

Aplicação de IoT, ESP32 e MQTT em um Aparelho de Ar-condicionado de uma Universidade

Filipe Miranda de Oliveira, Flávio Dusse

¹Universidade Católica do Salvador (UCSAL)
Salvador – BA – Brazil

filipemiranda.oliveira@ucsal.edu.br, flavio.dusse@pro.ucsal.br

Abstract: *This article describes a pilot project aimed at developing a smart management prototype that optimizes the use of air conditioning units and reduces costs through automation and IoT. The context of this work is embedded in management improvements for a university campus, based on the concepts of Smart Cities and its derivative, Smart Campus. ESP32 microcontrollers connected to the internet and the MQTT communication protocol were used to collect room data and enable the remote activation and deactivation of air conditioning units. Through a web browser, it is possible to turn the air conditioning unit on and off, as well as retrieve information on temperature, humidity, and the timestamp of the last movement in the room.*

Resumo. *Este artigo descreve um projeto piloto que consiste em desenvolver um protótipo de gerenciamento inteligente, que otimiza o uso de aparelhos de ar-condicionado e reduz custos, por meio da automação e IoT. O contexto deste trabalho está inserido em melhorias de gestão de um campus universitário, baseado nos conceitos de Cidades Inteligentes e de sua derivação em Campus Inteligente. Foi usado microcontroladores ESP32 conectados à internet e protocolo de comunicação MQTT para coletar informações sobre a sala e tornar possível a ativação e desativação dos aparelhos de ar-condicionado remotamente. A partir de um navegador web, é possível ativar e desativar o aparelho de ar-condicionado, obter informações de temperatura, umidade e o horário do último movimento na sala.*

1. INTRODUÇÃO

A automação pode ser definida como um sistema de controle no qual os mecanismos são responsáveis por verificar sua própria operação e auto regulação sem intervenção humana. Ou seja, vai além da mecanização, em que há apenas a substituição do esforço físico por máquinas na execução de tarefas. [Roggia 2016]. Quando é utilizada a rede mundial de computadores, a automação desses mecanismos é chamada de Internet das Coisas (IoT).

Nos últimos anos, o conceito de Cidade Inteligente tem ganhado destaque em discussões sobre o futuro da urbanização e do desenvolvimento sustentável. Uma Cidade Inteligente integra tecnologias avançadas para melhorar a eficiência dos serviços, promover a sustentabilidade e melhorar a qualidade de vida da população [Kanter and Litow 2009, apud Weiss *et al* 2013]. Nesse contexto, os campi universitários estão se transformando em verdadeiros laboratórios vivos, onde são testadas tecnologias de automação e Internet das Coisas (IoT) com o objetivo de evoluir para Campus Inteligentes.

Segundo Cereda Junior (2015),

Campi Universitários são um exemplo claro de uma unidade-territorial muitas vezes esquecida nas discussões sobre organização territorial, planejamento físico e segurança das instalações e, principalmente, do **ativo** mais importante para a Universidade: os cidadãos, sejam do corpo acadêmico, técnico ou a população que consome tais espaços. “Uma mini-cidade” alguns podem dizer. Uma verdadeira cidade, podemos afirmar, uma vez que a população de algumas é realmente maior que boa parcela dos municípios brasileiros.

Trazendo uma visualização dessa afirmação, dados do documento UFBA em números [UFBA 2022], mostram a universidade com uma população universitária de mais 61 mil pessoas entre docentes, discentes, corpo técnico e terceirizados. Em contrapartida, uma notícia da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI) baseada em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apurou que mais da metade dos municípios baianos possuem menos de 20 mil habitantes [SEI/BA 2024].

