



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ELETRICIDADE – DEEE  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**LÍDIA MARIA ROCHA PEREIRA**

**SISTEMA EMBARCADO COM ESP32 PARA MONITORAMENTO DE GASES E  
PREVENÇÃO DE ACIDENTES EM POÇOS SEMIARTESIANOS**

São Luís – MA  
2026

LÍDIA MARIA ROCHA PEREIRA

**SISTEMA EMBARCADO COM ESP32 PARA MONITORAMENTO DE GASES E  
PREVENÇÃO DE ACIDENTES EM POÇOS SEMIARTESIANOS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Maranhão como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Luís Claudio de Oliveira Silva

São Luís – MA  
2026

Pereira, Lídia Maria Rocha.

SISTEMA EMBARCADO COM ESP32 PARA MONITORAMENTO DE GASES  
E PREVENÇÃO DE ACIDENTES EM POÇOS SEMIARTESIANOS / Lídia  
Maria Rocha Pereira. - 2026.

52 f.

Orientador(a): Luís Claudio de Oliveira Silva.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica,  
Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2026.

1. Espaço Confinado. 2. Monitoramento de Gases. 3.  
Esp32. 4. Sistema Embarcado. I. Silva, Luís Claudio de  
Oliveira. II. Título.

LÍDIA MARIA ROCHA PEREIRA

**SISTEMA EMBARCADO COM ESP32 PARA MONITORAMENTO DE GASES E  
PREVENÇÃO DE ACIDENTES EM POÇOS SEMIARTESIANOS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Maranhão como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: \_\_/\_\_/2026

BANCA EXAMINADORA

**Prof. Dr. Luís Claudio de Oliveira Silva**  
(Orientador/Presidente)  
UFMA – CCET - EAER

**Prof. Dr. Luciano Buonocore**  
(Integrante)  
UFMA – CCET - DEE

**Prof. Dr. José de Ribamar Braga Pinheiro Júnior**  
(Integrante)  
UFMA – CCET - DEE

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida e pela conclusão desta etapa, bem como pela saúde e determinação necessárias para enfrentar os desafios do percurso.

Dedico este trabalho aos meus pais, Luís Nascimento Pereira e Janie Cristina Rocha Pereira, pelo incentivo e apoio à minha formação acadêmica; aos meus irmãos, Livia Maria e Luís Felipe, pelo companheirismo e compreensão; ao meu companheiro, Lucas Passos, pelo apoio e presença constante; ao meu orientador, Prof. Dr. Luís Cláudio de Oliveira Silva, pela orientação técnica e contribuições essenciais para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso; e aos meus colegas de turma, Isabel, João, Matheus, Paulo e Livia, pela parceria e colaboração ao longo do curso de Engenharia Elétrica.

*“Nunca é tarde demais para ser aquilo que você  
poderia ter sido.”*

Mary Ann Evans

## RESUMO

Ambientes confinados, como poços semiartesianos, representam riscos à saúde e à vida humana devido à possível presença de atmosferas perigosas com gases tóxicos, inflamáveis ou asfixiantes. Este trabalho desenvolveu um sistema embarcado de monitoramento de gases com ESP32, visando à detecção e visualização remota das concentrações gasosas em diferentes profundidades. O protótipo utilizou sensores MQ02, MQ07 e MQ135 para detecção de gases, BMP180 para pressão e temperatura, HC-SR04 para estimativa de profundidade e um cartão microSD para armazenamento. Os dados foram transmitidos via Wi-Fi e exibidos em tempo real por interface web com alertas visuais. Testes em ambiente simulado com gás liquefeito de petróleo confirmaram a sensibilidade do sistema, que detectou o aumento das concentrações à medida que o módulo se aproximava do fundo. Alcance limitado do sensor ultrassônico e ausência de isolamento contra umidade. Ainda assim, o protótipo mostrou-se funcional, de baixo custo e promissor para aplicações em áreas remotas.

**Palavras-chave:** Espaço confinado; Monitoramento de gases; ESP32; Sistema embarcado.

## ABSTRACT

Confined environments, such as artesian wells, pose risks to human health and life due to the possible presence of hazardous atmospheres containing toxic, flammable, or asphyxiating gases. This work developed an embedded gas monitoring system using the ESP32 platform, aiming to detect and remotely visualize gas concentrations at different depths. The prototype employed MQ02, MQ07, and MQ135 sensors for gas detection, a BMP180 for pressure and temperature measurements, an HC-SR04 ultrasonic sensor for depth estimation, and a microSD card for data storage. Data were transmitted via Wi-Fi and displayed in real time through a web interface with visual alerts. Tests in a simulated environment using liquefied petroleum gas confirmed the system's sensitivity, detecting increased concentrations as the module approached the bottom. Limitations include limited ultrasonic sensor range, and lack of moisture insulation. Nevertheless, the prototype proved functional, low cost, and promising for applications in remote areas.

