

## **Sistema Integrado para Eficiência Energética em Ambientes Residenciais e Públicos: Um Protótipo de Hardware para Gerenciamento de Energia, Temperatura e Luminosidade**

Mateus Santos<sup>1</sup>, Gabriela Chaves<sup>2</sup> and Pedro Roque<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Universidade Federal de Pelotas

<sup>2</sup> Universidade do Norte do Paraná

<sup>1</sup>mcdssantos@inf.ufpel.edu.br

<sup>2</sup>gabriela.chaves@ufpel.edu.br

<sup>3</sup>pedronmroque@gmail.com

**Resumo:** Este artigo aborda a importância crescente da eficiência energética em ambientes residenciais e públicos, propondo um sistema integrado baseado em Arduino para a medição e gestão do uso de energia, temperatura e luminosidade. Desenvolveu-se um protótipo de hardware econômico que permite a coleta de dados em tempo real e a operação de dispositivos de controle de temperatura para otimizar o conforto térmico nos ambientes. Espera-se que a implementação deste sistema teórico contribua para uma gestão energética mais eficiente, incentivando um uso mais consciente dos recursos e promovendo discussões sobre práticas sustentáveis e responsabilidade ambiental. A conclusão teórica deste estudo sugere que a automação residencial inteligente pode ser uma estratégia valiosa para alcançar a sustentabilidade em longo prazo. Este artigo explora a importância crescente da eficiência energética em ambientes residenciais e públicos, propondo um sistema integrado baseado em Arduino para a medição e gestão do uso de energia, temperatura e luminosidade. O desenvolvimento de um protótipo de hardware econômico possibilita a coleta de dados em tempo real e a operação de dispositivos de controle de temperatura, visando otimizar o conforto térmico nos ambientes. Espera-se que a implementação deste sistema contribua para a redução de custos e influencie positivamente a percepção dos usuários sobre questões energéticas contemporâneas, promovendo o uso consciente de recursos e estimulando discussões sobre sustentabilidade e responsabilidade ambiental.

**Palavras-chave:** Eficiência energética, Instituições de ensino, Sistema integrado, Coleta de dados em tempo real, Controle de temperatura.

**Abstract:** This article addresses the growing concern about energy efficiency in residential and public spaces by proposing an integrated system developed using Arduino to monitor and manage energy usage, temperature, and lighting. The development of an affordable hardware prototype facilitates real-time data collection and the effective operation of temperature control devices. The theoretical application of this system is anticipated to lead to more efficient energy management, fostering the responsible use of resources and stimulating discussions on sustainable practices and

environmental responsibility. The theoretical conclusion of this research posits that smart home automation could be a valuable strategy for achieving long-term sustainability.

**Keywords:** Energy efficiency, Educational institutions, Integrated system, Real-time data collection, Temperature control

## 1 Introdução

A crescente preocupação com a eficiência energética nas instituições públicas de ensino destaca a necessidade de abordar questões específicas relacionadas ao consumo de energia em ambientes com alta circulação diária de pessoas. A implementação de políticas voltadas para a eficiência energética em ambientes de alta circulação pode resultar em uma diminuição significativa nos custos anuais destinados ao consumo de energia e potencializar o investimento em iniciativas voltadas para o usuário (Hax, et al., 2021). Tal estratégia não somente contribui para a redução de despesas operacionais, mas também influencia a percepção dos usuários desses espaços em relação às questões energéticas contemporâneas, e em diferentes contextos cotidianos, incluindo o ambiente doméstico.

Ao promover o uso consciente e eficiente de recursos energéticos, essas políticas podem instigar um debate mais amplo sobre sustentabilidade e responsabilidade ambiental, enfatizando a importância de práticas sustentáveis no cotidiano.

Para tanto, foi desenvolvido um protótipo de hardware baseado em componentes de baixo custo capaz de coletar dados em tempo real sobre diversas condições ambientais em salas de aula, incluindo consumo de energia, temperatura e nível de luminosidade, e então operar os dispositivos de controle da temperatura e otimização do conforto térmico no ambiente.

## 2 Eficiência Energética, Domótica e Arduino

A preocupação com a eficiência energética é um tema de grande importância em todo o mundo, impulsionado por uma série de razões e considerações, incluindo questões ambientais, econômicas e sociais, segundo "20th International Conference on Electricity Distribution Prague, 8-11 June 2009" - O setor residencial, de Pequenos Escritórios/Escritórios Domésticos (SOHO) e de edifícios comerciais é responsável por mais de 50% do consumo de eletricidade da Europa.