Este artigo faz parte de um trabalho de iniciação científica que propõe uma solução prática para o controle remoto de aparelhos eletrônicos de um Campus Inteligente, considerando requisitos como eficiência energética e conforto térmico. Utilizando os conceitos de Cidade Inteligente, Campus Inteligente e IoT, foi desenvolvido um protótipo que permite controlar remotamente a temperatura e o desligamento do ar-condicionado por meio de uma aplicação hospedada na Internet para facilitar seu manuseio e restringir seu uso somente quando for necessário. A comunicação entre a aplicação e o dispositivo é realizada utilizando o protocolo MQTT, amplamente utilizado em aplicações de IoT por sua eficiência e leveza.

Foi feito um estudo piloto em um aparelho de ar-condicionado de uma Universidade da cidade de Salvador a fim de demonstrar a viabilidade de integrar tecnologias IoT nesse contexto. No estudo foi possível ligar o aparelho, mudar sua temperatura e o desligar a partir de um *Uniform Resource Locator (URL)*¹ no navegador. Também foi possível aferir a hora da última movimentação próximo do sensor, temperatura e umidade locais. Outrossim, o projeto disponibiliza solução de baixo custo e alto valor agregado para a correta gestão de recursos financeiros do campus no que tange a economia energética.

Em seguida, esse artigo traz o desenvolvimento do estudo, seus resultados e suas contribuições, perpassando pelos conceitos utilizados no trabalho; e por fim as considerações finais e os trabalhos futuros que ainda serão implementados no escopo da iniciação científica mencionada.

2. Referencial Teórico

Nesta seção serão primeiramente conceituados os principais fundamentos teóricos deste trabalho, o contexto onde foi aplicado, assim como as técnicas e ferramentas utilizadas. Seguem os fundamentos teóricos utilizados neste trabalho:

2.1 Cidades Inteligentes

¹ “...serve como o nome mundial de página. Os URLs têm três partes: o protocolo (também conhecido como esquema), o nome DNS da máquina em que a página está localizada e o caminho para identificar exclusivamente a página específica (um arquivo para ler ou um programa para rodar na máquina).”[Tanenbaum et al 2021].

Segundo Justi (2020), as Cidades Inteligentes, do inglês *Smart Cities*, são cidades que utilizam as tecnologias de informação e comunicação para compartilhar informações com o público e gerar mais eficiência operacional e qualidade de vida para a população. Outro conceito, é que são cidades, que segundo Kanter e Litow (2009) “são capazes de conectar de forma inovativa as infraestruturas físicas e de TIC, de forma eficiente e eficaz, convergindo os aspectos organizacionais, normativos, sociais e tecnológicos a fim de melhorar as condições de sustentabilidade e de qualidade de vida da população” [apud Weiss; Bernardes; Consoni, 2013]. É possível observar que nos dois conceitos, a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) é uma ferramenta indispensável para a transformação das cidades em lugares mais confortáveis e que permitam uma melhor qualidade de vida.

Este trabalho está inserido no projeto de pesquisa CIM (*City Information Modelling*, que explora os conceitos de Cidades Inteligentes e as novas perspectivas de gestão urbana com base no uso de inovação e tecnologia para a solução de problemas urbanos e favorecimento da participação cidadã [Santiago 2022].

2.2 Campus Inteligente

Campus Inteligente, do inglês *Smart Campus*, é um conceito englobado por *Smart Cities* e pode ser definido como uma área universitária que oferece serviços em tempo hábil, reduz o esforço e reduz os custos operacionais. O Campus Inteligente implica que a instituição adotará tecnologias avançadas para controlar e monitorar automaticamente instalações no campus e fornecer serviços de alta qualidade para a sua comunidade, ou seja, estudantes e funcionários. Isso levou a aumentar a eficiência e a capacidade de resposta do campus e ter uma melhor tomada de decisão, utilização do espaço e experiência dos alunos [Abuarqoub *et al*, 2017].

Assim como as Cidades Inteligentes, os Campus Inteligentes utilizam os conceitos de TIC para prover a melhoria da qualidade, a sustentabilidade e a segurança de um campus universitário.

