



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
Faculdade de Computação e Informática

Sistemas Inteligentes de Segurança no Trabalho na detecção de gás Baseados em IIoT para a Indústria 4.0

Adelmir Vieira Pinto Junior¹, Professor; Andre Luis De Oliveira

¹Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM) -
Rua da Consolação, 930 Consolação, São Paulo - SP, 01302-907 – Brazil

`adelmir_junior1@hotmail.com`

Abstract

This paper addresses the application of IIoT (Industrial Internet of Things) systems in occupational safety, focusing on the use of gas sensors that monitor the work environment to automatically open doors in case of emergencies, enhancing safety in Industry 4.0 environments. The implementation of these technologies aims to reduce risks and improve response times and monitoring during potential incidents. Through the integration of real-time data, sensors, and cloud computing, IIoT systems provide a more secure industrial environment. The study discusses relevant works, technological trends, and how companies are evolving to ensure employee safety through automation and intelligence.

Resumo

Este trabalho discute a aplicação de sistemas baseados em IIoT (Internet Industrial das Coisas) para melhorar a segurança do trabalho na Indústria 4.0. Dispositivos inteligentes, que detecta gases no ambiente indústrias, são apresentados como soluções tecnológicas que visam mitigar riscos no ambiente industrial. A integração de sensores, dados em tempo real, visam oferece um cenário de monitoramento mais eficiente e proativo. A pesquisa aborda a evolução do tema, trabalhos correlatos e como as empresas têm se adaptado para promover a segurança por meio da automação.

1. Introdução

1.1. Contextualização e Evolução Histórica

A Indústria 4.0 representa a quarta revolução industrial, caracterizada pela interconectividade, automação e análise de dados em tempo real. No contexto da segurança do trabalho, a aplicação de novas tecnologias, como a IIoT, vem revolucionando os processos e permitindo uma maior eficiência no monitoramento de riscos.

A IIoT se refere à extensão da Internet das Coisas (IoT) ao ambiente industrial, onde dispositivos conectados monitoram e coletam dados para melhorar processos e segurança. A evolução da IIoT começou com a automação industrial, que inicialmente envolvia a implementação de sensores básicos e sistemas de controle. Contudo, a integração em larga escala de sistemas conectados e a análise de dados em tempo real tornaram o cenário da segurança industrial muito mais sofisticado.

1.2. Trabalhos Correlatos

Estudos como o de Smith et al. (2020) exploraram a implementação de redes de sensores sem fio em ambientes industriais para monitoramento de gases tóxicos e condições de trabalho perigosas. Outros trabalhos, como o de Gonçalves e Souza (2019), analisaram o uso de dispositivos wearables para detecção precoce de condições de risco, como quedas e fadiga.

Diversas soluções vêm sendo propostas ao longo dos anos, como a introdução de sistemas de travamento inteligente de portas e sistemas de alerta em tempo real baseados em sensores conectados. A utilização desses sistemas visa garantir que ambientes críticos permaneçam seguros e que a resposta a emergências seja rápida e eficaz.