O termo domótica emerge da fusão dos termos "domus", que denota casa e "robótica", o qual remete ao conceito de controle automatizado exercido por dispositivos computacionais. O campo de estudo da robótica, mais especificamente, dedica-se ao desenvolvimento de dispositivos que emulam capacidades humanas, integrando mecanismos, sensores, operadores e sistemas computacionais (Craig, 2005), e atualmente combina diversas facetas da tecnologia, incluindo mecânica, eletrônica, inteligência artificial e software (figura 1), para desenvolver máquinas capazes de auxiliar e substituir humanos em tarefas perigosas, repetitivas ou de alta precisão. Neste contexto, a domótica representa um campo interdisciplinar que engloba princípios da engenharia elétrica, ciência da computação, arquitetura e psicologia comportamental, visando criar ambientes inteligentes capazes de se adaptar às necessidades e

preferências dos seus habitantes. Outros termos comumente utilizados para esta área são Automação residencial e Casas Inteligentes (Junior & Farinelli, 2018).

As possibilidades das aplicações tecnológicas em Casas Inteligentes são vastas, abrangendo desde sistemas de gestão de energia e câmeras até mecanismos de comunicação integrada, bem como tecnologias voltadas para o cuidado de crianças e animais de estimação. Ao abordar o conceito de casas inteligentes, é comum associá-lo à busca pelo conforto, onde essas residências buscam automatizar as tarefas diárias do usuário. No entanto, um dos aspectos mais cruciais não se limita apenas à automatização dessas atividades, mas sim ao uso inteligente e eficiente de energia.

Quando discutimos residências automatizadas, também conhecidas como casas inteligentes, é imprescindível destacar sua interligação com a Internet das Coisas (IoT) e os sistemas de automação predial (BAS, do inglês Building Automation System). A automação predial desempenha um papel vital na otimização do uso de recursos e na melhoria da eficiência operacional, tanto em residências quanto em espaços públicos como edifícios comerciais, escolas, hospitais e áreas de entretenimento. Os sistemas BAS são fundamentais na gestão de energia, segurança, controle de acesso, iluminação e climatização nesses ambientes. Estes sistemas podem empregar modelos matemáticos avançados para prever necessidades de intervenção, aplicar regras pré-definidas para regular automaticamente dispositivos, analisar a demanda energética e permitir a intervenção direta do usuário no processo de controle (Vandenbogaerde, 2023). Esta abordagem multifacetada facilita a personalização do ambiente de acordo com as preferências individuais, ao mesmo tempo que considera limitações orçamentárias.

A integração de tecnologias IoT em casas inteligentes e sistemas BAS possibilita uma maior conectividade e funcionalidade, permitindo o monitoramento e controle remoto dos dispositivos e sistemas em tempo real. Isso não apenas aumenta o conforto e a conveniência dos usuários, mas também contribui para a sustentabilidade ambiental e a redução dos custos operacionais. Segundo "HVAC energy savings, thermal comfort and air quality for occupant-centric control through a side-by-side experimental study, November 2021", Sistemas HVAC, (Heating, Ventilation, and Air Conditioning ) são responsáveis por 59% do consumo de energia em residências e 36% do consumo de energia em prédios comerciais. Embora a economia de energia diária variasse com a precisão dos sensores de ocupação e as condições ambientais externas, a economia média semanal de energia estava entre 17 e 24% (Kong, Dong, Zhang & O'Neill, 2022).

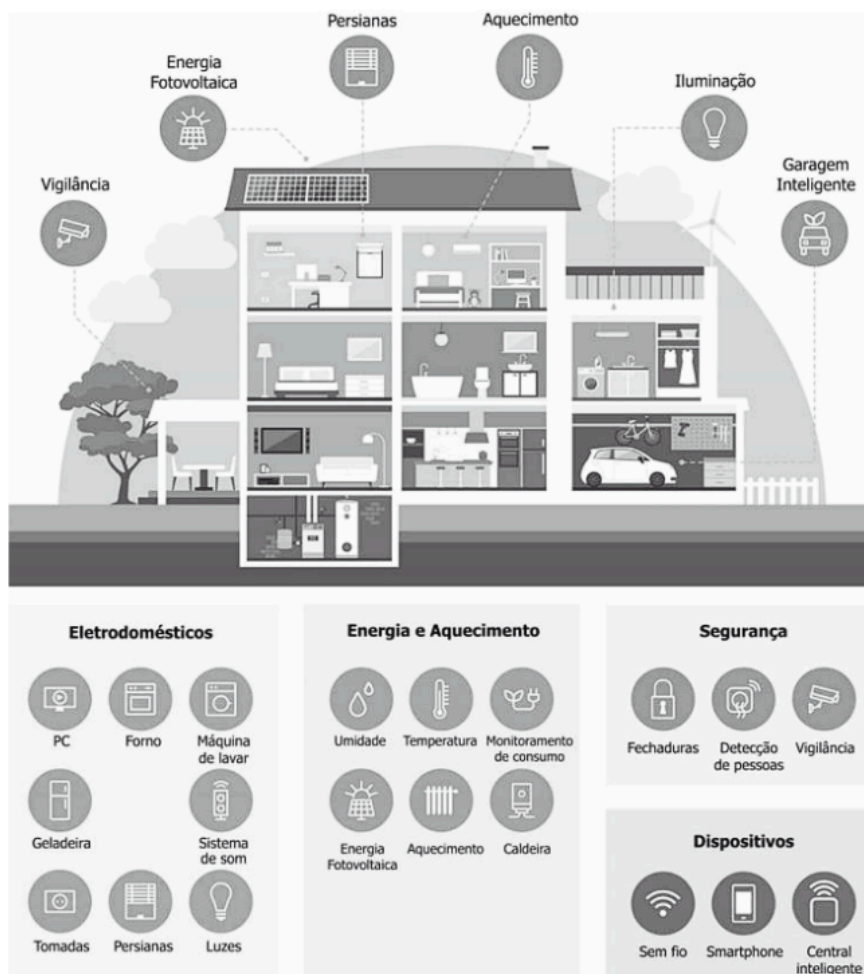
A implementação de casas inteligentes, embora promissora em termos de eficiência energética, conveniência e segurança, muitas vezes enfrenta o desafio do alto custo inicial. Um exemplo emblemático dessa realidade pode ser observado na abordagem da Tesla, uma empresa reconhecida por sua inovação no setor de tecnologia e energia.

