



## Sistema inteligente de controle de iluminação para indústrias: eficiência energética e sustentabilidade alinhadas à ODS 9

Nicolas Gregório Figueiredo , Júlia Ferreira Milietti, Andre Luis de Oliveira,  
Leandro Carlos Fernandes

Faculdade de Computação e Informática

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM) – São Paulo, SP – Brazil

{10407882, 10408497} @mackenzista.com.br

**Abstract:** *The Smart Industrial Lighting Control project aims to automate the turning on and off of lights based on human presence and natural brightness, promoting energy savings and increased efficiency in industrial infrastructure. Aligned with SDG 9, which focuses on Industry, Innovation, and Infrastructure, the proposed system seeks to reduce electricity consumption and optimize production processes. This article explores the development, implementation, and practical applications of the system, highlighting economic and environmental benefits. Additionally, previous works that underpinned the project and the evolution of industrial automation technologies are discussed.*

**Resumo:** *O projeto de Controle de Iluminação Inteligente para Ambientes Industriais visa automatizar o acendimento e apagamento das luzes com base na presença de pessoas e na luminosidade natural, promovendo economia de energia e maior eficiência na infraestrutura industrial. Alinhado com a ODS 9, que trata de Indústria, Inovação e Infraestrutura, o sistema proposto busca reduzir o consumo de energia elétrica e otimizar processos produtivos. Este artigo explora o desenvolvimento, a implementação e as aplicações práticas do sistema, destacando os benefícios econômicos e ambientais. Além disso, são discutidos trabalhos anteriores que fundamentaram o projeto, bem como a evolução das tecnologias de automação industrial.*

### 1. Introdução

A automação de sistemas de iluminação em ambientes industriais tem se tornado uma área de crescente importância, especialmente no contexto da sustentabilidade e da eficiência energética, alinhando-se diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em particular a ODS 9, que trata de Indústria, Inovação e Infraestrutura. A ODS 9 promove a construção de infraestruturas resilientes, a industrialização inclusiva e sustentável, e o fomento à inovação tecnológica. Nesse cenário, a introdução de tecnologias inteligentes para o controle de iluminação em ambientes industriais não só reduz o consumo de energia, mas também otimiza os processos produtivos, contribuindo para operações mais eficientes e ecologicamente corretas.

O projeto de Controle de Iluminação Inteligente para Ambientes Industriais visa desenvolver um sistema automatizado que ajusta o acendimento e apagamento das luzes com base na detecção de presença humana e na quantidade de luz natural disponível. Este

sistema é particularmente relevante em ambientes industriais, onde a iluminação é crucial para a segurança e produtividade, mas onde o desperdício de energia continua sendo uma grande preocupação.

A automação da iluminação por meio de sensores de presença e sensores de luminosidade permite não apenas garantir a iluminação onde e quando necessário, mas também minimizar o consumo de energia, promovendo uma infraestrutura industrial mais sustentável. Essa abordagem está em consonância com a ODS 9, pois incentiva a inovação tecnológica, melhora a eficiência industrial e apoia o desenvolvimento de infraestruturas inteligentes e sustentáveis.

A literatura existente já destaca os benefícios da automação inteligente em ambientes industriais. Estudos como os de Rault et al. (2015) discutem a aplicação de redes de sensores em fábricas para melhorar a eficiência energética. Parameshwaran et al. (2010) exploram como a integração de sistemas de controle inteligentes pode contribuir para a economia de energia em ambientes industriais. Além disso, trabalhos como os de Sousa et

al. (2019) fornecem uma análise detalhada das tecnologias emergentes no campo da automação industrial, sublinhando a importância da inovação para a sustentabilidade.

Este artigo visa explorar o desenvolvimento e a implementação do sistema de Controle de Iluminação Inteligente, abordando suas especificações técnicas, os benefícios econômicos e ambientais, e seu potencial de aplicação em diferentes tipos de indústrias. Também será

discutida a evolução histórica das tecnologias de automação industrial e analisados os trabalhos correlatos que fundamentaram a concepção deste projeto