**Keywords:** Confined space; Gas monitoring; ESP32; Embedded system.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Detector de gases portátil utilizado em ambientes confinados .....	17
Figura 2 – Áreas de atuação em sistemas embarcados (versão adaptada) .....	19
Figura 3 – Protótipo de dispositivo para detecção e monitoramento de gases. ....	21
Figura 4 – Pinagem do ESP32 DevKit WROOM-32 .....	26
Figura 5 – Sensor de Gás MQ-2. ....	27
Figura 6 – Sensor de Gás Monóxido de Carbono MQ-7. ....	28
Figura 7 – Módulo do sensor de gás MQ-135 .....	29
Figura 8 – Módulo do sensor BMP180. ....	30
Figura 9 – Módulo do sensor ultrassônico HC-SR04. ....	30
Figura 10 – Disposição dos Componentes na Placa .....	32
Figura 11 – Disposição dos Componentes na Placa .....	32
Figura 12 – Sistema de Alimentação .....	33
Figura 13 Sequência do procedimento experimental com deslocamento do detector no interior do tubo. ....	34
Figura 14 – Sequência do procedimento experimental com deslocamento do detector no interior do tubo. ....	35
Figura 15 – Dados do sensor Ultrassônico - Teste sem gás .....	37
Figura 16 – Comparação das leituras dos sensores MQ02, MQ07 e MQ135 em função da distância, nas leituras com gás. ....	37
Figura 17 – Comparação das leituras dos sensores MQ02, MQ07 e MQ135 em função da distância, nas leituras sem gás .....	38
Figura 18 - Dados do MQ02. ....	39
Figura 19 – Dados do MQ07 .....	40
Figura 20 – Dados do MQ135 .....	40
Figura 21 - Temperatura x Distância .....	41
Figura 22 - Pressão x Distância .....	41
Figura 23 – Frequência dos Alertas e Distância até o fundo do cano .....	42

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	13
1.2 OBJETIVO .....	14
1.2.1 Objetivo Geral .....	14
1.2.2 Objetivos Específicos .....	14
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	14
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>16</b>
2.1 ESPAÇOS CONFINADOS .....	16
2.2 SISTEMAS EMBARCADOS .....	18
2.2.1 Aplicações de Sistemas Embarcados .....	20
2.3 TRABALHOS RELACIONADOS .....	22
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
3.1 Materiais Utilizados .....	24
3.2 ESP32 .....	25
3.2.1 Sensor de Gás MQ-2 .....	26
3.2.2 Sensor de Gás MQ-7 .....	27
3.2.3 Sensor de Gás MQ-135 .....	28
3.2.4 Sensor de Temperatura e Pressão BMP180 .....	29
3.2.5 Sensor Ultrassônico HC-SR04 .....	30
3.3 MÉTODOS UTILIZADOS .....	31
3.3.1 Montagem do Detector de Gases .....	31
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>36</b>
4.1 Sensor Ultrassônico .....	36
4.2 Sensores de Gás .....	37
4.3 Análise dos Alertas na página Web .....	41
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>45</b>
APÊNDICE A – CÓDIGO UTILIZADO NO DETECTOR DE GÁS.....	48

## 1 INTRODUÇÃO

Os espaços confinados, como poços semiartesianos, cisternas e galerias subterrâneas, apresentam riscos à saúde e à vida humana, em virtude da possível presença de atmosferas perigosas. Gases tóxicos, inflamáveis ou asfixiantes quando encontrados nesses ambientes podem, causar acidentes graves, incluindo explosões, intoxicações e mortes por asfixia (LEMOS, 2017).

O monitoramento de gases nesses ambientes é uma medida de segurança. Contudo, muitos locais onde ocorrem escavações de poços semiartesianos, principalmente em zonas rurais e de difícil acesso, não dispõem de equipamentos apropriados para esse tipo de controle (LEMOS, 2017). No mercado brasileiro, os valores de detectores de gases variam, sendo o detector Altair 4XR da MSA comercializado por aproximadamente R\$ 10.283,68, conforme fornecedor nacional (DELUPO, 2026), enquanto o detector de gases para espaço confinado da marca Bosean, modelo BH-4A, apresenta custo estimado em R\$ 2.150,00, segundo informações de plataforma de comércio eletrônico (MERCADO LIVRE, 2026), ao passo que o protótipo desenvolvido neste trabalho possui custo aproximado de R\$ 300,00. Diante desse cenário, soluções alternativas, baseadas em tecnologia embarcada como o ESP-32, têm ganhado destaque por sua versatilidade, acessibilidade e potencial de customização (FELISARDO; SANTOS; GOMES GALRÃO, 2023).

O ESP-32 é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto que permite o desenvolvimento de sistemas automatizados de maneira prática e eficiente de alta performance desenvolvido pela Espressif Systems (DANTAS, 2024). Combinando sensores de gases, módulos de comunicação e dispositivos de alerta (sonoros, visuais), é possível criar sistemas de segurança funcionais e adaptáveis a diversas situações operacionais. Os sensores utilizados com a plataforma, possibilitam a detecção de gases como monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>), amônia (NH<sub>3</sub>) e sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), entre outros (SIMÕES et al., 2024).