A Tesla é conhecida por suas soluções avançadas em energia renovável e tecnologias sustentáveis, incluindo produtos para casas inteligentes, como sistemas de energia solar e armazenamento de energia. No entanto, esses produtos, embora sejam altamente eficientes e inovadores, geralmente vêm com um custo inicial significativo. Por exemplo, os sistemas de energia solar da Tesla que podem ser integrados a casas inteligentes para reduzir a dependência da rede elétrica tradicional, envolvem a instalação de painéis solares, inversores e sistemas de armazenamento de energia, como as baterias Powerwall. Embora esses sistemas possam gerar economias de

energia a longo prazo e até mesmo fornecer uma fonte de energia independente em casos de falta de energia, o investimento inicial pode ser considerável. De acordo com um revendedor oficial da Tesla na Europa (Tesla smart home, n.d), o custo por metro quadrado de uma Smart Home pré-fabricada pode atingir €1500, o que representa um valor consideravelmente elevado em comparação com as soluções apresentadas neste artigo. Nesse contexto, a busca por um equilíbrio entre eficiência energética, conforto, automação e custo de implementação se mostra essencial, especialmente ao considerar a implementação em espaços públicos, como universidades. Conforme a matéria publicada no Folha UOL por Soares (2017) no Brasil, os projetos mais simples com iluminação, segurança e climatização custam a partir de R\$ 2.000, entretanto estes valores podem facilmente superar os R\$ 200.000 em casas totalmente automatizadas.

Ainda em busca de um equilíbrio entre eficiência energética e custo de implantação, propomos uma abordagem que oferece soluções mais acessíveis utilizando tecnologias já existentes, como o Arduino. O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto, cujo custo é relativamente baixo em comparação com outros sistemas disponíveis no mercado. Esta alternativa viável permite a criação de sistemas inteligentes e conectados, adequados para diversas aplicações em espaços públicos, como universidades.

Além disso, a flexibilidade e adaptabilidade do Arduino permitem a personalização de soluções de automação de acordo com as necessidades específicas de cada ambiente. Integrando sensores, atuadores e dispositivos IoT, é possível desenvolver sistemas eficientes em termos energéticos e economicamente viáveis para otimizar o uso de recursos em universidades e outros locais públicos.



**Figura 1.** Exemplo de automação no ambiente residencial. Fonte: ESTEVAM JUNIOR & FARINELLI, 2019.

## 2.1 Arduino

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto, amplamente utilizada por entusiastas, artistas, estudantes e profissionais para criar projetos interativos e dispositivos eletrônicos. Ele consiste em uma placa de circuito impresso com um microcontrolador e uma interface de programação fácil de usar. O Arduino pode perceber o ambiente ao receber sinais de entrada de uma variedade de sensores e pode afetar seu ambiente por meio de atuadores (Mahalakshmi & Vigneshwaran, 2017).

Uma das principais características do Arduino é a sua versatilidade e o custo do hardware (Arduino e sensores). Ele pode ser usado para controlar uma ampla variedade de dispositivos, desde simples LEDs e motores até sensores avançados, displays e comunicação sem fio.

Isso o torna ideal para uma ampla gama de aplicações, como automação residencial, robótica, arte interativa, sistemas de monitoramento e muito mais.

Neste artigo, exploraremos a aplicação do Arduino e seus sensores para o controle e automação do ambiente em salas de aula, com o objetivo de otimizar o consumo de energia. Além disso, pretendemos quantificar o consumo de energia, garantindo simultaneamente um equilíbrio no conforto térmico e na luminosidade do espaço.