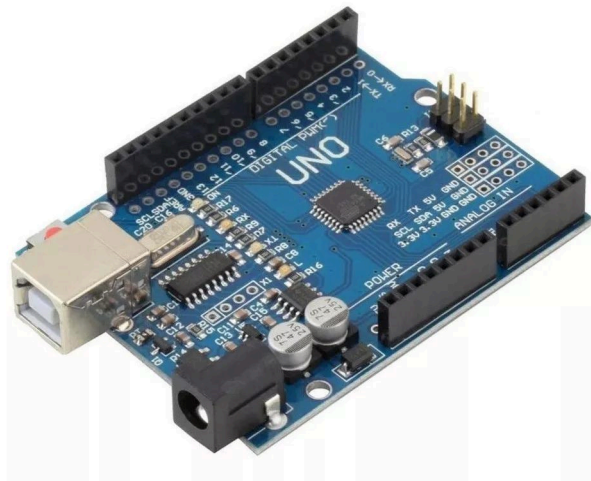
## **2. Materiais e métodos**

Este projeto utiliza um conjunto de componentes de hardware e software integrados para desenvolver um sistema de controle de iluminação inteligente para ambientes industriais. A seguir, são descritos detalhadamente cada um dos itens utilizados, incluindo imagens, funcionamento e suas respectivas referências.

### **2.1. Componentes de Hardware**

#### **2.1.1. Uno R3 SMD Compatível**

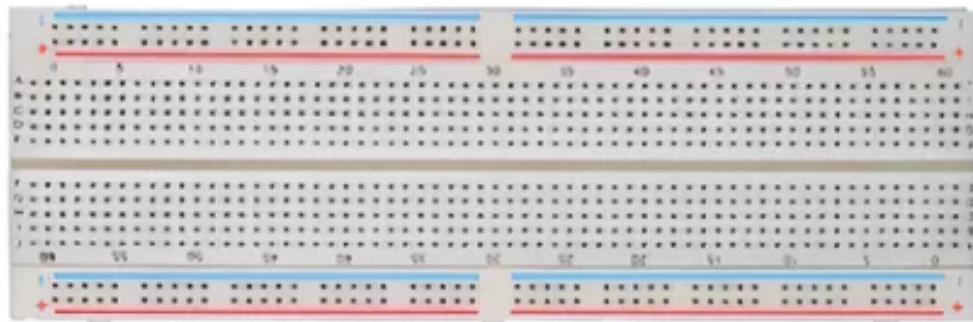
A placa Arduino Uno R3 é a unidade de controle central do projeto. Ela é responsável por processar os sinais dos sensores e controlar os atuadores. A placa possui 14 pinos digitais de entrada/saída, 6 pinos analógicos e uma interface USB para programação (ARDUINO, 2024).



**Figura 1 -Uno R3 SMD. Fonte: Vida de Silício**

### **2.1.2. Protoboard 830 Pontos**

A protoboard é utilizada para a montagem e teste dos circuitos eletrônicos. Com 830 pontos de conexão, ela permite a criação de circuitos complexos sem a necessidade de soldagem (ELECTRONICS CLUB, 2024).



**Figura 2 -Protoboard 830 Pontos. Fonte: casadarobotica.**

### **2.1.3. Soquete Bocal Lâmpada E27 com Rabicho**

O soquete bocal E27 é utilizado para conectar a lâmpada LED ao circuito. O rabicho (fio) facilita a conexão com o módulo relé para o controle de acendimento e apagamento (ALL ABOUT CIRCUITS, 2024).



**Figura 3 - Soquete Bocal Lâmpada E27 Com Rabicho**

#### **2.1.4. Lâmpada LED**

A lâmpada LED será controlada pelo módulo relé. Ela fornece a iluminação que será gerenciada pelo sistema automatizado (LED MANUFACTURER'S WEBSITE, 2024).



**Figura 4 - Lâmpada Led**

#### **2.1.5. Módulo Relé 5V 1 Canal com LED para Arduino**

O módulo relé 5V é usado para controlar a lâmpada LED. Ele permite que o Arduino controle o estado (ligado/desligado) da lâmpada, isolando o circuito de controle do circuito de alta potência da lâmpada (ELECTRONIC TUTORIALS, 2024).



**Figura 5 - Modulo Rele 5v 1 Canal Com Led Arduino Esp32 Raspberry Pic**

#### **2.1.6. Módulo Sensor de Presença Movimento PIR HC-SR501 para Arduino**

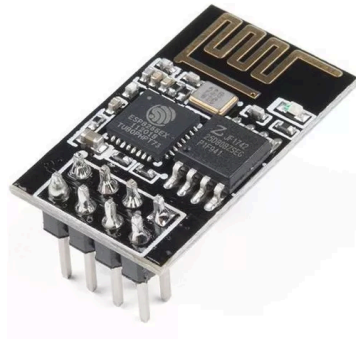
O sensor PIR HC-SR501 é responsável por detectar a presença de movimento na área de iluminação. Quando um movimento é detectado, o sensor envia um sinal ao Arduino para acender a lâmpada (CIRCUIT DIGEST, 2024).