O uso desses sensores integrados a uma placa embarcada pode gerar resultados satisfatórios na detecção de gases, especialmente em ambientes onde não há grande controle tecnológico. Além disso, a utilização de monitoramento remoto via módulos Wi-Fi ou Bluetooth amplia a segurança, permitindo que operadores localizados fora da zona de risco visualizem em tempo real os dados captados, podendo tomar decisões preventivas ou corretivas com maior agilidade (ILTEN, 2024)

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de gases em poços semiartesianos utilizando ESP-32, com a possibilidade de visualização remota dos

dados e a correlação entre profundidade, tipo de gás e concentração. A proposta visa ampliar a segurança durante atividades de escavação, perfuração manual, inspeção e manutenção, além de fornecer suporte a equipes de resgate em situações de salvamento de pessoas ou animais em poços e cisternas.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A vulnerabilidade dos espaços confinados, como poços semiartesianos, representa um risco significativo à integridade física e à vida dos trabalhadores e das equipes de resgate. Estes ambientes podem apresentar concentrações elevadas de gases tóxicos, inflamáveis ou asfixiantes, capazes de ocasionar eventos adversos graves, incluindo asfixia, intoxicações, explosões, quedas e afogamentos. Tais riscos são evidenciados durante operações de escavação e manutenção, períodos nos quais o monitoramento atmosférico contínuo torna-se imprescindível para a segurança ocupacional(COSTA et al., 2023)

Um episódio fatal ocorrido em dezembro de 2024, no município de Aldeias Altas, Maranhão, ilustra essa problemática. Três trabalhadores perderam a vida dentro de um poço artesiano durante atividades de manutenção, sendo que a perícia técnica identificou como causa da morte a asfixia decorrente da inalação de gases tóxicos acumulados no ambiente confinado. Este evento ressalta a necessidade imperiosa da implementação de sistemas eficazes e contínuos de monitoramento da atmosfera em espaços confinados, visando a prevenção de acidentes fatais e a mitigação dos riscos associados à presença de gases nocivos (G1 Maranhão, 2024).

Contudo, a indisponibilidade de equipamentos adequados, associada ao custo de sistemas comerciais convencionais, limita a aplicação de tecnologias de monitoramento em operações de menor escala. Nesse contexto, soluções baseadas em plataformas embarcadas de baixo custo, como ESP-32, emergem como alternativas promissoras para a detecção e controle dos perigos inerentes a esses ambientes.

O desenvolvimento de sistemas capazes de correlacionar a profundidade do poço com as concentrações gasosas é importante, visto que a ventilação natural é restrita em níveis mais profundos, aumentando o risco de acúmulo de gases nocivos. A disponibilização de monitoramento remoto permite que operadores acompanhem os dados em tempo real, a partir de locais seguros, potencializando a eficácia das operações de resgate e segurança. Tal abordagem é pertinente em contextos de difícil acesso, onde o uso de equipamentos de proteção respiratória pode ser inviável, como em intervenções de retirada de vítimas ou resgate de animais em poços semiartesianos e cisternas. Dessa forma, a presente pesquisa visa

contribuir para a prevenção de acidentes em espaços confinados, oferecendo uma solução técnica prática e acessível.

## **1.2 OBJETIVO**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Desenvolver um sistema de monitoramento de gases para ser utilizado em espaços confinados como poços semiartesianos, utilizando a plataforma ESP-32, com visualização remota dos dados.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

São objetivos específicos:

- Identificar e monitorar os gases presentes em espaços confinados.
- Selecionar e integrar sensores compatíveis com a plataforma Embarcada para detecção desses gases e a detecção da profundidade.
- Desenvolver um protótipo com visualização remota dos dados coletados.
- Avaliar a viabilidade do sistema em ambiente simulado quanto à detecção e transmissão de dados.

## **1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

O presente trabalho encontra-se estruturado em cinco capítulos, conforme descrito a seguir:

Capítulo 1 – Introdução: Este capítulo contextualiza o tema abordado, apresentando a motivação, os objetivos gerais e específicos da pesquisa, bem como sua relevância no contexto da segurança em espaços confinados. Além disso, delimita o escopo da investigação e descreve a organização do documento.

Capítulo 2 – Fundamentação Teórica: Nesta seção, realiza-se uma revisão da literatura pertinente, que fundamenta teoricamente o desenvolvimento do projeto. São explorados os principais conceitos relacionados ao monitoramento de gases em ambientes confinados, os riscos associados a atmosferas perigosas, e os sistemas embarcados aplicados à segurança, com destaque para plataformas como o ESP32, incluindo suas aplicações práticas em sistemas de monitoramento.

Capítulo 3 – Materiais e Métodos: Este capítulo detalha os materiais utilizados no desenvolvimento do protótipo, destacando os sensores de gases, o microcontrolador ESP32,

entre outros componentes eletrônicos. Descreve-se o processo metodológico adotado para a construção do sistema, contemplando a montagem do circuito, a programação do microcontrolador e os procedimentos para a realização do teste experimental em ambiente simulado.