## 2.2 Desenvolvimento do Hardware com Arduino

O hardware utilizado no Arduino desempenha um papel vital na captura de informações em tempo real do ambiente. É fundamental que este hardware seja capaz de adquirir dados precisos e confiáveis relacionados ao consumo de energia, níveis de iluminação, temperatura e umidade. Para alcançar esse objetivo, empregaremos sensores específicos e módulos de medição que garantam a exatidão e a confiabilidade dos dados coletados. A integração cuidadosa desses componentes resultará na criação de um sistema robusto, capaz de monitorar e analisar de forma eficaz o desempenho energético do ambiente.

Entre os componentes utilizados para essa finalidade estão o Arduino Uno, Jumper Wires, Photoresistor LDR, Uno Protoshield, Capacitor 10uf 50v, Resistor de 10k ohms, Regulador de Tensão LM7805, Módulo Relé de 2 Canais 5V, Sensor de Corrente ACS712, BMP180 Barômetro, Dissipador de Alumínio e uma Fonte de Alimentação de 12V. Esta combinação de hardware proporciona a capacidade indispensável para aquisição e processamento eficientes e precisos de dados ambientais. Contudo, é importante destacar que o presente documento não explorará minuciosamente os métodos de comunicação externa com o Arduino. Parte-se do pressuposto que o dispositivo esteja diretamente vinculado a um servidor, onde os dados serão analisados e processados de acordo com as especificidades do caso de uso em desenvolvimento. Esta abordagem propicia uma maior versatilidade na aplicação do projeto em uma ampla gama de contextos potenciais.

Existem ainda diversas maneiras de utilizar o Arduino sem depender de um servidor para hospedá-lo. Uma solução viável é empregar o Módulo Wifi (ESP8266) para conectar o Arduino à rede. No entanto, neste artigo, optamos por processar os dados do Arduino em uma máquina local. Essa máquina assumirá a responsabilidade de estabelecer a conexão entre o Arduino e uma API em Python, facilitando a utilização desses dados em diversas cenários, permitindo que possam ser utilizados por aplicações web, aplicações locais em contato com outros dispositivos IOT ou dispositivos ligados ao BAS presente no ambiente. A metodologia de acesso será aplicada conforme as exigências específicas do caso de uso em questão.

## 2.3 Arquitetura de hardware

Nesta seção, detalharemos minuciosamente todos os sensores e suas conexões com o Arduino, visando esclarecer seu funcionamento. Na figura 2, apresentamos de forma simples todos os componentes e suas interligações neste protótipo.

A maioria dos dispositivos do Arduino, incluindo o próprio microcontrolador, os sensores BMP180 e o Relé 2CH, operam nativamente com 5V. Neste projeto, eles são alimentados pelo regulador de tensão LM7805, que reduz os 12V provenientes da fonte de alimentação para os 5V nominais de operação dos componentes. É importante destacar que o LM7805 pode aquecer consideravelmente e até mesmo queimar se não

for utilizado um dissipador de calor adequado. Para evitar esse problema, utilizamos um dissipador de calor de alumínio.

O sensor BMP180 é um sensor de pressão atmosférica e temperatura. Ele é capaz de medir a pressão atmosférica com alta precisão, bem como a temperatura ambiente. Esses dados são essenciais para monitorar as condições climáticas em tempo real e podem ser usados em aplicações como previsão do tempo, controle de sistemas de climatização e monitoramento ambiental.

O LDR (Light-Dependent Resistor) Photo Resistor é um sensor que varia sua resistência conforme a intensidade da luz incidente sobre ele. Isso o torna ideal para detectar variações na luminosidade do ambiente. No contexto deste projeto, o LDR pode ser usado para ajustar automaticamente a iluminação em salas de aula com base na luz ambiente, contribuindo para o conforto dos usuários e a eficiência energética.

O relé de 2 canais 5V é um dispositivo utilizado para controlar circuitos elétricos de alta potência através de um sinal de baixa potência. Ele permite que o Arduino acione dispositivos como lâmpadas, motores, entre outros, utilizando apenas seus pinos de saída. No contexto deste projeto, o Relé pode ser utilizado para ligar e desligar equipamentos elétricos, como ventiladores ou sistemas de iluminação, conforme as condições ambientais ou as necessidades dos usuários.