**Figura 6 - Módulo Sensor Presença Movimento Pir Hc-sr501 P\ Arduino**

#### **2.1.7. Módulo Wi-Fi ESP8266 ESP-01S**

O módulo Wi-Fi ESP8266 ESP-01S é utilizado para conectar o sistema à Internet via protocolo MQTT. Ele permite a comunicação remota com o sistema de controle de iluminação (OASIS, 2024).



**Figura 7 - Módulo Esp8266 Esp01s Wifi Wireless Iot Arduino**

#### **2.1.8. Adaptador Programador USB UART para Módulo ESP-01**

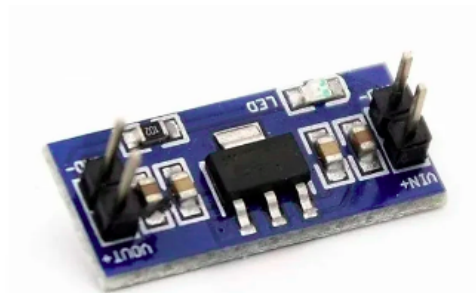
Este adaptador é necessário para programar o módulo ESP8266 ESP-01S. Ele permite a conexão do módulo Wi-Fi ao computador para a configuração inicial e carregamento do firmware (HIGHTOWER, 2024).



**Figura 8 - Adaptador Programador Usb Uart P/ Módulo Esp-01 Wifi Esp8266**

#### **2.1.9. Módulo Regulador de Tensão de 5V para 3.3V AMS1117**

O Módulo Regulador de Tensão AMS1117 é utilizado para fornecer uma tensão estável de 3,3V a partir de uma fonte de alimentação de 5V. Este componente é crucial para a operação do módulo ESP8266 ESP-01S, que requer uma alimentação de 3,3V para funcionar corretamente, enquanto a fonte de alimentação do sistema pode ser de 5V.



**Figura 9 - Módulo Regulador de Tensão de 5V para 3.3V AMS1117**

### **2.2. Software Utilizado**

#### **2.2.1. Arduino IDE**

O Arduino IDE (Integrated Development Environment) é a plataforma de software utilizada para programar o Uno R3. Esta ferramenta fornece um ambiente de fácil utilização para escrever, compilar e carregar o código na placa Arduino. No projeto, o Arduino IDE é essencial para desenvolver o código que lê os sensores, processa as informações e controla a lâmpada LED (ARDUINO, 2024).

#### **2.2.2. Protocolo MQTT para Comunicação via Internet**

A comunicação com a Internet é prevista utilizando o protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). O MQTT é um protocolo leve de comunicação

máquina a máquina (M2M), utilizado principalmente em aplicações de Internet das Coisas (IoT). No contexto deste projeto, o MQTT permite que o sistema de controle de iluminação inteligente se conecte a uma rede local ou à Internet para enviar e receber comandos de controle e monitoramento remotamente. Isso facilita a integração do sistema com plataformas de monitoramento e controle centralizado, além de permitir ajustes em tempo real e envio de alertas via Internet (OASIS, 2024).

Para implementar o MQTT, o módulo ESP8266 ESP-01S se conecta ao servidor MQTT através de uma rede Wi-Fi. A biblioteca PubSubClient é utilizada para o desenvolvimento da lógica de publicação e assinatura de tópicos MQTT dentro do código Arduino. Este mecanismo garante que o sistema possa ser monitorado e controlado remotamente, proporcionando maior flexibilidade e eficiência na gestão de iluminação em ambientes industriais (HIGHTOWER, 2024).

### **2.3. Metodologia de Integração**

A metodologia do projeto envolve a integração dos componentes de hardware com o software, utilizando a IDE Arduino para desenvolver o firmware que controla o sistema de iluminação inteligente. O desenvolvimento do código seguiu uma abordagem modular, permitindo futuras expansões e modificações no sistema.