Capítulo 4 – Resultados e Discussão: Apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos durante os testes do protótipo, realizados em ambiente simulado de poço artesiano. Avalia-se o desempenho do sistema em termos de detecção e monitoramento dos gases, tempo de resposta dos alertas e estabilidade da interface remota. São discutidos também os desafios técnicos enfrentados e as limitações identificadas.

Capítulo 5 – Considerações Finais: Esta seção reúne as conclusões da pesquisa, ressaltando as contribuições do projeto para a área de monitoramento de gases em espaços confinados. São apontadas recomendações para aprimoramentos futuros do sistema e sugeridas direções para trabalhos subsequentes que possam ampliar as funcionalidades e a aplicabilidade da solução desenvolvida.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo, são abordados os conceitos essenciais sobre espaços confinados, seus riscos associados e a relevância do monitoramento da qualidade do ar como estratégia para a prevenção de acidentes e a preservação da vida.

### **2.1 ESPAÇOS CONFINADOS**

Espaços confinados são ambientes que, por definição, não foram projetados para a permanência humana contínua, caracterizando-se por entradas e saídas limitadas, ventilação insuficiente e grande potencial de desenvolvimento de atmosferas perigosas. A ausência de circulação adequada de ar favorece o acúmulo de contaminantes, alterações nos níveis de ar respirável e o surgimento de condições propícias à ocorrência de acidentes graves (CIRINO et al., 2023). Nesse contexto, o monitoramento contínuo da qualidade do ar torna-se uma medida essencial para assegurar a integridade dos trabalhadores que adentram esses ambientes e das equipes de resgate que podem vir a intervir em situações emergenciais (LEMOS, 2017).

O reconhecimento inadequado de um ambiente como espaço confinado é um dos principais fatores que contribuem para a desconsideração dos riscos. Tal condição ocasiona a adoção de procedimentos operacionais ineficazes e na preparação deficiente das equipes envolvidas, tanto para a execução de tarefas quanto para o enfrentamento de possíveis emergências. A carência de treinamentos específicos e de equipamentos apropriados pode comprometer a vida dos profissionais que atuam em tais ambientes, incluindo os socorristas, que muitas vezes são expostos a condições perigosas devido à urgência de suas intervenções (FILHO; CRUZ, 2023).

Esses locais, apesar de apresentarem diferentes formas, dimensões e finalidades, compartilham a característica de oferecer riscos significativos à saúde humana. Poços semiartesianos, túneis, silos, cisternas, tanques industriais, galerias técnicas, dutos e reatores são exemplos típicos de espaços confinados. A realização de atividades como inspeção, manutenção, limpeza ou salvamento exige o conhecimento técnico dos profissionais envolvidos e o uso de tecnologias específicas para a avaliação da atmosfera interna do local antes e durante a permanência na realização da tarefa (COSTA et al., 2023).

Entre os principais perigos atmosféricos estão a deficiência de oxigênio, o enriquecimento de oxigênio, a presença de gases inflamáveis, vapores tóxicos e substâncias asfixiantes. Mesmo em concentrações aparentemente baixas, compostos como monóxido de carbono (CO), sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e metano (CH<sub>4</sub>) podem ocasionar perda de

consciência, falência respiratória e morte (FILHO; CRUZ, 2023). A Norma Regulamentadora n.º 33 (NR-33: Segurança em espaços confinados) estabelece que uma atmosfera deve ser considerada perigosa quando apresenta concentração de oxigênio inferior a 19,5% ou superior a 23%, ou quando há contaminantes com potencial de causar prejuízos à saúde ou risco de explosão.

Para mitigar esses riscos, é fundamental a utilização de detectores de gases calibrados e devidamente mantidos, que permitam a medição em tempo real das concentrações de gases tóxicos, inflamáveis e do nível de oxigênio presente. Equipamentos fixos ou portáteis com alarmes visuais e sonoros constituem a primeira linha de defesa, sendo indispensáveis tanto na fase de avaliação preliminar do ambiente quanto durante sua ocupação. A Figura 1 ilustra um exemplo desses equipamentos portáteis que são comercializados. Além disso, o uso de ventilação forçada, sempre que necessário, auxilia na renovação do ar e na dispersão de contaminantes (COSTA et al., 2023).



*Figura 1 – Detector de gases portátil utilizado em ambientes confinados*

*Fonte: AGSOLVE (2017)*

A segurança das equipes de resgate exige atenção especial, pois sua atuação geralmente ocorre em situações de urgência, com tempo limitado e riscos elevados. Por isso, esses profissionais precisam estar treinados e utilizar equipamentos de proteção e dispositivos de monitoramento, para reduzir ao máximo a exposição aos perigos do ambiente confinado (CIRINO et al., 2023). Contudo, esses recursos não estão disponíveis em todas as equipes ou unidades de resgate, bem como em empresas que trabalham em ambientes confinados, devido ao custo de aquisição.