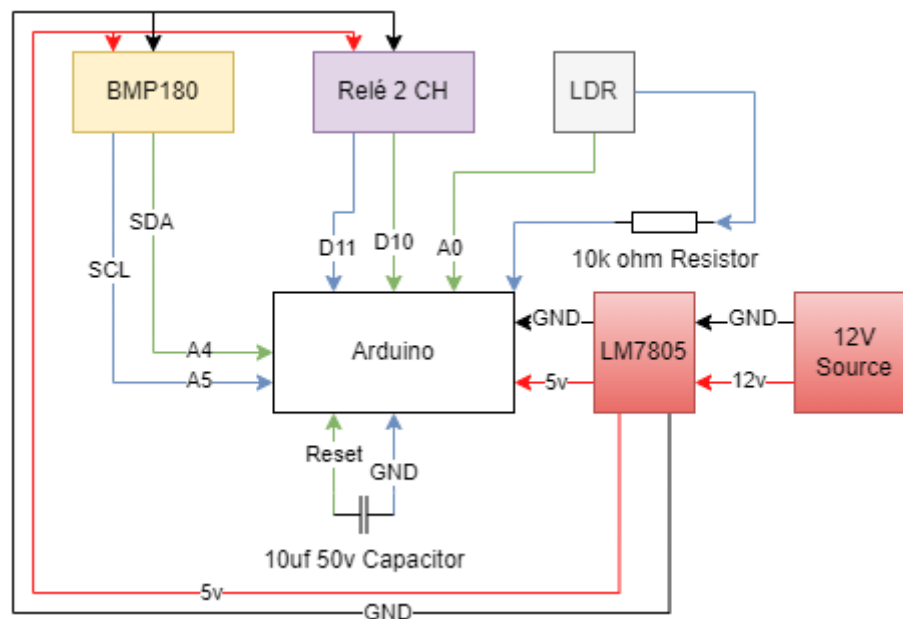
O capacitor 10uF-50V é um componente eletrônico amplamente empregado para armazenar e liberar energia elétrica temporariamente. Sua função principal é filtrar ruídos elétricos, estabilizar tensões e proteger circuitos contra variações súbitas de tensão. No contexto deste projeto, o capacitor é inserido entre o GND e o RESET SW do Arduino para impedir que o Arduino reinicie toda vez que uma conexão seria estabelecida. Isso é importante, pois cada nova consulta aos dados do Arduino requer a abertura de uma nova conexão serial.

No entanto, para transferir o código compilado para o Arduino, é necessário remover temporariamente este capacitor, caso contrário, a transferência do código não será possível.

## **2.4 Design de hardware e código de implementação**

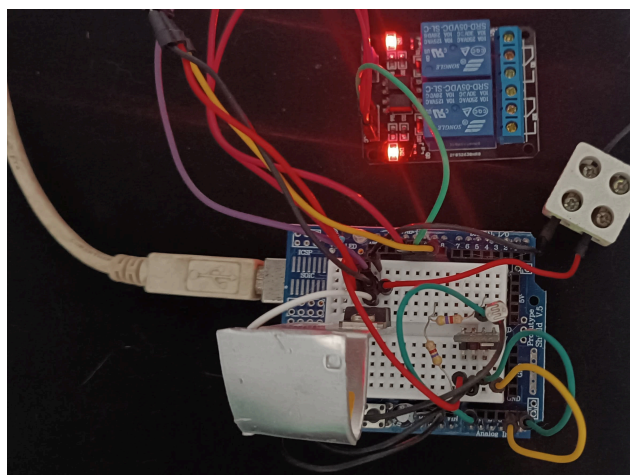
Na figura 2, apresentamos diversos sensores e suas conexões com o Arduino. As portas D11 e D10 correspondem às portas digitais do Arduino, enquanto A0, A4 e A5 representam as portas analógicas. Vale ressaltar que os números das portas podem ser ajustados conforme a necessidade do desenvolvedor; contudo, é fundamental manter a integridade do tipo de porta. Ou seja, as conexões nas portas digitais devem permanecer como tais, assim como nas portas analógicas.

Além das conexões demonstradas na figura 2, você pode encontrar o código completo para o funcionamento do Arduino neste repositório <https://github.com/thehatb0y/DSArduino/tree/main>



**Figura 2.** Arduino and Sensor Schematics. Fonte: Mateus C S Santos, 2024.

Na figura 3, é possível observar o sistema implementado em um protótipo utilizando o Uno Protoshield. Esta peça permite a prototipagem sem a necessidade de soldas e facilita o teste do hardware.



**Figura 3.** Arduino and Sensor Prototype. Fonte: Mateus S C Santos, 2024.

## 2.5 Confiabilidade de dados

A integridade e confiabilidade dos dados coletados por sistemas de automação residencial baseados em Arduino são fundamentais para assegurar a eficácia e a eficiência das operações e decisões baseadas nesses dados. No estudo de Hernández-Rodríguez et al. (2023), a confiabilidade dos sistemas de baixo custo



baseados em Arduino é analisada detalhadamente, focando em diversas aplicações como monitoramento de qualidade do ar, atividades humanas, trajetos de bicicleta e monitoramento de gases de exaustão.

A pesquisa destaca a necessidade de um processo de avaliação robusto para validar a credibilidade de dispositivos científicos de baixo custo. Os resultados sugerem que, embora o sistema baseado em Arduino cumpra a maioria dos critérios de produto, eventos inesperados podem impactar negativamente a avaliação de longo prazo. Isso sublinha a importância de realizar avaliações contínuas e ajustes de engenharia regulares ao longo de extensos períodos de teste para garantir a estabilidade e desempenho duradouro desses sistemas.