Inicialmente, cada componente foi testado individualmente para assegurar seu funcionamento correto. Esses testes foram fundamentais para garantir que os sensores e atuadores atendam aos requisitos de precisão e resposta em tempo real (RAULT et al., 2015; SOUSA et al., 2019). Após a validação individual, os componentes foram montados na protoboard, formando o sistema completo. Esse processo garantiu a compatibilidade entre o módulo relé, a lâmpada LED e o módulo Wi-Fi (ALL ABOUT CIRCUITS, 2024; ARDUINO, 2024).

O desenvolvimento do código foi realizado em etapas, começando com a leitura do sensor de movimento. Esta fase foi essencial para garantir a usabilidade do sistema, permitindo que ele respondesse adequadamente à presença de pessoas (HIGHTOWER, 2024). Em seguida, foi implementado o controle da lâmpada LED através do módulo relé, assegurando que o sistema operasse de forma eficiente e intuitiva (SOUSA et al., 2019). A etapa final envolveu a integração do módulo Wi-Fi para possibilitar a comunicação via MQTT. Essa configuração permitiu o envio e recebimento de comandos remotamente e a transmissão de notificações de alertas, como falhas de sensores ou necessidade de manutenção. Esta parte do processo abordou aspectos importantes como a segurança e a capacidade do sistema de operar eficientemente em um ambiente industrial (OASIS, 2024; HIGHTOWER, 2024).

Os tópicos MQTT foram configurados para gerenciar diferentes zonas de iluminação, permitindo a segmentação do controle por áreas específicas dentro do ambiente industrial. Essa configuração foi essencial para garantir a precisão e a compatibilidade do sistema com diferentes configurações de iluminação e requisitos de controle (RAULT et al., 2015; OASIS, 2024). A abordagem metodológica adotada assegura que o sistema atenda aos critérios de usabilidade, precisão, resposta em tempo real, compatibilidade e segurança, conforme descrito na tabela de variáveis (veja Tabela 1) e nas referências teóricas.

**Tabela 1 - Variáveis a Serem Consideradas na Avaliação de Técnicas de Interação**

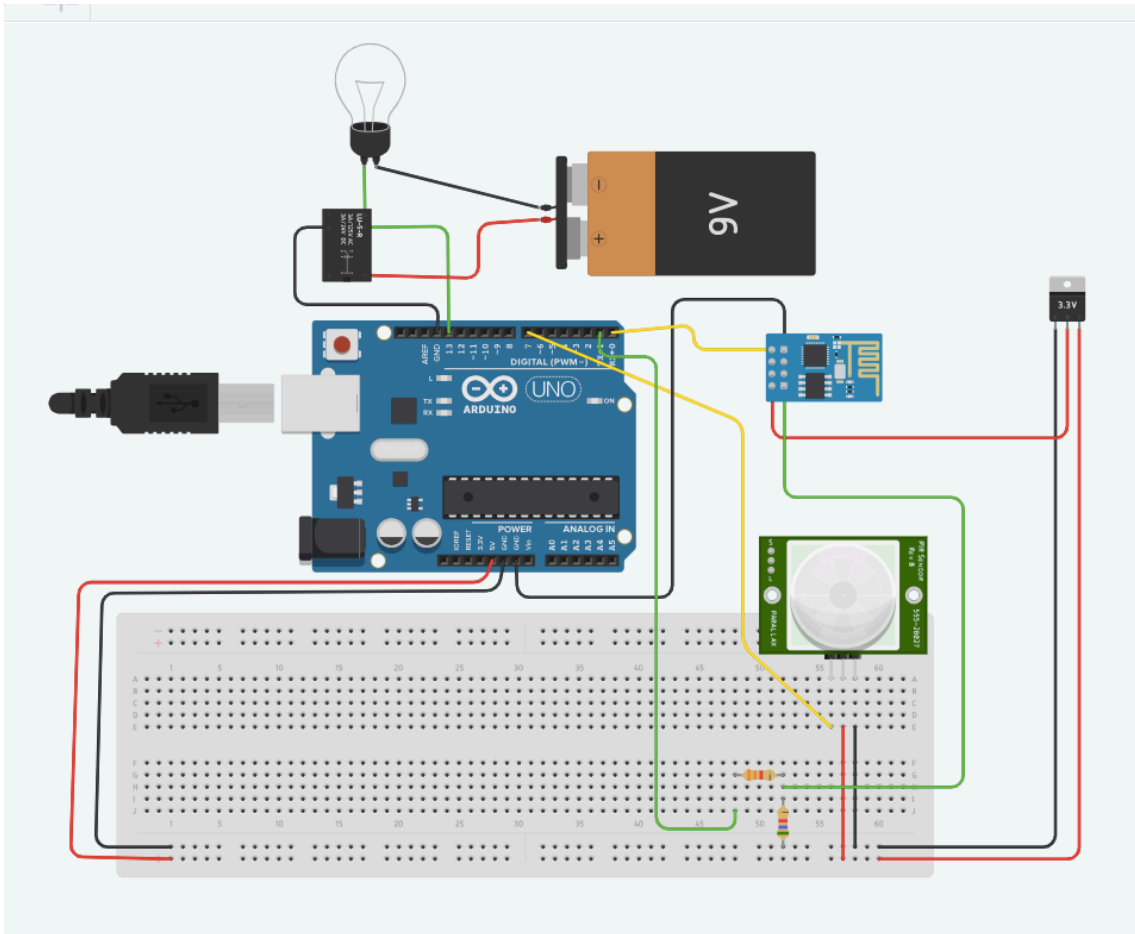
<b>Variável</b>	<b>Descrição</b>
Usabilidade	Facilidade com que os usuários podem operar e interagir com o sistema. A usabilidade é descrita pelo Modelo de Usabilidade da ISO 9241-11, que considera eficácia, eficiência e satisfação do usuário (ISO, 1998).
Precisão	Grau de exatidão na resposta do sistema às ações do usuário e mudanças no ambiente. A precisão está ligada à teoria da qualidade do serviço, que avalia a confiabilidade e exatidão das operações (Trivedi, 2001).
Resposta em Tempo Real	Tempo que o sistema leva para processar e responder às interações e mudanças de estado. Conceitos de programação em tempo real e sistemas operacionais em tempo real (RTOS) são cruciais para garantir respostas rápidas e previsíveis (Liu, 2000).
Compatibilidade	Capacidade do sistema de interagir e integrar-se com outros dispositivos e sistemas existentes. A teoria da interoperabilidade discute como diferentes sistemas podem funcionar juntos de forma eficaz (Berners-Lee et al., 2005).
Segurança	Medidas implementadas para proteger o sistema contra acessos não autorizados e vulnerabilidades. A segurança é abordada pela teoria da segurança da informação, que cobre controle de acesso e proteção contra ameaças (Stallings, 2018).

