

## **Automação predial em edifícios públicos: redução de custos com ar-condicionado através de um protótipo de baixo custo**

Iuri Kauã Simão de Oliveira (IFPB, Campus Patos), Angelina Eryka Fernandes Arcoverde (IFPB, Campus Patos), Anthony Gabriel Pinheiro de Lucena (IFPB, Campus Patos), Ewerton Fernandes Monteiro (IFPB, Campus Patos), Dennis Oliveira Galdino (IFPB, Campus, Patos)

**E-mails:** [oliveira.iuri@academico.ifpb.edu.br](mailto:oliveira.iuri@academico.ifpb.edu.br), [arcoverde.angelina@academico.ifpb.edu.br](mailto:arcoverde.angelina@academico.ifpb.edu.br), [anthony.lucena@academico.ifpb.edu.br](mailto:anthony.lucena@academico.ifpb.edu.br), [ewerton.fernandes@academico.ifpb.edu.br](mailto:ewerton.fernandes@academico.ifpb.edu.br), [dennis.galdino@ifpb.edu.br](mailto:dennis.galdino@ifpb.edu.br).

**Área de conhecimento (Tabela CNPq):** 3.04.05.02-5 Automação Eletrônica de Processos Elétricos e Industriais.

**Palavras-chave:** automação predial; eficiência energética; ar condicionado; iot.

### **1. Introdução**

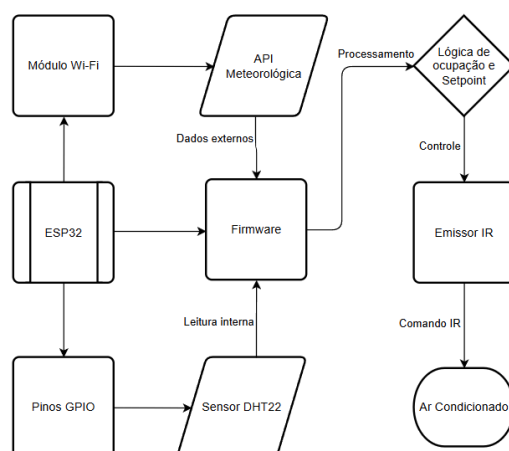
O consumo de energia em edificações representa um desafio global e nacional significativo, com os sistemas de climatização, particularmente o ar condicionado, emergindo como um dos principais vetores de custos operacionais e impacto ambiental, especialmente no setor público. Estudos científicos quantificam o elevado consumo e o substancial potencial de desperdício energético associado a estes sistemas quando operados sem gerenciamento adequado, como o funcionamento fora dos horários de ocupação real (Moraes & Fonseca, 2021). A busca por eficiência energética torna-se, portanto, uma prioridade, motivada tanto pela necessidade de otimização de recursos públicos quanto por imperativos de sustentabilidade ambiental. Neste cenário, a automação predial, compreendida como a aplicação de tecnologias para controle e gerenciamento integrado e inteligente de sistemas como iluminação, segurança e HVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) (Silva E. S. *et al.*, 2019), apresenta-se como uma estratégia tecnológica promissora. A automação possibilita um gerenciamento adaptativo da climatização, visando o uso racional de energia e a consequente redução de custos, sem comprometer o conforto térmico essencial aos ocupantes (Vital, 2021). Este trabalho aprofunda a análise do potencial da automação predial focada no controle de sistemas de ar condicionado como ferramenta para redução de custos em prédios públicos, detalhando a proposta e descrição de um protótipo de baixo custo, baseado na versátil plataforma ESP32, como uma solução viável e acessível para implementação.

### **2. Materiais e métodos**

A abordagem metodológica adotada compreendeu uma revisão da literatura científica focada em automação predial, eficiência energética em sistemas HVAC e estudos de caso em edifícios, seguida pela concepção e descrição detalhada de um protótipo de automação. A fundamentação teórica ressalta que a automação permite um controle adaptativo e granular, superando a operação manual ou termostatos convencionais, possibilitando programação horária, monitoramento e controle remoto, resultando em economia de energia pela minimização do desperdício (Silva & Neves, 2024). O protótipo proposto visa uma solução de baixo custo e não invasiva, utilizando componentes eletrônicos acessíveis: o microcontrolador ESP32 (escolhido por seu custo, processamento e Wi-Fi integrado), um sensor de temperatura e umidade interno (como o DHT22) e um emissor de Infravermelho (LED IR) para emular o controle remoto original do ar condicionado, evitando modificações físicas no aparelho. A metodologia de operação do protótipo baseia-se na coleta de dados internos (temperatura/umidade) e externos (temperatura via API meteorológica online, acessada pelo Wi-Fi do ESP32). Uma lógica de controle implementada no firmware do ESP32 compara a temperatura interna com um setpoint (temperatura desejada), considerando também a temperatura externa e, crucialmente, um cronograma de ocupação do ambiente – estratégia apontada como mais eficaz que horários fixos por Moraes & Fonseca (2021). Com base nessa análise, o sistema decide pela ação apropriada (ligar, desligar, ajustar temperatura) e a executa enviando o código IR correspondente ao aparelho. Opcionalmente, os dados podem ser enviados para monitoramento remoto (Zheng, 2021). A metodologia reconhece ainda a importância de análises complementares, como cálculo de carga térmica e avaliação da eficiência dos equipamentos (Moraes & Fonseca, 2021), como parte de uma implementação otimizada.