A implementação deste processo de avaliação contínua e correção é crucial para manter a confiabilidade e a precisão dos dados coletados por esses dispositivos de baixo custo, especialmente em aplicações científicas e tecnológicas. Essa abordagem é particularmente relevante no contexto da automação residencial, onde a precisão dos dados pode diretamente influenciar o conforto, a segurança e a eficiência energética dos ambientes domésticos.

Portanto, a confiabilidade dos dados obtidos por sistemas baseados em Arduino não é apenas uma questão de precisão técnica, mas também uma preocupação central para a viabilidade e sustentabilidade de soluções inteligentes em residências e outros ambientes. A adoção de práticas rigorosas de avaliação e manutenção contínua desses sistemas é essencial para assegurar que as decisões baseadas em dados automáticos sejam confiáveis e eficazes a longo prazo.

Para integrar esses conceitos ao contexto deste artigo, propomos o uso de uma abordagem sistemática de avaliação e correção como parte do design e implementação de sistemas de automação residencial. Esta abordagem não só reforça a confiança na aplicação dessas tecnologias em ambientes residenciais mas também impulsiona a inovação contínua em termos de melhorias e ajustes no hardware e software utilizados, alinhando-se às expectativas de confiabilidade e eficiência necessárias para a modernização das casas inteligentes.

## **2.6 Custos de implementação**

Uma das principais vantagens da implementação de casas inteligentes com Arduino é o custo acessível da tecnologia. Tanto o Arduino quanto seus sensores têm custos mínimos de implementação em comparação com outros sistemas disponíveis no mercado. No entanto, além do custo financeiro direto, é importante considerar o custo em termos de mão de obra para desenvolvimento. O Arduino é um hardware versátil, capaz de atender a uma variedade de propósitos, e uma de suas vantagens é a abundante documentação disponível na internet e a facilidade de implementação. Isso não apenas torna a tecnologia acessível para engenheiros e cientistas da computação, mas também para profissionais de diversas áreas, como engenheiros, arquitetos e outros. A simplicidade de uso e a vasta gama de recursos oferecidos pelo Arduino abrem novas oportunidades para a criação e inovação em projetos de casas inteligentes.

Para fornecer uma visão dos custos envolvidos, elaboramos uma tabela com os preços unitários de cada componente, com base em pesquisas realizadas em 23/02/2024 no site [shopee.com.br](https://shopee.com.br). Além dos componentes utilizados no projeto, também

foram listados outros itens para possibilitar comparações e oferecer uma perspectiva para automações mais complexas e com diferentes propósitos.

**Tabela 1.** Custos por peça.

Componente	Preço
LDR	R\$ 1.99
BMP180	R\$ 9.20
Arduino Uno	R\$ 30.00
Uno Shield	R\$ 13.50
Relé 2 Canais	R\$ 11.90
LM7805	R\$ 3.61
Mq-5 Sensor de Gas	R\$ 13.67
ACS712	R\$ 10.16
DHT11	R\$ 12.42
HC-SR04	R\$ 10.00
YFS201	R\$ 25.00
MFRC522	R\$ 28.00
ESP8266	R\$ 9.90

O sensor MQ-5 é usado para detectar concentrações de gases inflamáveis, como GLP, gás natural e álcool. Ele opera medindo as mudanças na resistência elétrica em resposta à presença de gases no ambiente.

O ACS712 é um sensor de corrente elétrica que mede a corrente contínua (DC) ou alternada (AC) passando por um condutor. Ele fornece uma saída proporcional à corrente medida, sendo útil em aplicações de monitoramento de consumo de energia.

O DHT11 é um sensor de temperatura e umidade que fornece leituras digitais de temperatura e umidade relativa do ar. É amplamente utilizado em projetos de automação residencial, controle ambiental e monitoramento meteorológico.

O HC-SR04 é um sensor ultrassônico de distância, capaz de medir a distância entre o sensor e um objeto usando ondas sonoras. Ele é frequentemente empregado em projetos de robótica, detecção de obstáculos e sistemas de segurança.

O YFS201 é um sensor de fluxo de água utilizado para medir o volume de líquido que passa através de um tubo. Ele é comumente empregado em sistemas de irrigação, controle de fluxo de água em processos industriais e monitoramento de consumo de água.

O ESP8266 é um microcontrolador Wi-Fi de baixo custo e baixo consumo de energia. Ele é amplamente utilizado em projetos de IoT (Internet das Coisas) para conectar dispositivos à rede Wi-Fi e permitir a comunicação e o controle remotos por meio da internet.

O MFRC522 é um chip RFID usado para comunicação sem fio em sistemas de identificação e autenticação, comuns em projetos de controle de acesso e segurança.