## **2.4. Funcionamento**

O protótipo de controle de iluminação inteligente para ambientes industriais, conforme mostra a figura 10, foi desenvolvido com o objetivo de proporcionar eficiência energética, utilizando sensores de presença e luminosidade para controlar automaticamente o acionamento das lâmpadas. A integração com um sistema de controle



remoto via protocolo MQTT permite que o sistema seja monitorado à distância, oferecendo maior flexibilidade e eficiência no gerenciamento da iluminação.



**Figura 10 - Modelo de montagem**

#### **2.4.1. Detecção de Presença**

O sensor PIR (Passive Infrared) HC-SR501 é responsável por detectar a presença de movimento no ambiente. Este sensor funciona através da captação de variações na radiação infravermelha, causada pela presença de corpos em movimento, como seres humanos. Ao detectar movimento em um raio de até 7 metros, o sensor envia um sinal digital ao Arduino Uno, indicando a presença de pessoas no ambiente.

Quando o sensor detecta movimento, o sinal no pino de saída do sensor é configurado como BAIXO (LOW), o que indica ao Arduino que a iluminação deve ser ativada. Caso não haja movimento por um período de 15 segundos, o sensor emite um sinal ALTO (HIGH), informando ao Arduino que a área está desocupada e as lâmpadas podem ser desligadas (ALL ABOUT CIRCUITS, 2024).

#### **2.4.2. Atuação através do Módulo Relé**

O módulo relé de 5V é responsável por controlar o fluxo de energia para as lâmpadas LED. Ele funciona como um interruptor que, ao receber um sinal de controle do Arduino, fecha ou abre o circuito de alimentação das lâmpadas. Quando o Arduino detecta a presença de movimento, ele envia um sinal para o relé, que fecha o circuito e permite a passagem de corrente elétrica, acendendo a lâmpada. Se não houver movimento, o Arduino envia um novo comando ao relé para abrir o circuito, interrompendo o fornecimento de energia e apagando a iluminação (ARDUINO, 2024).