2. Sistemas Inteligentes de Segurança no Trabalho

2.1. Controle Inteligente de Exaustores

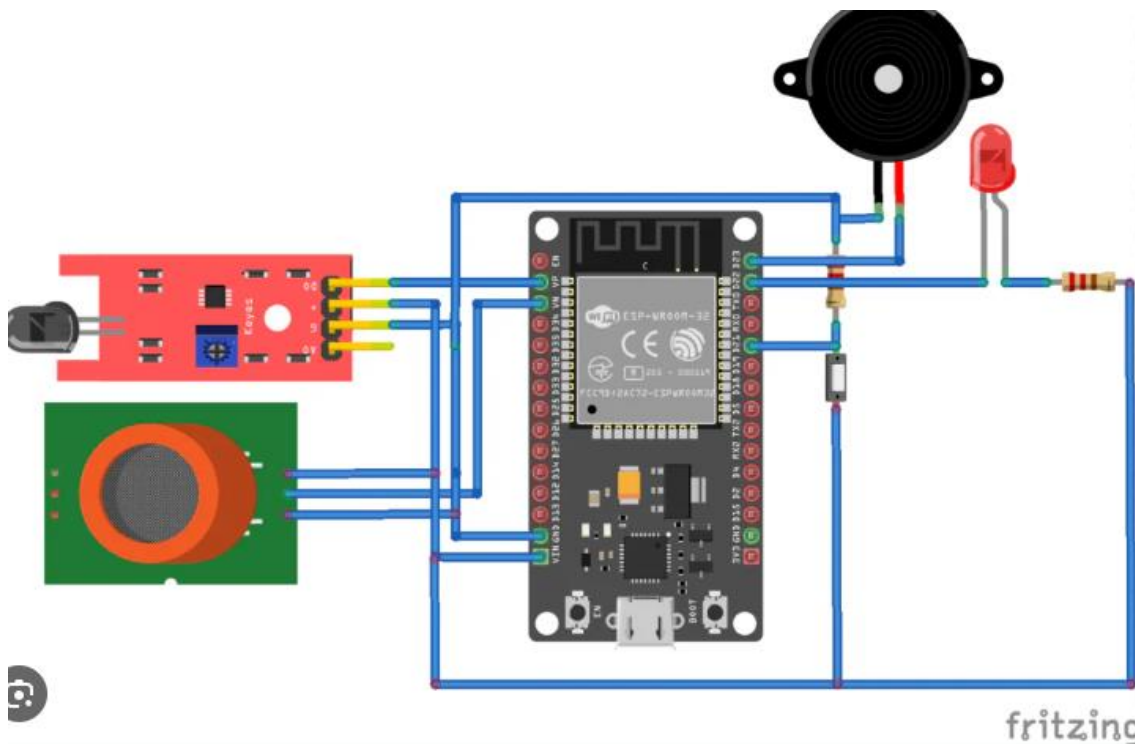
Um dos exemplos mais promissores de IIoT aplicado à segurança no trabalho é o controle inteligente de exaustores em áreas de risco. Esses dispositivos são integrados a sensores que monitoram a presença de gases perigosos, pressão atmosférica ou movimentações anormais. Assim, os exaustores podem ser ativados automaticamente para remover gases tóxicos ou inflamáveis do ambiente, garantindo a ventilação adequada e prevenindo acidentes.

Figura 1: Exaustor Siroco



Fonte: exaustriz

Figura 2: Exemplo de Sistema de detecção de gás para ser utilizado em áreas Industriais.



Fonte: Maker Hero

2.2. Acionamentos Inteligentes

Outra solução aplicada à segurança são os acionamentos inteligentes, como interruptores que reagem a sinais de perigo detectados em tempo real, desligando máquinas automaticamente. Esses sistemas são cruciais para ambientes onde há risco de falhas mecânicas ou humanas, ajudando a prevenir incidentes como incêndios ou explosões.

Tabela 1: Exemplo de Sistemas Inteligentes na Indústria 4.0

Sistema	Função	Benefício Principal
Travamento de portas	Bloqueio automático em áreas de risco	Prevenção de entrada em locais perigosos
Acionamento inteligente	Desligamento automático de máquinas perigosas	Prevenção de acidentes mecânicos
Detecção de gases	Abertura de portas e alarmes	Evacuações da área de trabalho.

2.3. Sensores de Gases para Controle Automático de Exaustores

Outra aplicação crucial da IIoT no contexto da segurança industrial envolve o uso de sensores de gases para o controle automático de exaustores em áreas de risco. Em ambientes industriais onde há a presença de gases tóxicos ou inflamáveis, esses sensores monitoram continuamente a concentração de substâncias perigosas no ar. Caso seja detectada uma elevação além dos limites seguros, o sistema inteligente entra em ação, ativando automaticamente os exaustores para remover os gases perigosos do ambiente, reduzindo a concentração a níveis seguros.

Esses sensores não apenas previnem a exposição de trabalhadores a gases contaminantes, mas também atuam de forma preventiva, emitindo alertas em tempo real e acionando mecanismos automáticos de ventilação ou neutralização de gases. Essa combinação de monitoramento contínuo e resposta imediata diminui significativamente o risco de acidentes graves, como explosões ou intoxicações, ao garantir a rápida eliminação dos gases perigosos do ambiente.