Em resumo, a implementação de casas inteligentes com Arduino oferece uma solução econômica e flexível para automação residencial. A acessibilidade tanto do Arduino quanto de seus sensores torna essa tecnologia acessível a uma ampla gama de profissionais e entusiastas. Além disso, a disponibilidade de documentação abrangente e a facilidade de uso do Arduino facilitam o desenvolvimento de projetos, incentivando a inovação na automação residencial. Considerando tanto os custos financeiros diretos quanto os custos de mão de obra, o Arduino apresenta uma opção viável para criar

casas inteligentes personalizadas e eficientes, abrindo novas possibilidades para a integração de tecnologia em residências modernas e prédios públicos.

## **2.7 Futuras implementações**

Na documentação fornecida, que abrange a arquitetura de hardware, código e design, todas as funcionalidades foram inicialmente programadas, operando em resposta aos estados do ambiente. No entanto, este projeto não apenas estabelece uma base sólida para automação residencial, mas também abre caminho para desenvolvimentos mais avançados. Ele possibilita a implementação de sistemas preditivos e adaptativos, ajustando-se às necessidades individuais dos usuários. Embora a integração de sistemas preditivos possa exigir conhecimento avançado em linguagens de programação e computação, as implementações de automação sem esse aspecto tendem a ser mais acessíveis e simplificadas, adequadas até mesmo para aqueles sem formação técnica em computação.

A inclusão de técnicas de predição baseadas em machine learning, conforme discutido por Zhang, Wu, e Calautit (2022), pode transformar significativamente a eficiência energética, a qualidade do ar e o conforto térmico em ambientes construídos. Estes modelos, ao prever o comportamento dos ocupantes e as rotinas em edifícios, permitem um ajuste mais dinâmico e eficiente dos sistemas de automação residencial, alinhando o uso de energia às necessidades reais dos usuários e não apenas a horários predefinidos. Tais sistemas não só otimizam o consumo de energia mas também melhoram a qualidade de vida, fornecendo um ambiente interno ideal com base na presença e atividade dos ocupantes em tempo real. A transição para sistemas adaptativos e preditivos poderia, portanto, marcar um ponto de virada na automação residencial, levando a uma gestão de energia mais inteligente e proativa.

Implementar modelos de predição de ocupação exige um entendimento profundo dos padrões de comportamento humano e como eles influenciam o consumo de energia. Isso envolve a coleta e análise de grandes volumes de dados, que devem ser processados e interpretados de forma eficaz para permitir a adaptação em tempo real dos sistemas. A integração desses sistemas avançados também desafia os desenvolvedores a considerar cuidadosamente questões de privacidade e segurança dos dados, garantindo que a coleta e o uso de informações sejam realizados de maneira ética e segura.

## **3 Conclusão**

O projeto detalhado neste estudo demonstrou a implementação de um sistema de automação baseado em Arduino, com ênfase na eficiência energética e na redução de custos operacionais. Através da automação de funções residenciais como controle de temperatura, iluminação e monitoramento do consumo de energia, foi possível alcançar uma gestão mais eficaz dos recursos energéticos da casa. Este sistema não só oferece uma solução prática e acessível para sistemas inteligentes, mas também serve como uma ferramenta educativa em ambientes acadêmicos, promovendo a conscientização sobre sustentabilidade e eficiência energética. O sucesso deste projeto sublinha a viabilidade do Arduino em aplicações de automação residencial, apresentando um

potencial significativo para futuras inovações e melhorias na área. A capacidade de integrar tecnologia de baixo custo em soluções sustentáveis abre novas perspectivas para o desenvolvimento de sistemas de automação residencial mais avançados e acessíveis, contribuindo para um futuro mais sustentável e energeticamente eficiente.

Este projeto visa oferecer suporte a entusiastas que não têm experiência direta na área da computação, proporcionando-lhes uma introdução à potência da automação por meio de sistemas integrados com Arduino. Além disso, busca abrir oportunidades para indivíduos não familiarizados com o campo, mas que desejam inovar usando tecnologias acessíveis, sustentáveis e de baixo custo.

Em síntese, este estudo de revisão analisou a aplicação de sistemas automatizados e de controle em edifícios, com ênfase na regulação de temperatura, iluminação e sombreamento em cases inteligentes. Diversas lacunas na literatura foram identificadas, tais como a ausência de consideração de variáveis importantes, como taxa de ocupação, comportamento dos usuários e condições climáticas, nas avaliações de eficiência energética. Sugere-se a utilização de simulações de desempenho energético de edifícios como uma abordagem mais precisa. Ressalta-se a importância de pesquisas adicionais para aprimorar a precisão das simulações e explorar benefícios para além da economia de energia, como impactos na manutenção, gestão de instalações e conforto dos ocupantes. Uma avaliação abrangente deve englobar análises de custo ao longo do ciclo de vida para proporcionar uma compreensão completa dos benefícios e viabilidade econômica desses sistemas.

### **3.1 Comparação com Tecnologias Similares de Automação Residencial**

A automação residencial tem evoluído significativamente com o advento de novas tecnologias, oferecendo uma gama de soluções que variam desde sistemas altamente sofisticados e integrados até soluções de baixo custo como o Arduino.