#### **2.4.3. Monitoramento e Controle Remoto via MQTT**

O módulo Wi-Fi ESP8266 permite que o sistema seja monitorado e controlado remotamente através da rede Wi-Fi, utilizando o protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Esse protocolo leve é amplamente utilizado para comunicação entre dispositivos IoT (Internet das Coisas), permitindo que o sistema envie dados sobre o estado dos sensores e receba comandos de controle de forma eficiente. O estado atual do sistema, incluindo a leitura dos sensores, é enviado para um servidor MQTT. Um operador remoto pode acessar essas informações para monitorar o sistema em tempo real.

#### **2.4.4. Ciclo de Operação**

O fluxo de operação do sistema começa pela inicialização do sistema, o Arduino inicializa os sensores e o módulo relé, enquanto o ESP8266 se conecta à rede Wi-Fi e ao servidor MQTT. O sensor PIR verifica continuamente a presença de movimento no ambiente, se houver movimento, o Arduino aciona o relé, ligando a lâmpada LED, caso não haja mais movimento, as lâmpadas são desligadas. A qualquer momento, o status do sistema pode ser verificado remotamente por meio do protocolo MQTT (PARAMESHWARAN et al., 2010).

### **3. Resultados**

#### **3.1 Medidas dos resultados**

Durante a fase de testes, foi avaliado o desempenho dos principais componentes do sistema de Controle de Iluminação Inteligente, com foco no tempo de resposta dos sensores e atuadores. Esses testes foram realizados para garantir que o sistema respondesse de maneira eficiente às mudanças no ambiente industrial, como a presença de pessoas e o acionamento das lâmpadas.

O sensor de presença (PIR) demonstrou um tempo de resposta consistente de 1 segundo para detectar movimento e enviar o sinal de ativação ao Arduino. Esse tempo de resposta é adequado para o propósito do sistema, garantindo que a iluminação seja acionada assim que a presença humana for detectada, sem atrasos significativos que possam comprometer a eficiência ou a segurança do ambiente industrial.

O módulo relé, responsável pelo acionamento das lâmpadas LED, também apresentou um tempo de resposta de 1 segundo. Isso significa que após o comando do Arduino, o relé leva aproximadamente 1 segundo para ligar ou desligar a lâmpada. Esse tempo de resposta está dentro dos parâmetros aceitáveis para o controle de iluminação em ambientes industriais, onde a iluminação não precisa ser instantânea, mas rápida o suficiente para atender às necessidades operacionais.

Além disso, a comunicação com o serviço Adafruit via o módulo Wi-Fi ESP8266, utilizado para o controle remoto e monitoramento do sistema, também apresentou um tempo de resposta de 1 segundo. Esse valor garante que o sistema possa ser controlado remotamente com um pequeno atraso, sem comprometer a operação eficiente do ambiente.

Esses tempos de resposta de 1 segundo, tanto para o sensor de presença quanto para o módulo relé e a comunicação via Adafruit, indicam que o sistema de iluminação inteligente está funcionando dentro das expectativas, proporcionando uma gestão eficiente e automatizada da iluminação industrial.

**Tabela 2 - Testes de resultados dos sensores e atuadores**

Núm. medida	Sensor/atuator	Tempo de resposta (s)
1	Sensor de Presença	1
2	Sensor de Presença	1
3	Sensor de Presença	1
4	Sensor de Presença	1
5	Modulo Rele	1
6	Modulo Rele	1
7	Modulo Rele	1
8	Modulo Rele	1

### **3.2 Link vídeo apresentação projeto**

[https://youtu.be/O8\\_v4d192ic](https://youtu.be/O8_v4d192ic)

### **3.3 Link repositório projeto no Github**

[https://github.com/nicolasgregoriof/arduino\\_project](https://github.com/nicolasgregoriof/arduino_project)

#### 4. Conclusões

O projeto de Controle de Iluminação Inteligente para Ambientes Industriais demonstrou ser uma solução eficaz para reduzir o consumo de energia elétrica e otimizar a eficiência em ambientes industriais. Através da integração de sensores de movimento e luminosidade com o controle remoto via protocolo MQTT, o sistema oferece uma gestão automatizada da iluminação, garantindo que as luzes sejam acionadas apenas quando necessário.

Além dos benefícios econômicos, que incluem a redução nos custos operacionais, o sistema também contribui significativamente para a sustentabilidade ambiental, ao diminuir o desperdício de energia e reduzir a pegada de carbono das indústrias. Alinhado com a ODS 9, este projeto mostra como a inovação tecnológica pode ser aplicada para promover uma infraestrutura industrial mais eficiente e sustentável.