## 2.1. Diagrama de Fluxo de Dados Detalhado

Figura 1 – Funcionamento da solução proposta



Fonte: Própria autoria

O diagrama de blocos apresentado na Figura 1 ilustra a arquitetura proposta para o sistema de controle adaptativo de ar-condicionado, com um nível de detalhe que permite compreender as interações internas do microcontrolador ESP32 e o fluxo completo de informações. O sistema é composto por diversos módulos que trabalham em conjunto para otimizar o consumo de energia. No centro do sistema, o ESP32 (Microcontrolador) atua como a unidade de processamento principal. Internamente, o ESP32 possui três componentes cruciais para esta aplicação:

- **Módulo Wi-Fi:** Responsável pela comunicação sem fio, permitindo que o ESP32 se conecte à internet para acessar a API meteorológica e, opcionalmente, enviar dados para monitoramento remoto.
- **Firmware (Lógica de Controle):** É o software embarcado no ESP32 que contém toda a inteligência do sistema. Ele processa os dados coletados, implementa a lógica de ocupação e setpoint, e gera os comandos para o ar-condicionado.
- **Pinos GPIO (General Purpose Input/Output):** São as interfaces físicas do ESP32 que permitem a conexão com sensores e atuadores externos.

O fluxo de dados inicia-se com a coleta de informações ambientais. O Sensor DHT22 (Temperatura/Umidade), conectado aos Pinos GPIO do ESP32, fornece leituras contínuas da temperatura e umidade internas do ambiente. Essas leituras são essenciais para avaliar as condições térmicas atuais. Paralelamente, o Módulo Wi-Fi do ESP32 estabelece comunicação com a API Meteorológica (Dados Externos). Através desta API, o sistema obtém dados meteorológicos em tempo real, como a temperatura externa, que são cruciais para a lógica de controle adaptativo. A integração de dados internos e externos permite que o sistema tome decisões mais informadas e eficientes. As leituras do Sensor DHT22 e os dados da API Meteorológica são processados pelo Firmware (Lógica de Controle) do ESP32. Este firmware interage com a Lógica de Ocupação e Setpoint, que é o coração da inteligência do sistema. Esta lógica compara a temperatura interna com um setpoint desejado, considera a temperatura externa e, crucialmente, incorpora um cronograma de ocupação do ambiente. Com base nessa análise complexa, a Lógica de Ocupação e Setpoint determina a ação mais apropriada para o ar-condicionado (ligar, desligar, ajustar temperatura, etc.) e envia essa decisão de controle de volta para o Firmware. Uma vez que o Firmware recebe a decisão de controle, ele envia um sinal de controle através dos Pinos GPIO para o Emissor IR (Infravermelho). O Emissor IR, por sua vez, converte esse sinal em comandos infravermelhos específicos, que são transmitidos para o Ar Condicionado. Este método de controle é não invasivo, pois emula o controle remoto original do aparelho, eliminando a necessidade de modificações físicas no ar-condicionado. Este ciclo contínuo de coleta de dados, processamento inteligente e atuação garante que o sistema de climatização opere de maneira eficiente, minimizando o desperdício de energia e maximizando a economia de custos em edifícios públicos. A modularidade da arquitetura permite futuras expansões e integrações com outros sistemas de automação predial.

## 3. Resultados e discussão

Os resultados potenciais da implementação de sistemas de automação para controle de HVAC, incluindo abordagens de baixo custo como a proposta, são promissores em termos de eficiência energética e redução de custos, conforme amplamente evidenciado na literatura científica. O principal resultado esperado é uma significativa economia de energia elétrica. O estudo experimental de Moraes & Fonseca (2021) em um edifício universitário brasileiro é um exemplo claro: identificaram que 33% do consumo de ar condicionado ocorria fora do horário previsto, e a implementação da automação resultou em economias de 39,17% (com controle baseado em turnos gerais) e até 51,88% (com controle baseado no cronograma específico das salas), comparado ao cenário sem controle.