Tabela 2: Sensores MQ e os gases nos quais são sensíveis

Nome do Sensor	Gases nos quais são sensíveis
MQ-2	Detecção de gases inflamáveis: GLP, Metano, Propano, Butano, Hidrogênio, Álcool, Gás Natural e fumaça
MQ-3	Detecção de Álcool, Etanol e fumaça
MQ-4	Detecção de Metano, Propano e Butano
MQ-5	Detecção de GLP e gás natural
MQ-6	Detecção de GLP, Propano, Isobutano e gás natural liquefeito
MQ-7	Detecção de Monóxido de Carbono
MQ-8	Detecção de gás Hidrogênio
MQ-9	Detecção de monóxido de carbono
MQ-131	Detecção de Ozônio
MQ-135	Detecção de Gás Amônia, Óxido Nítrico, Álcool, Benzeno, Dióxido de Carbono e fumaça
MQ-136	Detecção de gás sulfídrico H ₂ S
MQ-137	Detecção de gás Amônia
MQ-138	Detecção de n-hexano, benzeno, NH ₃ , álcool, fumaça e CO

Fonte: Maker Hero

2.4. Integração entre Dispositivos Wearables e Sensores de Gases

A integração entre dispositivos wearables e sensores de gases vem ganhando destaque como uma solução eficiente para aumentar a segurança no ambiente de trabalho industrial. Nesse contexto, wearables podem ser equipados com sensores de gases integrados diretamente nos dispositivos vestíveis, oferecendo uma proteção personalizada e mais próxima ao trabalhador.

Esses wearables com sensores de gases incorporados são capazes de monitorar continuamente o ambiente ao redor do trabalhador, identificando a presença de substâncias perigosas, como gases tóxicos ou inflamáveis. Ao detectar um nível crítico de gases, o dispositivo wearable pode emitir alertas diretos, como vibrações, sinais sonoros ou luminosos, avisando o trabalhador para evacuar ou adotar outras medidas preventivas.