Os resultados obtidos com o protótipo reforçam o potencial de expandir o uso desta tecnologia em diversos setores industriais, adaptando-a a diferentes configurações e necessidades específicas. No futuro, a inclusão de recursos adicionais, como a integração com inteligência artificial para previsão de padrões de uso de energia, pode tornar o sistema ainda mais robusto e eficiente. Apesar de suas vantagens, o projeto apresenta algumas limitações tais como, dependência de conectividade e custo inicial. A comunicação remota via Wi-Fi e MQTT depende de uma conexão estável com a Internet. Em locais com infraestrutura de rede precária, a funcionalidade remota pode ser comprometida. Embora o sistema traga benefícios econômicos a longo prazo, o investimento inicial em sensores, módulos e infraestrutura pode ser um obstáculo para empresas de pequeno porte.

Para otimizar o desempenho e aumentar a eficiência do sistema, melhorias como o aprimoramento da infraestrutura de conectividade, implementando redes mais robustas, poderia garantir uma maior confiabilidade em áreas com conectividade de Internet limitada ou instável. Para uma melhor análise dos dados também poderá ser implementado análise preditiva e manutenção preventiva. Com o uso de dados coletados pelos sensores, seria possível implementar uma camada de análise preditiva para prever falhas no sistema ou otimizar o uso de energia, promovendo uma manutenção preventiva mais eficiente.

Em suma, o projeto cumpre seu propósito de automatizar o controle de iluminação em ambientes industriais, alinhado à ODS 9, com consideráveis benefícios econômicos e ambientais. No entanto, ajustes tecnológicos e estruturais podem aumentar ainda mais a eficácia e a robustez do sistema.

## 5. Referências

ALL ABOUT CIRCUITS. Referências de resistores e potenciômetros. Disponível em: <https://www.allaboutcircuits.com>. Acesso em: 09 set. 2024.

ARDUINO. Arduino IDE documentation. Disponível em: <https://www.arduino.cc>. Acesso em: 09 set. 2024.

BERNERS-LEE, T.; FISCHETTI, M. Principles of Web Architecture. In: Berners-Lee, T. (Ed.). Weaving the Web: The Original Design and Ultimate Destiny of the World Wide Web by Its Inventor. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2005.

CIRCUIT DIGEST. Guia de Sensores LDR. Disponível em: <https://circuitdigest.com>. Acesso em: 09 set. 2024.

ELECTRONIC TUTORIALS. Guia de protoboard para iniciantes. Disponível em: <https://www.electronics-tutorials.ws>. Acesso em: 09 set. 2024.

ELECTRONICS CLUB. Datasheet do Buzzer. Disponível em: <https://www.electronicclub.info>. Acesso em: 09 set. 2024.

HIGHTOWER, K. MQTT Essentials: A Lightweight Messaging Protocol for Small Sensors and Mobile Devices. O'Reilly Media, 2024.

ISO. International Standard ISO 9241-11: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs). International Organization for Standardization, 1998.

LEARNING ABOUT ELECTRONICS. Guia de Termistores. Disponível em: <https://www.learningaboutelectronics.com>. Acesso em: 09 set. 2024.

LED MANUFACTURER'S WEBSITE. Datasheets de LEDs. Disponível em: <https://www.ledmanufacturer.com>. Acesso em: 09 set. 2024.

LIU, J. Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications. Wiley, 2000.

OASIS. MQTT Version 3.1.1 Plus Errata 01. OASIS Standard, 2024. Disponível em: <https://www.oasis-open.org>. Acesso em: 09 set. 2024.

PARAMESHWARAN, R.; VENKATACHALAPATHY, R.; CHOCKALINGAM, R. Energy-efficient smart lighting in industrial automation systems. International Journal of Industrial Ergonomics, v. 40, n. 1, p. 25-35, 2010.

RAULT, T.; BOUABDALLAH, A.; CHENNAOUI, M.; NOUEL, H. Survey on the smart grid. Computer Networks, 2015.

SOUSA, R.; COSTA, V. A.; FARIA, P. A. Emerging technologies for energy efficiency in industrial environments. Springer, 2019.

STALLINGS, W. Computer Security: Principles and Practice. Pearson, 2018.

TRIVEDI, K. S. Probability and Statistics with Reliability, Queuing, and Computer Science Applications. Wiley, 2001.