2.3 IoT

A subárea da TIC que mais dá suporte às Cidades Inteligentes é a Internet das Coisas (IoT), do inglês *Internet of Things*, é definida por Gokhale *et al* (2018) como

uma rede de objetos — dispositivos, instrumentos, veículos, construções e outros itens integrados com eletrônicos, circuitos, software, sensores que permitem a esses objetos coletar e trocar informações. A Internet das Coisas permite que os objetos sejam detectados e controlados remotamente por meio de uma infraestrutura de rede existente, criando oportunidades de uma integração mais direta do mundo físico em sistemas baseados em computadores, resultando em uma melhora de eficiência e precisão.

A IoT é importante para cidades inteligentes por permitir o sensoriamento de lugares e objetos, fazendo o levantamento de dados de grande importância para a melhor gestão de objetos e ambientes.

2.4 ESP32

ESP32, do inglês *Espressif Systems 32 bits*, é uma série de microcontroladores de baixo custo e alta performance desenvolvidos pela Espressif Systems. O ESP32 é amplamente utilizado

em projetos de IoT devido às suas capacidades integradas de Wi-Fi e Bluetooth, tornando-o ideal para aplicações que requerem conectividade sem fio [Espressif 2024]. É apresentada na Figura 1, uma imagem tirada dos autores do ESP32 utilizado.

Além disso, o ESP32 é conhecido por sua versatilidade, possuindo múltiplos núcleos de processamento, GPIOs (pinos de entrada e saída) configuráveis, suporte a diversos protocolos de comunicação, e uma ampla gama de periféricos integrados, como ADCs (Conversores Analógico-Digitais), DACs (Conversores Digital-Analógicos), PWM (Modulação por Largura de Pulso). Por essas razões, o ESP32 tornou-se uma escolha popular entre desenvolvedores de sistemas embarcados e projetos de automação, tanto em ambientes acadêmicos quanto industriais.

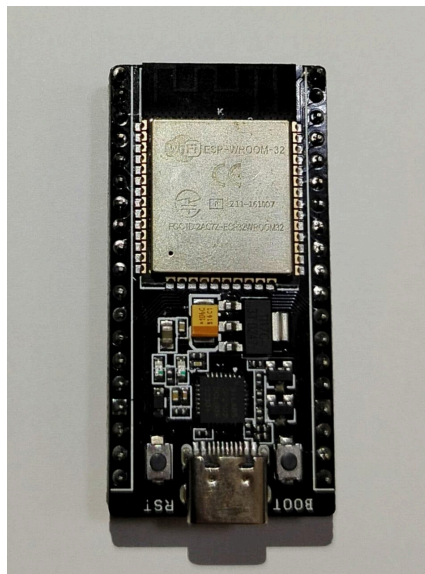


Figura 1:ESP32 [fonte: autoria própria]

2.5 MQTT

MQTT, do inglês *Message Queuing Telemetry Transport*, é um protocolo de comunicação lançado pela IBM em 1999 que utiliza o padrão publicador/subscritor. Foi planejado para enviar dados em conexão com baixa largura de banda e mitigar atrasos. A arquitetura do protocolo envolve os clientes, que podem ser publicador ou subscritor, e um *broker*, que é responsável por receber as mensagens, filtrá-las e enviar aos clientes interessados [Soni, Makwana 2017].

Arquiteturas baseadas em MQTT mostram-se escaláveis, permitindo a integração de outros dispositivos de IoT ao sistema no futuro sem a necessidade de conhecer o *Internet Protocol(IP)* de cada dispositivo, apenas o IP do broker e os tópicos em que os microcontroladores estão escritos.

3. Métodos e Ferramentas

Nesta seção, apresentaremos a arquitetura do projeto IoT e as ferramentas e protocolos utilizados.

3.1 Arquitetura do projeto

O projeto pode ser dividido em 4 partes, que juntas fornecem um jeito fácil de controlar os aparelhos de ar-condicionado remotamente. São elas, o ESP32 junto com sensores e atuadores, sendo a interface de ligação entre o mundo físico e o mundo virtual. O *broker* MQTT, que faz a ligação entre o servidor *web* e os microcontroladores. O servidor *web*, responsável por manipular as informações recebidas e entregá-las aos usuários. E, por fim, o banco de dados, que armazena informações das salas e informações sobre o uso dos aparelhos. É apresentada na Figura 2, o diagrama arquitetural do projeto.