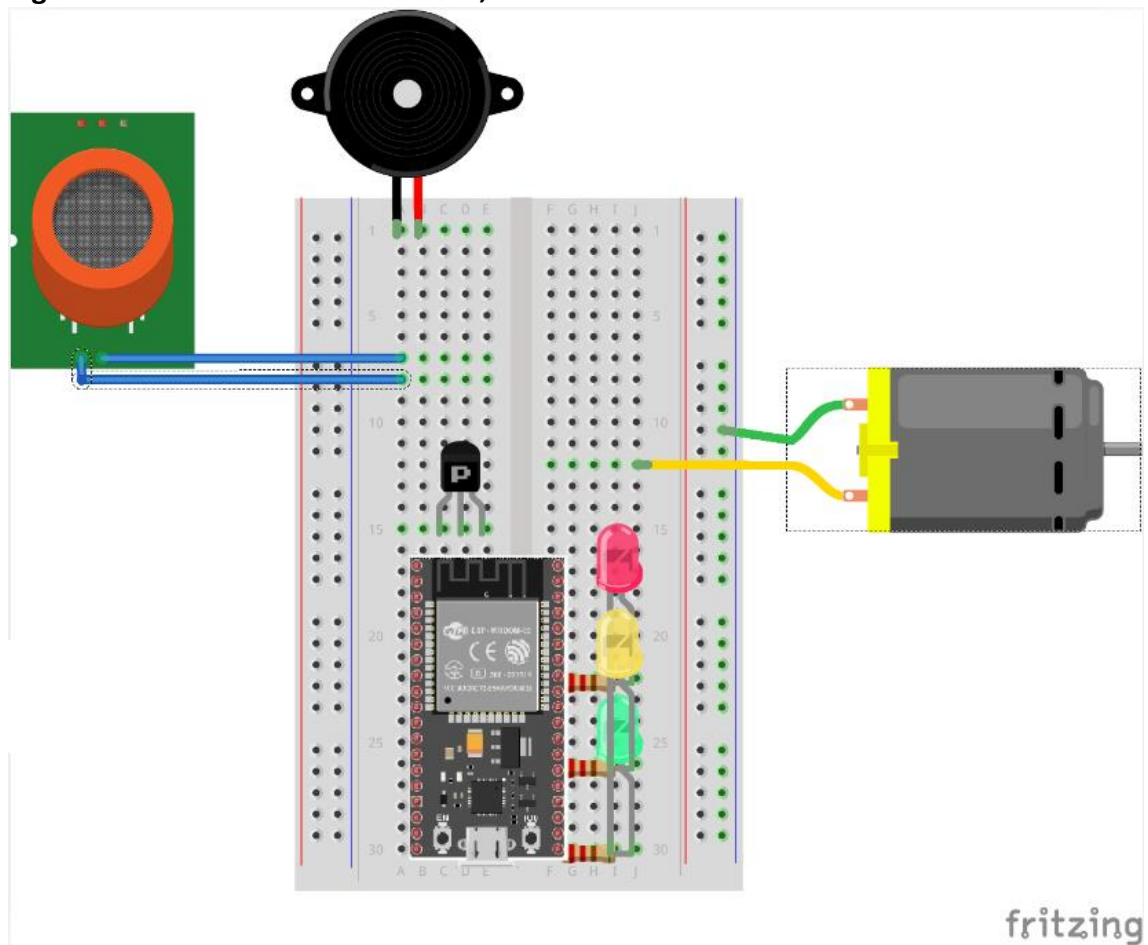
3. Integração do Protocolo MQTT

A utilização do protocolo **MQTT** proporciona uma comunicação rápida e eficiente entre os diferentes componentes do sistema. O ESP32 publica as leituras dos sensores de gases nos tópicos do broker MQTT, e dispositivos como wearables, motor do exaustor e gestores do sistema atuam como "subscribers", recebendo e agindo de acordo com os dados. Esse processo garante que todos os dispositivos estejam sincronizados e que a resposta a qualquer condição de risco seja automatizada e coordenada de maneira eficiente.

3.1 Materiais e Métodos

Neste trabalho, utilizou-se o microcontrolador **ESP32** como plataforma central para o desenvolvimento e integração dos sistemas de monitoramento de gases e automação de segurança.

Figura 1: ESP32 Com Sensor de Gás, Alarmes e o Motor

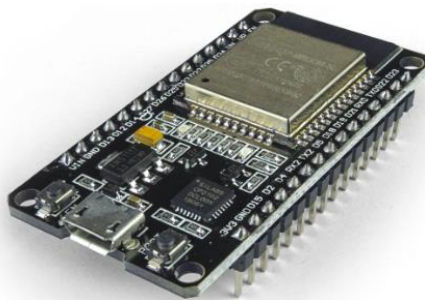


Fonte: Fritzing

3.2 Materiais Utilizados

- **ESP32** – Microcontrolador responsável pela coleta, processamento dos dados dos sensores, e pela comunicação via **protocolo MQTT**.

Figura2: ESP32 - WiFi + Bluetooth



Fonte: Mercado Livre.

- **Sensores de Gases MQ** – Sensores como o **MQ-2**, **MQ-7** ou **MQ-135** foram utilizados para detectar gases como monóxido de carbono, metano e dióxido de carbono. Esses sensores são conectados ao ESP32 para monitorar as concentrações de gases no ambiente industrial.
- **Figura 2: Sensor de gás.**



Fonte: Mercado Livre.

- **Dispositivos Wearables** – Equipamentos vestíveis utilizados pelos trabalhadores, integrados com sensores que geram sinais sonoros e visuais de alerta em caso de risco, também conectados via **MQTT** para receber alertas em tempo real.
- **Motor para Acionamento do Exaustor** – Acionado pelo ESP32 quando os sensores de gases detectam concentrações perigosas. O motor aciona o exaustor que faz a função de extrair o gás do ambiente fechado, ajudando na dissipação do gás

Figura 3: Mini Motor DC 3-6V



Fonte: Mercado Livre.

- **Software Arduino IDE** – Ferramenta utilizada para a programação do ESP32 e a configuração dos sensores, dispositivos wearables, e a integração com o protocolo MQTT para comunicação dos dados entre dispositivos.
- **Buzzer Passivo 5v** – O Buzzer Passivo é o mais apropriado para fazer o alarmes sonoro, pois através do alarme, pode fazer o abandono da área afetado com o gás.

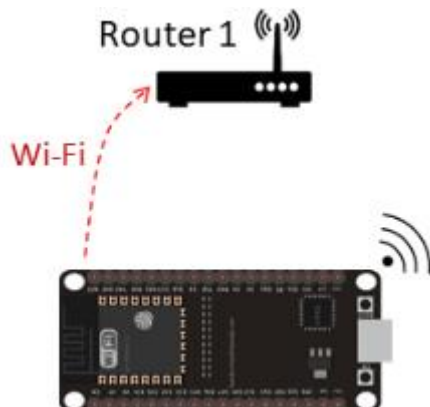
Figura 4: Buzzer Passivo



Fonte: Mercado Livre.