O Arduino é uma plataforma de código aberto que se destaca pela acessibilidade e flexibilidade. Permite a entusiastas e desenvolvedores a implementação de projetos de automação residencial personalizados a um custo relativamente baixo. A utilização de sensores e módulos genéricos compatíveis com Arduino oferece uma maneira econômica para monitoramento e controle de variáveis ambientais, como luz, temperatura e segurança.

Sistemas como o Philips Hue para iluminação inteligente e o Google Nest ou Ecobee para controle de temperatura são exemplos de tecnologias de automação residencial que, embora ofereçam integração e conveniência superiores, vêm com um custo inicial significativamente mais alto. Estes sistemas frequentemente requerem menos configuração técnica e oferecem interfaces de usuário mais refinadas, o que pode ser atraente para consumidores não técnicos.

Enquanto sistemas como o Samsung SmartThings e o Apple HomeKit proporcionam uma plataforma robusta com extensa integração de dispositivos IoT, eles dependem de um ecossistema fechado que pode limitar a personalização e a expansibilidade. Por outro lado, uma solução baseada em Arduino permite uma personalização quase ilimitada, o que é crucial para aplicações específicas ou inovações em automação residencial.

Os sistemas proprietários oferecem suporte ao cliente e atualizações regulares de software, garantindo que o sistema seja seguro e esteja em conformidade com os mais recentes padrões de tecnologia. Em contraste, o Arduino, sendo uma plataforma de código aberto, requer que os usuários mantenham e atualizem seus próprios sistemas, o que pode representar um desafio sem o conhecimento técnico adequado.

A segurança é uma consideração crucial em qualquer sistema de automação residencial. Sistemas como o Nest ou Ring oferecem soluções integradas com funcionalidades avançadas de segurança, como monitoramento remoto via smartphone e detecção de movimento com alertas automáticos. Embora o Arduino possa ser equipado com funcionalidades de segurança personalizadas através de sensores e módulos adicionais, a implementação de tais características geralmente requer um entendimento mais profundo de programação e hardware.

O uso do Arduino na automação residencial é uma solução excepcionalmente custo-efetiva e altamente personalizável, adequada para entusiastas da tecnologia e desenvolvedores que desejam experimentar e inovar. No entanto, para aqueles que procuram uma solução pronta para uso, com suporte integrado e menos complexidade técnica, os sistemas proprietários de automação residencial podem ser mais apropriados. A escolha entre essas tecnologias dependerá amplamente das necessidades específicas do usuário, do orçamento disponível e do nível de conforto com a tecnologia.

## 4 Citações

### 4.1 Citações e Referências

Craig, J. J. (2005). *Introduction to robotics: Mechanics and Control* (Third Edition). Pearson Education, Inc.

Junior, S. L. S., & Farinelli, F. A. (2018). *DOMÓTICA - Automação Residencial e Casas Inteligentes com Arduino e ESP8266*. Saraiva Educação SA.

Hax, D. R., Leitzke, R. K., da Silva, A. C. S. B., & da Cunha, E. G. (2022). Influence of user behavior on energy consumption in a university building versus automation costs. *Energy and Buildings*, 256, 111730.

Soares, J. (2017). *Moradores adotam casas inteligentes para controlar tudo pelo celular*. <https://www1.folha.uol.com.br/sobretudo/morar/2017/06/1891848-moradores-adotam-casas-inteligentes-para-controlar-tudo-pelo-celular.shtml>

Tesla smart home. (n.d). <https://teslasmarthome.eu/villa/>

Vandenbogaerde, L., Verbeke, S., & Audenaert, A. (2023). Optimizing building energy consumption in office buildings: A review of building automation and control systems and factors influencing energy savings. *Journal of Building Engineering*, 107233.

- Kong, M., Dong, B., Zhang, R., & O'Neill, Z. (2022). HVAC energy savings, thermal comfort and air quality for occupant-centric control through a side-by-side experimental study. *Applied Energy*, 306, 117987.
- Hernández-Rodríguez, E., González-Rivero, R.A., Schalm, O., Martínez, A., Hernández, L., Alejo-Sánchez, D., Janssens, T., & Jacobs, W. (2023). Reliability Testing of a Low-Cost, Multi-Purpose Arduino-Based Data Logger Deployed in Several Applications Such as Outdoor Air Quality, Human Activity, Motion, and Exhaust Gas Monitoring. *Sensors*, 23, 7412.
- Zhang, W., Wu, Y., & Calautit, J. K. (2022). A review on occupancy prediction through machine learning for enhancing energy efficiency, air quality, and thermal comfort in the built environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167, 112704.
- Mahalakshmi, G., & Vigneshwaran, M. (2017). IOT Based Home Automation Using Arduino. *International Journal of Engineering and Advanced Research Technology*, 3(8), 7-11.