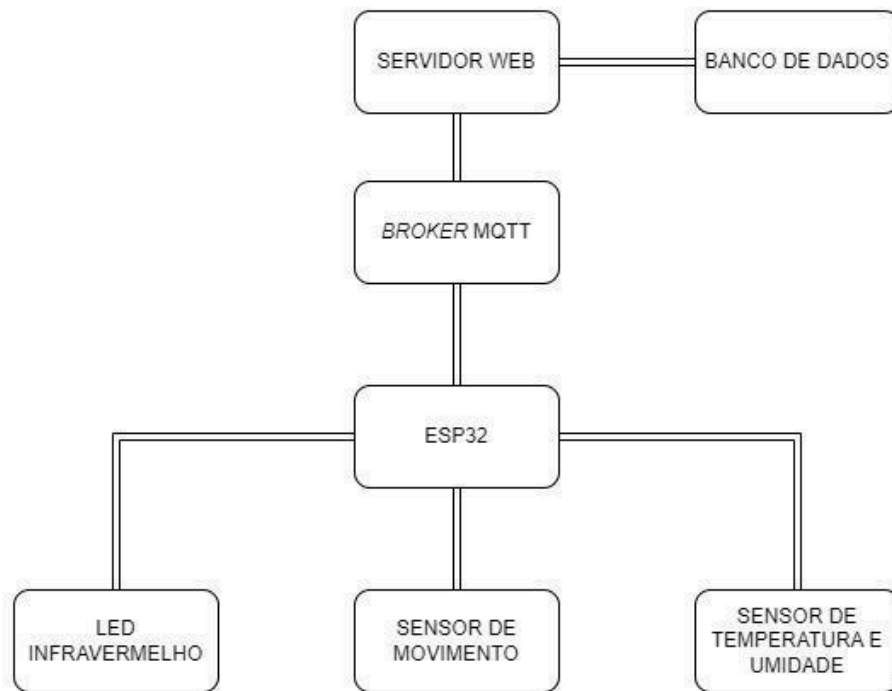


Figura 2: Arquitetura do projeto [fonte: autoria própria]

3.2 Ferramentas utilizadas

Para captar as informações de umidade e temperatura utilizou-se um sensor DHT11, elemento 'c' na Figura 3, para captar os movimentos utilizou-se o sensor Hc-sr501, elemento 'b' na Figura 3 e para enviar os códigos infravermelho para o ar-condicionado utilizou-se um led infravermelho 5mm, elemento 'd' na Figura 3. Esses 3 componentes são conectados à placa microcontroladora, elemento 'a' na Figura 3, responsável por gerenciar essas informações e mandar para o *broker* MQTT. Para a leitura dos comandos infravermelho do ar-condicionado foi utilizado um receptor infravermelho TSOP1838.

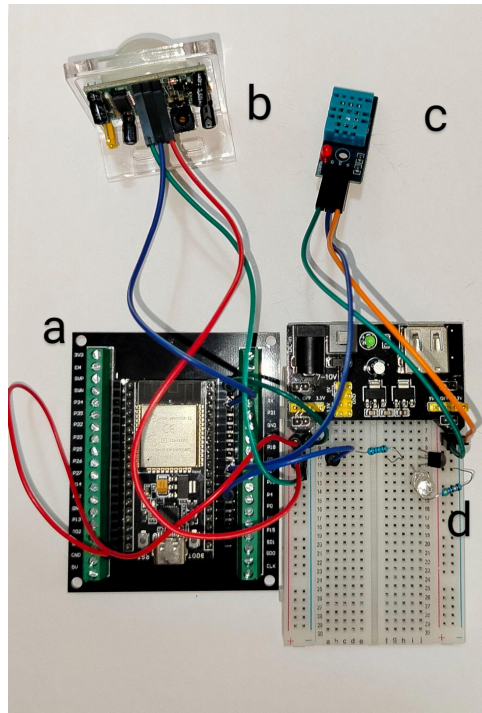


Figura 3: Foto do projeto IoT, sendo a) ESP32, b) sensor de movimento, c) sensor de temperatura e umidade e d) emissor infravermelho [fonte: autoria própria]