Dessa forma, o monitoramento de gases em espaços confinados ultrapassa a condição de mera exigência legal, configurando-se como uma estratégia essencial para garantir a segurança de todos os profissionais envolvidos, sejam eles diretamente atuantes no ambiente ou parte das equipes de apoio e resgate. A implantação eficaz desse

monitoramento é fundamental para identificar rapidamente condições atmosféricas perigosas, prevenindo acidentes e protegendo vidas.

## **2.2 SISTEMAS EMBARCADOS**

Sistemas embarcados são dispositivos computacionais projetados para executar funções específicas como parte integrante de sistemas maiores. Diferentemente dos computadores de uso geral, esses sistemas são dedicados a tarefas previamente definidas e operam de forma autônoma e contínua, sem possibilitar reprogramação direta pelo usuário final (NUNES et al., 2022).

Uma de suas principais características é a capacidade de interagir com o ambiente físico por meio de sensores e atuadores, o que os torna aptos a realizar medições, controles e respostas em tempo real. Além disso, muitos desses sistemas operam independentemente de fontes fixas de energia, como tomadas ou geradores, o que amplia significativamente sua aplicabilidade em contextos variados (BARROS; CAVALCANTE, 2010).

Estruturalmente, são compostos por um processador, memória e periféricos, permitindo tanto o processamento local de dados quanto a comunicação com outros dispositivos no mesmo ambiente. O software que é executado no sistema, conhecido como firmware, é geralmente armazenado em memória somente de leitura (ROM) ou em chips de memória flash, sendo responsável por controlar todo o funcionamento do hardware. Atualmente, a maioria dos dispositivos que compõem a chamada Internet das Coisas (IoT) é formada por sistemas embarcados, com firmware dedicado e diversas aplicações integradas (YUN et al., 2022).

Graças a essa versatilidade e autonomia, os sistemas embarcados estão presentes em uma ampla gama de aplicações, que vão desde eletrônicos de consumo e eletrodomésticos até equipamentos automotivos, soluções de automação industrial, dispositivos médicos e esportivos. Entre os exemplos mais comuns tem-se sistemas para monitoramento biométrico, sensores ambientais para detecção de parâmetros físicos e químicos, dispositivos de automação residencial e industrial, além de tecnologias voltadas à análise de movimento e desempenho humano (NUNES et al., 2022). A Figura 2 ilustra essas e outras áreas de atuação comumente associadas a sistemas embarcados.

O avanço da Internet das Coisas (IoT) tem impulsionado o desenvolvimento desses sistemas, requerendo comunicação sem fio confiável e de longo alcance. Tecnologias como a

combinação do microcontrolador ESP32 com protocolos como LoRa<sup>1</sup> são frequentemente empregadas para atender a essas demandas, proporcionando baixo consumo energético e longo alcance em ambientes diversos (BARROS; CAVALCANTE, 2010)(NUNES et al., 2022).

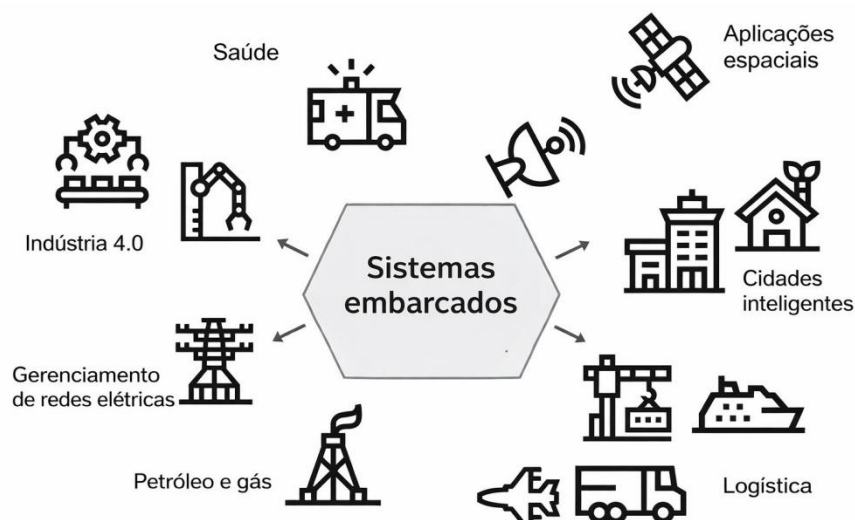


Figura 2– Áreas de atuação em sistemas embarcados (versão adaptada)

Fonte: Adaptado de Universidade Federal de Santa Catarina (2017).

A cultura maker caracteriza-se como um movimento educacional e social fundamentado nos princípios da experimentação, da colaboração e do aprender fazendo, alinhado ao conceito do *do-it-yourself* (DIY), no qual o indivíduo assume papel ativo na construção do conhecimento e na resolução de problemas reais. Amparada pelo construcionismo de Seymour Aubrey Papert, essa abordagem valoriza a criação de artefatos concretos como estratégia de aprendizagem significativa, colocando o estudante como protagonista do processo educativo. Além disso, ao incentivar ambientes colaborativos, o compartilhamento de saberes e a democratização dos meios de produção, a cultura maker promove o empoderamento tecnológico e a inovação, tornando acessível o desenvolvimento de soluções criativas e aplicáveis a diferentes contextos, sem se restringir ao uso de tecnologias avançadas, mas abrangendo desde práticas manuais até recursos digitais e automatizados (RIBEIRO NETO et al., 2024; SANTANA; FERNANDES; BATISTA, 2024).

