini, conforme ilustrado na Figura 2. Esse protótipo tem como propósito possibilitar o controle e monitoramento remoto de um data center. Para isso, ele desempenha diversas funções essenciais.

O sistema é responsável por enviar e receber mensagens pelo Telegram, coletar dados climáticos utilizando o sensor de temperatura e umidade AHT10 e controlar os aparelhos de refrigeração por meio de comandos infravermelhos. Além disso, os dados coletados são enviados para um banco de dados MariaDB utilizando uma API.

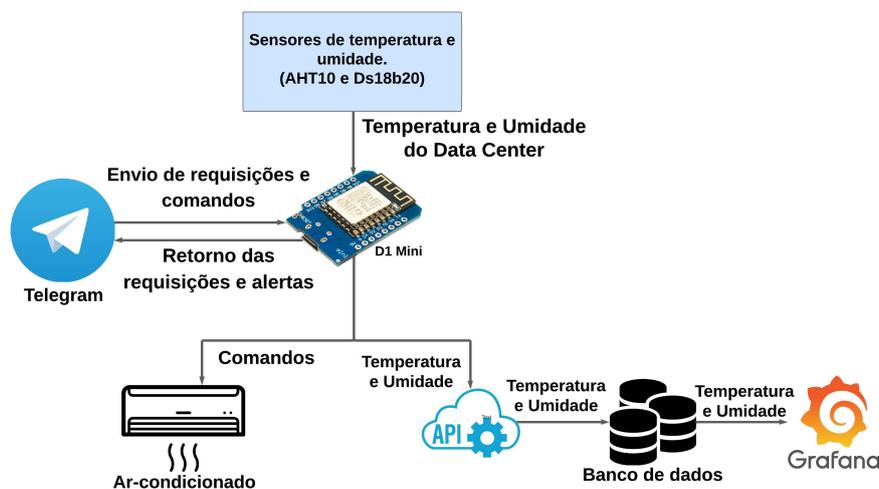


Figura 2. Modelo funcional

Fonte: Autoria própria

A escolha dessa abordagem foi pautada em considerações de segurança, garantindo que o controle do data center fosse realizado de forma não invasiva no circuito elétrico dos aparelhos de refrigeração. A utilização do sinal infravermelho para o controle proporciona essa vantagem.

Os sensores de temperatura DS18B20 foram distribuídos estrategicamente em locais com maior acúmulo de calor, próximos aos servidores e aos equipamentos de distribuição de rede, a fim de obter leituras mais precisas.

Os dados de temperatura e umidade são coletados pelo microcontrolador, que os envia ao banco de dados MariaDB através de uma API a cada 2 minutos. Esses dados também são visualizados em um dashboard criado no Grafana, como mostrado na Figura 3. O dashboard oferece uma visão detalhada dos dados coletados pelo sensor AHT10, permitindo acompanhar a leitura mais recente de temperatura e umidade, fornecendo uma análise instantânea das condições climáticas dentro do data center.



Figura 3. Monitoramento com Grafana

Fonte: Autoria própria

Toda a interação com o protótipo é realizada através do Telegram. Para isso, foi necessário criar um bot no Telegram e configurar o microcontrolador para aguardar a chegada das mensagens enviadas ao bot. 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. Em seguida ele usa o ID para identificar os administradores do sistema, caso não esteja registrado o usuário não tem acesso a todos os comandos da tabela 1.

Tabela 1. Comandos do bot do Telegram

Comando	Descrição	Permissão
/temperatura	Retornar a temperatura do local	Todos
/umidade	Retorna a umidade do local	Todos
/status	Retorna temperatura e umidade do local	Todos
/start	Retorna todos os comandos disponíveis	Todos
Ligar	Comando para ligar o aparelho.	Admin
Desligar	Comando para desligar o aparelho.	Admin
17 - 22	Comando para determinar a temperatura.	Admin

Caso o ID de usuário esteja 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, como mostrado na tabela 1.