Isso demonstra o impacto direto do controle granular baseado na ocupação real. Outros estudos corroboram este potencial: reportaram economias entre 15% e 49% em quatro edifícios no Paquistão utilizando um sistema inteligente de gestão de energia baseado em IoT; Yamamoto et al. (2020) alcançaram 44% de redução na energia para processamento de ar externo em um shopping no Japão usando Automação de Processos Robóticos (RPA) para otimizar operações HVAC. Essas reduções no consumo energético traduzem-se diretamente em redução de custos operacionais, um fator crítico para a administração pública. A discussão enfatiza que a automação combate o desperdício inerente a controles manuais ou simplistas (Vital, 2021). A integração de múltiplos dados (temperatura interna/externa, ocupação) e o monitoramento remoto (Zheng, 2021) são chave para a otimização contínua. A natureza de baixo custo e não invasiva do protótipo facilita a adoção e escalabilidade. Contudo, é crucial contextualizar que a automação, isoladamente, não resolve todos os problemas; a eficiência intrínseca dos equipamentos e o correto dimensionamento são fundamentais (Moraes & Fonseca, 2021). Além disso, a incorporação de Sistemas de Detecção e Diagnóstico de Falhas (FDD) (Sorokos, 2016; Silva & Neves, 2024) é relevante para evitar desperdícios decorrentes de mau funcionamento. Os benefícios transcendem o econômico, contribuindo para a sustentabilidade ambiental (Silva & Neves, 2024).

#### 4. Considerações finais

Conclui-se que a automação predial aplicada ao controle de sistemas de ar condicionado representa uma estratégia eficaz, com validação científica robusta, para promover a eficiência energética e a consequente redução de custos operacionais em edifícios públicos. A análise da literatura científica, incluindo estudos de caso e implementações experimentais (Moraes & Fonseca, 2021; Yamamoto et al., 2020), demonstra consistentemente o potencial para economias energéticas expressivas, frequentemente superiores a 40-50%, dependendo da granularidade do controle implementado e das características do edifício. O protótipo de baixo custo proposto, utilizando a plataforma ESP32, sensores ambientais e controle infravermelho, representa uma abordagem acessível e alinhada às tendências tecnológicas de Internet das Coisas (IoT) e automação distribuída (Araújo Júnior et al., 2019, citado por Silva & Neves, 2024; Zheng, 2021). Sua metodologia operacional, baseada na integração de dados ambientais internos e externos e em lógicas de controle adaptativas que consideram a ocupação real, permite otimizar o funcionamento dos equipamentos de climatização, mitigando o desperdício energético associado ao uso não gerenciado. A implementação de tais sistemas é um passo estratégico valioso para a modernização da gestão energética no setor público. No entanto, para maximizar os resultados e garantir a sustentabilidade dos benefícios, a automação deve ser integrada a uma visão holística de gestão energética, contemplando a avaliação periódica da eficiência e do dimensionamento dos equipamentos e a incorporação de sistemas de diagnóstico de falhas (Moraes & Fonseca, 2021; Sorokos et al., 2016). A adoção dessas tecnologias não só gera economia financeira direta, mas também reforça o compromisso das instituições públicas com a sustentabilidade ambiental e a responsabilidade socioambiental (Neves et al., 2024). Recomenda-se a realização de projetos piloto para validação contextualizada e a integração dessas soluções em planos diretores de eficiência energética.

#### Referências

- MORAES, C. S., & FONSECA, A. L. A. Automação predial: tecnologia e gestão em prol da eficiência energética em prédios públicos. **Qualidade e Sustentabilidade na Construção Civil**, p. 72-85, 2021. DOI: <https://doi.org/10.37885/210805606>
- NEVES, M. V. L.; SILVA, O. L. da; OLIVEIRA, S. A. B. de; PIFFER, D. M. Automação predial: um estudo sobre economicidade no uso de aparelhos de ar condicionado. **Brazilian Journal of Technology**, v. 7, n. 1, p. 196-221, 2024. DOI: <https://doi.org/10.38152/bjtv7n1-012>
- SILVA, E. S.; DOS SANTOS, V. E. L.; GOMES, F. F. B.; COSTA, D. P. UTILIZAÇÃO DA COMPUTAÇÃO EMBARCADA EM UM SHOPPING DE SALVADOR. **Revista Computação Aplicada - UNG-Ser**, v. 5, n. 1, p. 26-37, 2019. Disponível em: <https://revistas.ung.br/index.php/computacaoaplicada/article/view/3268>. Acesso em: 27 maio. 2025.
- SOROKOS I.; PAPADOPOULOS Y.; BOTTACI L. Data-driven Fault Detection and Diagnosis for HVAC water chillers. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49 n. 27, p. 25-30, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.005>.
- VITAL, M. M. B. B. Análise da viabilidade de automação em sistemas de climatização a partir do uso de sensores de presença. Estudo de caso: Setor de aulas IV da UFRN. 2021. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/37399>. Acesso em: 26 maio. 2025.
- YAMAMOTO, T.; HAYAMA, H.; HAYASHI, T.; MORI, T. Automatic Energy-Saving Operations System Using Robotic Process Automation. **Energies**. v. 13, n. 9: 2342, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13092342>.
- ZHENG, J. Design of Central Air Conditioning Control Acquisition Device Based on IoT Technology. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1982, n. 1, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1982/1/012046>.