Nesse cenário, a evolução e a popularização das tecnologias eletrônicas, aliadas à progressiva redução dos custos de desenvolvimento e fabricação, têm favorecido a ampla adoção de sistemas embarcados, cuja utilização tende a se expandir significativamente em

---

<sup>1</sup> LoRa (Long Range) é uma tecnologia de comunicação via rádio de baixo consumo energético, voltada à transmissão de dados a longas distâncias, sendo amplamente utilizada em aplicações de Internet das Coisas (IoT) (AVELAR; ZAPAROLI, 2023).

função da crescente demanda por dispositivos inteligentes e conectados. Dessa forma, pesquisas nessa área tornam-se fundamentais para impulsionar avanços tecnológicos capazes de gerar impactos positivos em diferentes setores, como qualidade de vida, saúde, esporte e eficiência industrial.

### 2.2.1 Aplicações de Sistemas Embarcados

Os sistemas embarcados desempenham um papel fundamental na transformação digital de diversos setores, sendo amplamente utilizados tanto no cotidiano quanto na indústria. Com arquitetura dedicada e recursos otimizados para tarefas específicas, esses sistemas oferecem alta confiabilidade, baixo consumo energético e resposta em tempo real, características essenciais para aplicações críticas que demandam estabilidade e precisão (CARVALHO; MARTINS, 2020). A crescente presença desses sistemas abrange desde a automação industrial até aplicações em dispositivos médicos e residenciais, estando presentes em controladores de tráfego, equipamentos hospitalares, veículos, drones e eletrodomésticos inteligentes. Seu funcionamento eficiente é um fator determinante para garantir segurança e desempenho em ambientes sensíveis (SE; BERNARDO, 2024).

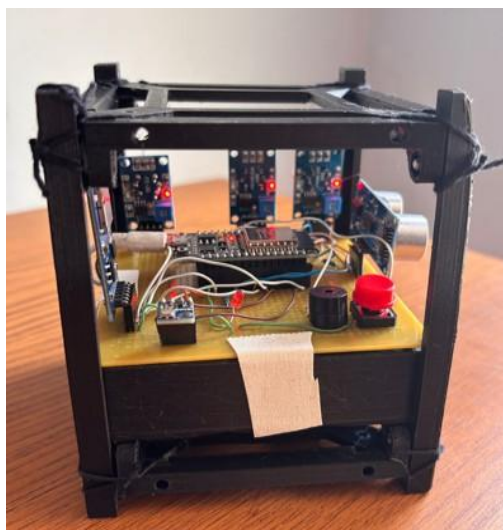
Apesar de sua ampla aplicação, observa-se que alguns projetos priorizam a funcionalidade, desconsiderando aspectos como segurança da informação, interoperabilidade entre dispositivos e sustentabilidade energética. Tais fatores, no entanto, são essenciais para a robustez e confiabilidade das soluções tecnológicas aplicadas em larga escala. A arquitetura dedicada dos sistemas embarcados os distingue dos computadores de uso geral: operam com *firmwares* gravados em memória não volátil, otimizando o desempenho em tarefas específicas. Essa especialização favorece aplicações que exigem baixo consumo energético, estabilidade e previsibilidade (SE; BERNARDO, 2024).

Podemos destacar entre as plataformas embarcadas o ESP32, um microcontrolador versátil e potente desenvolvido pela Espressif Systems. Esse modelo integra conectividade Wi-Fi e Bluetooth de 2,4 GHz, e possui arquitetura baseada no processador Xtensa® single- ou dual-core 32-bit LX6, com 448 kB de ROM (*Read Only Memory*) e 520 kB de SRAM (*Static Random Access Memory*). Conta ainda com osciladores internos calibrados, múltiplos modos de economia de energia e 34 pinos GPIO programáveis, permitindo a interface com diversos sensores e módulos externos (ESPRESSIF SYSTEMS, 2025).

O modelo ESP32-WROOM-32, utilizado em diversos projetos acadêmicos e comerciais, oferece excelente relação custo-benefício, operando com tensão de alimentação de 5 V e sendo ideal para aplicações que exigem conectividade, eficiência energética e

versatilidade (NETO, 2024). A Figura 3 apresenta o protótipo desenvolvido para detecção e monitoramento de gases em poço artesiano, utilizando o ESP32 e sensores específicos para ambientes confinados.