4. Resultados

Foram desenvolvidos dois sistemas embarcados com os seguintes resultados. O primeiro sistema, representado na Figura 1, foi projetado para identificação de protocolos IR emitidos por controles remotos. Esse sistema possibilitou a captura e decodificação precisa dos 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.

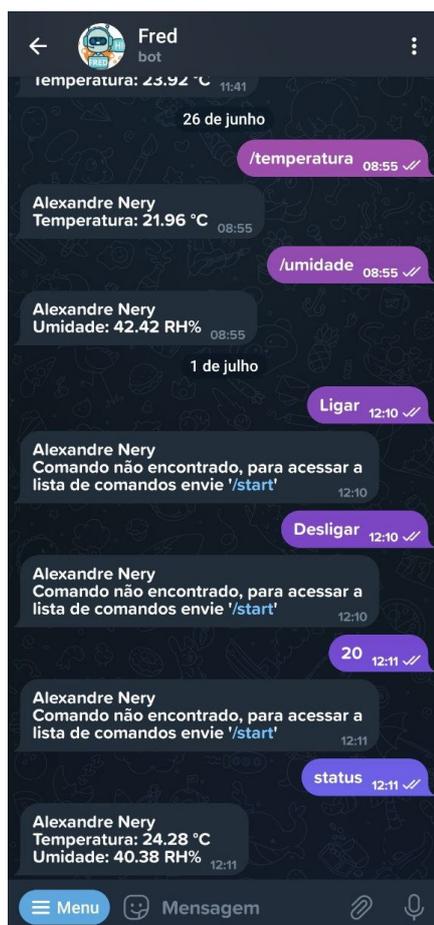
O segundo sistema desenvolvido é responsável pela coleta e armazenamento dos dados climáticos, controle dos aparelhos de refrigeração e comunicação através do Telegram. Além disso, foi realizada a integração do banco de dados com a ferramenta de dashboard Grafana, para análise e monitoramento dos dados.

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.

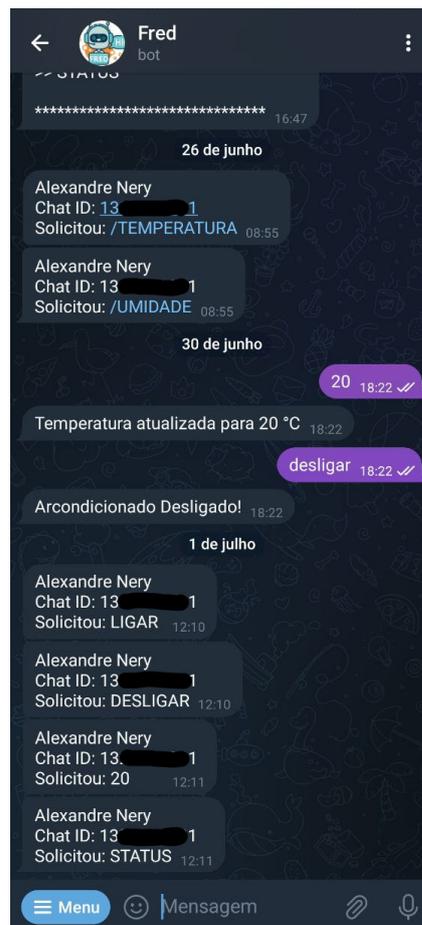
A base de dados do projeto contém aproximadamente cento e oitenta mil amostras, abrangendo um período significativo de monitoramento, desde 17 de abril de 2022 até 24 de junho de 2023. Os dados coletados estão disponíveis para análise de forma facilitada através do Grafana, que possui uma interface intuitiva para compreensão e análise dos dados.

A interação com o bot do Telegram atendeu a todas as requisições com sucesso. Além disso, o bot possui um recurso de armazenamento de mensagens caso ocorra uma perda de conexão com o microcontrolador, as mensagens são armazenadas pelo bot e enviadas ao microcontrolador assim que a conexão é restabelecida.