Para hospedar o servidor *web*, o banco de dados e o *broker* MQTT foi utilizado um *notebook* com o sistema operacional Ubuntu. O *broker* escolhido foi o Eclipse Mosquitto, uma escolha fundamentada em sua robustez e confiabilidade em aplicações MQTT [Eclipse Mosquitto 2024]. Para o banco de dados foi utilizado o PostgreSQL, um banco de dados relacional conhecido por sua eficiência e conformidade com padrões de mercado. Ambos os softwares são de código aberto e de uso gratuito, o que facilita a replicabilidade e acessibilidade da solução proposta.

A programação feita no servidor *web* foi utilizando a linguagem JAVA, com o *framework* Spring Boot e a *IDE* IntelliJ. A programação para o microcontrolador foi feita utilizando a linguagem C++ com o *framework* Arduino e a *IDE* Arduino IDE. Essas ferramentas foram escolhidas devido à sua eficiência, robustez e ampla aceitação na comunidade de desenvolvimento, proporcionando um ambiente de desenvolvimento integrado e facilitado.

4. Resultados Parciais

No atual estágio do projeto, é possível obter informações de temperatura, umidade e o horário do último movimento na sala a partir de um navegador, acessando o IP da máquina que hospeda o servidor *web*, dentro de uma rede local.

Já há uma base de dados com o mapeamento de todas as salas do campus de uma Universidade na cidade do Salvador e seus respectivos aparelhos de ar-condicionado. O servidor *web* foi desenvolvido com *endpoints*, que são pontos de acesso específicos dentro de uma API (Interface de Programação de Aplicações) que permitem a interação com o sistema. Esses *endpoints* foram configurados para recuperar as informações detalhadas de prédio, sala e aparelhos. Além disso, o servidor conta com um *endpoint* dedicado para receber comandos,

interpretá-los e posteriormente enviá-los como mensagens ao *broker* MQTT, facilitando a comunicação e o controle dos dispositivos conectados.

No ESP32, há rotinas para atualizar as variáveis de umidade e temperatura a cada um segundo e atualizar a variável de tempo do último movimento sempre que ele for identificado. A cada 2 segundos essas variáveis são enviadas para o *broker* que as encaminha para o servidor WEB. Há também uma rotina para ler as mensagens recebidas pelo *broker* e enviar um comando infravermelho para o ar-condicionado.

O teste realizado na sala de aula teve como objetivo validar o funcionamento do projeto dentro da sala, porém foi realizado durante poucos minutos. Ainda haverá um teste para fazer essa validação durante um período de tempo maior.

5. Considerações Finais

O presente trabalho demonstrou a viabilidade de integrar tecnologias de IoT para automação de aparelhos de ar-condicionado em um Campus Inteligente. O protótipo desenvolvido, utilizando o protocolo MQTT, provou ser uma solução eficiente e de baixo custo para o controle remoto de ar-condicionado, promovendo economia de energia e melhorando a gestão do ambiente.

Como trabalhos futuros, sugere-se a expansão do protótipo para incluir outras funcionalidades, como: integrar com outros sensores, por exemplo sensor de presença, que tem a capacidade de detectar pessoas paradas na sala de aula, complementando o sensor de movimento que é capaz de detectar essas pessoas apenas quando elas se movem; desenvolver algoritmos para otimização do consumo de energia, além de escalar para todas as marcas de ar-condicionado em todas as salas do campus.