No que diz respeito às aplicações práticas (como pode ser observado na figura 3, que ilustra um Protótipo de dispositivo para detecção e monitoramento de gases) os sistemas embarcados são empregados em diferentes áreas, como na automação residencial, onde controladores dedicados gerenciam iluminação, climatização e segurança. Na engenharia biomédica, são utilizados em dispositivos de monitoramento fisiológico, contribuindo para o acompanhamento em tempo real de sinais vitais. Entretanto, essas aplicações enfrentam desafios associados à miniaturização dos componentes, à confiabilidade das medições e à segurança na comunicação de dados sensíveis. Esses fatores precisam ser considerados desde as etapas iniciais do projeto, especialmente quando o sistema é destinado a ambientes críticos ou à manipulação de dados pessoais (SE; BERNARDO, 2024).



*Figura 3 – Protótipo de dispositivo para detecção e monitoramento de gases.*

*Fonte: Autora.*

A popularização das plataformas embarcadas, como computadores de placa única (SBC: *Single-Board Computer*) e microcontroladores de placa única (SBM: *Single Board Microcontroller*), decorre de avanços tecnológicos, redução de custos e maior acessibilidade desses dispositivos. Esse crescimento é reforçado pela ampla disponibilidade de sensores e tecnologias de comunicação, que possibilitam a construção de laboratórios remotos de baixo custo e a implementação de soluções diversificadas. Essas plataformas oferecem arquiteturas compactas com variadas capacidades de processamento, tornando-se amplamente utilizadas em sistemas de aquisição de dados e em áreas como robótica, domótica, dispositivos IoT

(*Internet of Things*), projetos e no ensino de disciplinas relacionadas a ciência, tecnologia, engenharia e matemática. Além disso, plataformas específicas, com microcontroladores ESP32, destacam-se por sua conectividade Wi-Fi, servidores web embutidos e suporte a diversos protocolos de rede, configurando-se como ferramentas acessíveis e eficientes para o desenvolvimento de sistemas embarcados e aplicações educacionais.(OLIVEIRA, 2022).

### **2.3 TRABALHOS RELACIONADOS**

O desenvolvimento de sistemas embarcados para monitoramento de gases em espaços confinados tem sido estudado, especialmente com foco em tecnologias de baixo custo e aplicações que garantam a segurança ocupacional.

Barros e Cavalcante (2023) destacam que sistemas embarcados, como o ESP32, são ideais para essas aplicações devido à sua capacidade de operar em tempo real, com baixo custo, tamanho e consumo energético. Eles ressaltam, ainda, a importância da simulação para otimizar o desenvolvimento integrado desses sistemas complexos.

Na mesma linha, Costa e Cruz (2023) evidenciam o papel das tecnologias de sensoriamento remoto, redes wireless e Internet das Coisas Industrial (IoT) para a coleta contínua de dados em ambientes confinados. Esses recursos possibilitam a detecção antecipada de gases tóxicos, contribuindo significativamente para a segurança dos trabalhadores. Complementando esse panorama, Ilten (2024) apresenta o uso de sensores da série MQ integrados a dispositivos móveis via Wi-Fi para a medição precisa e em tempo real de gases perigosos em minas subterrâneas, destacando a relevância da precisão e agilidade na resposta para prevenir acidentes.

Dantas (2024) desenvolveu um sistema IoT utilizando o microcontrolador ESP32 junto a sensores MQ-135 e DHT11, demonstrando que o monitoramento ambiental contínuo aliado à automação e baixo custo é plenamente viável para ambientes confinados. Já Theotônio (2025) propõe um protótipo semelhante, que utiliza sensores MQ-7 e MQ-135 com armazenamento em nuvem e interface em tempo real, mas alerta para limitações na precisão dos sensores, sugerindo a necessidade de aprimoramentos para aplicações industriais seguras.

O uso de microcontroladores como Arduino e ESP32 para prototipagem de dispositivos automáticos de monitoramento ambiental também é ressaltado por Felisardo (2023), que enfatiza a contribuição desses sistemas para a segurança em ambientes subterrâneos, graças à coleta e análise de dados em tempo real. Grazioze e Martinele (2024) complementam essa discussão ao abordar os desafios do desenvolvimento de sistemas

embarcados, especialmente a adoção de sistemas operacionais de tempo real (RTOS), que garantem alta confiabilidade e desempenho essencial para monitoramento em espaços confinados.

Além dos aspectos tecnológicos, Costa e Santos (2023) investigam a realidade dos acidentes em espaços confinados no setor sucroalcooleiro, reforçando a importância da adoção de detectores de gases e a capacitação adequada dos trabalhadores como medidas essenciais para a prevenção de acidentes. No âmbito da comunicação, Manaus (2022) destaca a integração do ESP32 com tecnologias LoRa para comunicação de longo alcance em sistemas embarcados de baixo custo, ampliando a eficiência do monitoramento remoto em ambientes de difícil acesso.

Por fim, Lemos (2017) chama a atenção para a composição química da atmosfera em espaços confinados, apontando gases como monóxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e metano como principais causadores de acidentes fatais. Ele enfatiza que o monitoramento contínuo, aliado à capacitação e planejamento, é indispensável para o controle efetivo dos riscos presentes nesses ambientes.