O controle de recursos do protótipo através da identificação do administrador por ID também se mostrou muito eficiente. Com demonstrado na Figura 4, 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 1. Além disso, o usuário registrado como administrador foi capaz de receber todas as requisições feitas ao bot e controlar os aparelhos de refrigeração.



(a) Usuário sem privilégios de administração tentando controlar o ar-condicionado.



(b) Usuário administrador controlando o ar-condicionado e recebendo solicitações de usuários não administradores.

Figura 4. Comparativo de interação: Usuário comum e usuário administrador executando comandos no Telegram.

Fonte: Autoria própria

Foi empregado um sensor de leitura de corrente utilizado para confirmar o status real do aparelho de ar-condicionado, identificando se ele está ativo com base na presença de fluxo de corrente.

Os usuários sem privilégios de administrador têm permissão para solicitar o status do protótipo, que retorna as leituras de temperatura e umidade em tempo real do data center. No entanto, quando o mesmo comando é executado por um administrador, este recebe uma coleção mais abrangente de resultados. Além das informações de temperatura e umidade gerais, o administrador obtém dados específicos da região dos servidores e dos aparelhos de distribuição de internet (routers, switches). Adicionalmente, são fornecidas informações detalhadas sobre o aparelho de refrigeração, incluindo a corrente elétrica, tensão e uma estimativa do consumo de energia.

5. Conclusão

O trabalho teve como objetivo desenvolver um protótipo de controlador de temperatura e umidade de baixo custo, focado em atender às necessidades de data centers, com ênfase na eficiência do controle climático para garantir maior segurança e reduzir indisponibilidades. O protótipo permitiu o monitoramento contínuo da temperatura e umidade, visando manter condições ideais de operação. Sua viabilidade econômica e autonomia o tornaram uma solução prática, minimizando riscos de falhas e intervenções manuais. A implementação desse controlador é esperada para aprimorar o ambiente dos data centers, proporcionando estabilidade e segurança para o funcionamento dos equipamentos. Como trabalhos futuros, planeja-se expandir o projeto com microcontroladores adicionais para controle automático dos aparelhos de refrigeração e o desenvolvimento de software dedicado ao protótipo, tornando-o mais adaptável às necessidades em constante mudança dos data centers.

Referências

- AHT10 Datasheet. https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/1912111437_Aosong-Guangzhou-Elec-AHT10_C368909.pdf. Acessado em 14 de julho de 2023.
- SCT013 Datasheet. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1159366/YHDC/SCT013.html>.
- Cerqueira, N., Narde, D., Dias, R., Leite, E., and Barreto, P. (2021). Controle inteligente de temperatura e umidade em data center. In *Congresso de Ensino Pesquisa e Extensão-CONEPE*.
- da Silva Donizetti, G., da Costa Rodrigues, L. F., de Almeida, E. S., and Santana, M. A. (2023). Uso da iot para monitoramento de temperatura, umidade e presença em data centers. *Revista Eletrônica de Iniciação Científica em Computação*, 21(1).
- GAIMC. GTS200 Temperature Sensor Datasheet. <https://www.gaimc.com/Uploads/Download/Temperature/GTS200.pdf>. Acessado em 14 de julho de 2023.
- Medina-Santiago, A., Azucena, A. D. P., Gómez-Zea, J. M., Jesús-Magaña, J. A., de la Luz Valdez-Ramos, M., Sosa-Silva, E., and Falcon-Perez, F. (2019). Adaptive model iot for monitoring in data centers. *IEEE Access*, 8:5622–5634.
- Meng, X., Zhou, J., Zhang, X., Luo, Z., Gong, H., and Gan, T. (2020). Optimization of the thermal environment of a small-scale data center in china. *Energy*, 196:117080.
- Silva, I. F. d. and Gomes, M. d. M. (2022). Projeto e desenvolvimento de sistema não invasivo para eficiência energética em aparelhos de ar condicionado.
- Teixeira, D., Vogel, A., and Griebler, D. (2019). 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. SBC.