- **Broker MQTT** – Implementado com **Mosquitto**, o broker gerencia a comunicação entre os sensores, ESP32 e dispositivos automatizados, garantindo o envio e recebimento eficiente dos dados.

Figura 5: MQTT Broker



3.3 Método

O sistema foi projetado para funcionar em três etapas principais, utilizando o protocolo **MQTT** para facilitar a comunicação entre os dispositivos e garantir uma resposta rápida e eficiente:

1. Coleta de Dados:

- Os sensores de gases conectados ao ESP32 monitoram continuamente as concentrações de substâncias perigosas no ambiente industrial.
- O ESP32 publica esses dados em tópicos específicos no broker MQTT, que distribui as informações para dispositivos que assinam esses tópicos, incluindo os dispositivos wearables usados pelos trabalhadores.

2. Processamento e Tomada de Decisão:

- Os dados de concentração de gases são processados pelo ESP32, que avalia se os níveis ultrapassam os limites aceitáveis.
- Caso ocorra uma situação de risco, o ESP32 publica uma mensagem no broker MQTT, que distribui essa informação para os dispositivos de segurança, como as travas de portas automatizadas e os wearables.
- O motor responsável pelos exaustores automatizados recebe o comando via MQTT para travar ou liberar o acesso, dependendo da área afetada.
- Se houver pessoas em uma área não isolada, as portas podem ser abertas para facilitar a evacuação, enquanto em áreas críticas as portas podem ser automaticamente travadas para evitar o acesso.

3. Ação:

- Dependendo da gravidade do risco detectado, os exaustores ativam automaticamente para garantir a segurança dos trabalhadores.
- Ao mesmo tempo, os dispositivos wearables alertam os trabalhadores com alarmes sonoros e visuais, garantindo que todos os presentes estejam cientes do perigo.
- O uso do MQTT garante que essas ações ocorram de forma rápida e coordenada, com todos os dispositivos recebendo as informações necessárias em tempo hábil.

Tabela:1 Tabela de Estimativa de Tempo de Resposta

Núm. Medida	Sensor/Atuador	Tempo de Resposta Estimado (ms)
1	Sensor (MQTT)	110-315
2	Atuador (Verde1)	2-10
3	Atuador (Verde2)	2-10
4	Atuador (Amarelo1)	2-10
5	Atuador (Amarelo2)	2-10
6	Atuador (Vermelho1)	2-10
7	Atuador (Vermelho2)	2-10
8	Atuador (Exaustor)	20-50
9	Atuador (Buzzer)	5-10

4. Resultados do Projeto

O projeto demonstrou resultados positivos na integração de sensores de gases, exaustores automatizados e dispositivos wearables em um sistema de monitoramento e controle para segurança industrial. Abaixo estão os principais resultados obtidos:

1. Detecção Eficiente de Gases

- Os sensores MQ-2, MQ-7 e MQ-135 se mostraram capazes de detectar concentrações de gases como Butano (C_4H_{10}), Propano (C_3H_8) e sobutano (C_4H_{10}) com precisão, dentro de parâmetros aceitáveis para aplicações industriais.
- A calibração prévia dos sensores foi essencial para a confiabilidade do sistema, permitindo respostas rápidas a condições perigosas.

2. Respostas Automáticas em Tempo Real

- O ESP32, utilizando o protocolo MQTT, garantiu a troca de mensagens em tempo real entre os sensores, wearables e exaustores.
 - Exaustores automatizados foram ativados imediatamente ao detectar níveis de gás perigosos, reduzindo a concentração no ambiente e mitigando riscos.
 - Em paralelo, os wearables emitiram sinais sonoros e luminosos para alertar os trabalhadores sobre os riscos detectados.

3. Confiabilidade do Sistema

- O protocolo MQTT provou ser eficiente para comunicação leve e confiável, mesmo em ambientes com largura de banda limitada.
- O uso de tópicos bem definidos para diferentes dispositivos possibilitou uma arquitetura modular e expansível.

4. Impacto na Segurança Industrial

- O sistema contribuiu significativamente para a melhoria da segurança no ambiente industrial, proporcionando monitoramento constante e respostas automáticas para situações de risco.
- A integração de dispositivos wearables ajudou a manter os trabalhadores informados, permitindo ações proativas antes que um incidente ocorresse.