Portanto, este projeto, no contexto em que foi realizado, em uma universidade de médio porte, representa uma ferramenta inovadora no apoio à gestão, à medida que possibilitará um melhor controle operacional sobre os aparelhos, podendo ser ampliado para englobar diferentes dispositivos e ser adaptado para novos espaços. Além disso, também demonstra o uso da tecnologia como instrumento cooperador na otimização de recursos e redução de custos, utilizando um gerenciamento inteligente.

Referências

- Abuqoub, Abderlrahman; Abusaimh, Hesham; Hammoudeh, Mohammad; Uliyan, Diaa; Abu-Hashem, Muhannad; Murad, Sharefa; Al-Jarrah, Mudhafar; Al-Fayez, Fayes. (2017). “A survey on Internet of Things enabled Smart Campus applications”. In: Proceedings of the International Conference on Future Networks and Distributed Systems. . p. 1-7.
- Cereda Junior, A. (2015). “Planejamento e Gestão em Campi Universitários: inteligência Geográfica” em Tempos de Geografia das Coisas. Revista MundoGeo, nov.
- Eclipse Mosquitto. Eclipse Mosquitto™ An open source MQTT broker. Disponível em: <https://mosquitto.org/> . Acesso em 30 de agosto de 2024.
- Espressif. ESP32 Wi-Fi & Bluetooth SoC. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32> . Acesso em 30 de agosto de 2024.
- Gokhale, Pradyumna; Bhat, Omkar; Bhat, Sagar. (2018). “Introduction to IoT”. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology, v. 5, n. 1, p. 41-44.

Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/330114646_Introduction_to_IOT. Acesso em: 30 de agosto de 2024.

Justi, Alexander. (2020). “CIM (City information modeling): é o futuro (e presente) do urbanismo”. Disponível em: <https://alexjusti.com/cim-city-information-modeling/>. Acesso em: 06 nov. 2023.

Roggia, Leandro; Fuentes, Rodrigo Cardozo. (2016). “Automação industrial”. Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Rede e-Tec Brasil.

Santiago, Thalita Emanuele Teixeira; De Carvalho, Silvana Sá. (2022). “Cidades Inteligentes, Gestão Urbana e Geotecnologias: Cadastro de Uso do Solo do Município de Madre de Deus-BA”. Revista Contemporânea, v. 2, n. 5, p. 1028-1050.

SEI/BA - Mais da metade dos municípios baianos possuem menos de 20 mil habitantes. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Disponível em: https://sei.ba.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2511:mais-da-meta-de-dos-municipios-baianos-possuem-menos-de-20-mil-habitantes&catid=10&Itemid=565&lang=pt. Acesso em: 01 de setembro de 2024.

Soni, Dipa; Makwana, Ashwin. (2017). “A survey on MQTT: a protocol of Internet of Things (IoT)”. In: International conference on telecommunication, power analysis and computing techniques (ICTPACT-2017). p. 173-177.

Tavares, Bruno Odate. (2020). “Otimizando procedimentos com uso da IOT no gerenciamento inteligente das salas de aula da Esmat”.

UFBA - UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA. UFBA em números 2022: ano base 2021. Salvador, 2022. Disponível em: <https://proplan.ufba.br/sites/proplan.ufba.br/files/ufba-em-numeros-2022.pdf>. Acesso em: 04/05/2024.

Torres, Andrei; Rocha, Atslands; De Souza, José Neuman. (2016). “Análise de desempenho de brokers mqtt em sistema de baixo custo”. In: Anais do XV Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação. SBC. p. 2804-2815.

Tanenbaum, Andrew; Feamster, Nick; Wetherall, David. (2021). “Redes de computadores”. 6. ed. São Paulo: Bookman, p. 443. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 31 de agosto. 2024.

Weiss, Marcos Cesar; Bernardes, Roberto Carlos; Consoni, Flavia Luciane. (2013). “Cidades inteligentes: a aplicação das tecnologias de informação e comunicação para a gestão de centros urbanos”. Revista Tecnologia e Sociedade, v. 9, n. 18.