Figura 6: Protótipo em funcionamento

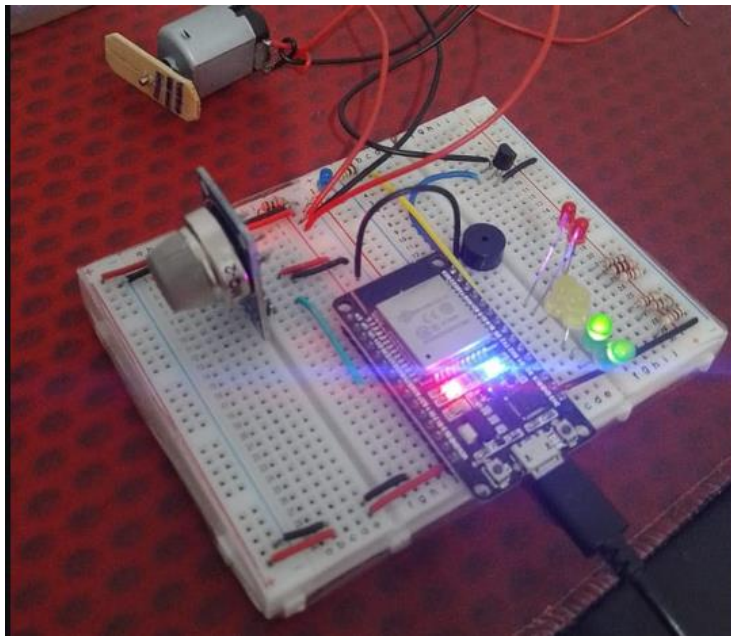
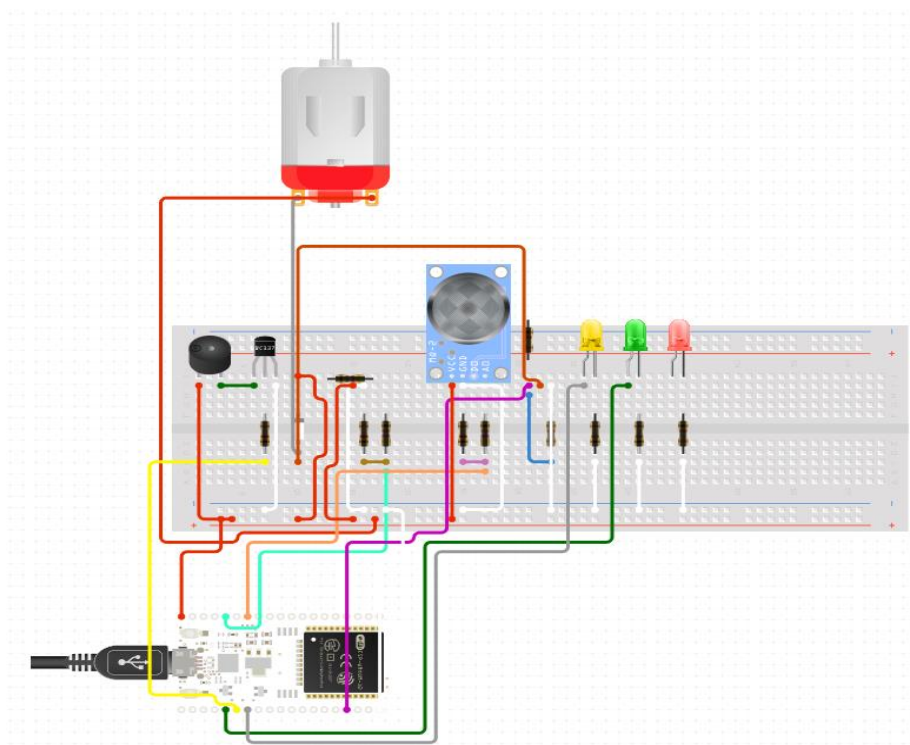


Figura 7: Diagrama



Fonte:circuito.io

Vídeo de demonstração do protótipo em funcionamento:

<https://youtu.be/740taqcbf404>

Repositório do Github:

5. Benefícios e Desafios da Implementação

A implementação de sistemas baseados em IIoT proporciona benefícios claros, como a redução de acidentes e a melhoria na resposta a emergências. No entanto, desafios como a interoperabilidade entre diferentes sistemas e o custo de implementação ainda são barreiras significativas para uma adoção em massa.

6. Conclusão

A aplicação de sistemas baseados na IIoT tem transformado significativamente o cenário da segurança no trabalho na Indústria 4.0. Tecnologias como exaustores automatizados, acionamentos inteligentes e dispositivos wearables, juntamente com sensores de gases, fornecem soluções proativas para monitoramento e mitigação de riscos. Essas inovações permitem a identificação de perigos em tempo real, contribuindo para a redução de acidentes e promovendo um ambiente de trabalho

mais seguro e eficiente. À medida que as indústrias continuam a se adaptar e implementar essas tecnologias, a segurança dos trabalhadores se torna cada vez mais integrada ao processo produtivo, reforçando o compromisso com a preservação da vida e a prevenção de incidentes industriais.

Os objetivos propostos foram alcançados?

Sim, os objetivos propostos foram alcançados. O sistema conseguiu integrar sensores de gases, dispositivos wearables e exaustores automatizados de forma eficiente, utilizando o protocolo MQTT como meio de comunicação. A solução apresentou bom desempenho na detecção de gases perigosos, no alerta aos trabalhadores e no controle automatizado da ventilação para mitigar riscos, promovendo um ambiente industrial mais seguro e inteligente.

Quais são os principais problemas enfrentados e como foram resolvidos?

Os principais problemas enfrentados durante o desenvolvimento do projeto foram:

- **Confiabilidade na comunicação:** Inicialmente, a comunicação entre os dispositivos apresentou inconsistências devido a perdas de mensagens. Esse problema foi resolvido utilizando o protocolo MQTT com níveis de Qualidade de Serviço (QoS), garantindo que todas as mensagens importantes fossem entregues corretamente.
- **Calibração dos sensores:** Os sensores de gases exigem calibração precisa para detectar diferentes gases com exatidão. Foram realizados ajustes periódicos e testes em condições controladas para garantir a confiabilidade das leituras.

Vantagens:

- **Comunicação eficiente e em tempo real:** O protocolo MQTT possibilita a troca de dados rápida e leve, essencial para sistemas industriais.
- **Automação inteligente:** A integração dos sensores com exaustores e wearables permite respostas automáticas rápidas em situações de risco.
- **Escalabilidade:** O sistema é modular, permitindo a adição de novos sensores ou dispositivos sem grandes alterações na arquitetura.
- **Acessibilidade remota:** O uso do MQTT possibilita o monitoramento remoto, aumentando a capacidade de gestão de segurança.

Desvantagens:

- **Dependência de conectividade:** O funcionamento do sistema depende de uma conexão estável entre os dispositivos e o broker MQTT.
- **Manutenção regular:** Sensores e dispositivos wearables exigem manutenção e calibração contínuas, aumentando o custo operacional.
- **Custo inicial:** A implementação de dispositivos wearables e sistemas automatizados pode representar um investimento significativo para empresas menores.

O que deveria/poderia ser feito para melhorar o projeto?

- **Melhorar a robustez dos dispositivos:** Desenvolver wearables mais resistentes e com maior autonomia de bateria para ambientes industriais severos.
- **Otimizar o controle dos exaustores:** Implementar estratégias de controle mais avançadas, como a ativação de múltiplos níveis de ventilação dependendo da concentração de gases detectada.

7. Referências

FIA, Indústria 4.0: *o que é, consequências, impactos positivos e negativos* [Guia Completo], 23 de agosto 2021.

<https://fia.com.br/blog/industria-4-0/>

CAROLINE, M; MARCOS, G.S; ALINE, S.P *Utilização das tecnologias das indústrias 4.0 na segurança e na saúde do trabalhador: uma revisão sistemática da literatura*, 17 de dezembro 2021.

<https://www.researchgate.net/>

GONÇALVES, M.; SOUZA, P. M. *Segurança do trabalho na Indústria 4.0: Uma revisão sobre o uso de dispositivos wearables*. São Paulo: Editora Técnica, 2019.

SMITH, J.; RODRIGUEZ, A. *Industrial IoT Solutions for Worker Safety: A Comprehensive Study*. Journal of Industrial Safety, v. 35, n. 2, p. 100-115, 2020.

ELETROGATE. Disponível em: <https://eletrogate.com>. Acesso em: 26 mar. 2024