Em conjunto, esses estudos fornecem uma base sólida, tanto teórica quanto tecnológica, que subsidia o desenvolvimento do sistema proposto nesta pesquisa, evidenciando a relevância da integração entre sensores, microcontroladores e estratégias de monitoramento em tempo real para a garantia da segurança em espaços confinados.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo aborda o desenvolvimento experimental de um protótipo de monitoramento de gases para ambientes confinados. São descritos o arranjo experimental, os componentes do sistema embarcado e os critérios técnicos adotados na definição da arquitetura proposta.

#### 3.1 Materiais Utilizados

Para a produção do protótipo de sensor de gases para operações em ambientes confinados, especialmente em poços semiartesianos, foi realizado o experimento simulando um poço, com aproximadamente 2m de comprimento. Para isso, foram utilizados os seguintes componentes:

- Microcontrolador: ESP32-WROOM;
- Sensores de gás:
  - MQ-02 (fumaça e gás combustível);
  - MQ-07 (álcool e monóxido de carbono);
  - MQ-135 (qualidade do ar e gases nocivos);
- Sensor de temperatura e pressão: BMP180;
- Sensor ultrassônico: HC-SR04 (para medição de distância);
- Alerta sonoro: Buzzer;
- Indicador visual: LED;
- Resistores: 1k  $\Omega$  e 2k  $\Omega$  ;
- Armazenamento de dados: Módulo cartão microSD;
- Fonte de alimentação: 02 (duas) Pilhas de 9V;
- Módulo regulador de tensão LM2596;
- Programação: Computador com Arduino IDE para desenvolvimento e upload do código;
- Interface de comunicação: Página web hospedada no ESP32 em modo Access Point, acessível por dispositivos móveis ou computadores;
- Estrutura de suporte: Cano de PVC 150 mm  $\times$  2 m;
- Ambiente de teste: Caixa de sapato, botijão de gás e mangueira de gás.

No presente trabalho, a adoção dos sensores da família MQ foi motivada pelo valor acessível, ampla disponibilidade e facilidade de integração com sistemas embarcados, atendendo adequadamente ao propósito de desenvolvimento de uma prova de conceito. Essa escolha possibilitou a validação da arquitetura proposta e do funcionamento geral do sistema,

sem a necessidade de investimentos elevados em instrumentação de alto custo. Entretanto, ressalta-se que, para aplicações que exijam maior precisão, confiabilidade e conformidade com normas técnicas, os sensores MQ podem ser substituídos por sensores industriais já validados, mantendo-se a mesma infraestrutura do sistema embarcado desenvolvida. Como exemplo, embora o sensor MQ-135 permita a detecção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em contextos experimentais, existem sensores industriais baseados na tecnologia *Non-Dispersive Infrared* (NDIR), amplamente utilizados para a medição de CO<sub>2</sub>, que apresentam maior exatidão, estabilidade a longo prazo e robustez operacional, sendo indicados para aplicações industriais e ambientais, porém com custo significativamente superior. Dessa forma, o protótipo apresentado demonstra potencial de evolução para soluções profissionais, evidenciando a escalabilidade e a adaptabilidade do sistema proposto.

### 3.2 ESP32

O microcontrolador dispõe de uma ampla gama de interfaces digitais e analógicas, como SPI, I2C, UART, PWM, ADC, DAC, sensores de toque capacitivo e contadores de pulso. Também oferece suporte a tecnologias específicas, incluindo interfaces SDIO, infravermelho (IR), TWAI® (interface automotiva compatível com o padrão CAN 2.0) e controle de motores por PWM (THAKUR, 2018). Essas interfaces tornam o ESP32 uma solução altamente flexível para integração com sensores, atuadores e módulos externos.

Além disso, o ESP32 possui múltiplos modos de economia de energia, permitindo aplicações em ambientes com restrição energética. A memória interna inclui 448 kB de ROM, 520 kB de SRAM on-chip e memória RTC dedicada para operação em modos de baixo consumo. Também integra memória eFuse, usada para armazenamento de dados críticos como endereço MAC e chaves de criptografia (ESPRESSIF SYSTEMS, 2025).

A tensão de operação recomendada varia entre 3,0 V e 3,6 V, com corrente média de funcionamento de aproximadamente 80 mA, dependendo da carga de trabalho e do uso dos recursos de comunicação e processamento. O microcontrolador pode operar em uma ampla faixa de temperatura ambiente, de -40 °C a +85 °C, e conta com até 34 pinos GPIO programáveis, cuja disposição e funcionalidade variam conforme o encapsulamento e o modelo específico. A disposição física desses pinos pode ser observada na Figura 4, que apresenta a pinagem típica do modelo ESP32 DevKit WROOM-32. A robustez do ESP32 também é evidenciada pelos testes de confiabilidade aplicados durante sua fabricação, como HTOL, uHAST, TCT e ESD (ESPRESSIF SYSTEMS, 2025).

Essas características tornam o ESP32 uma plataforma robusta e amplamente utilizada em projetos acadêmicos e comerciais, consolidando-se como uma das principais escolhas no desenvolvimento de sistemas embarcados conectados.

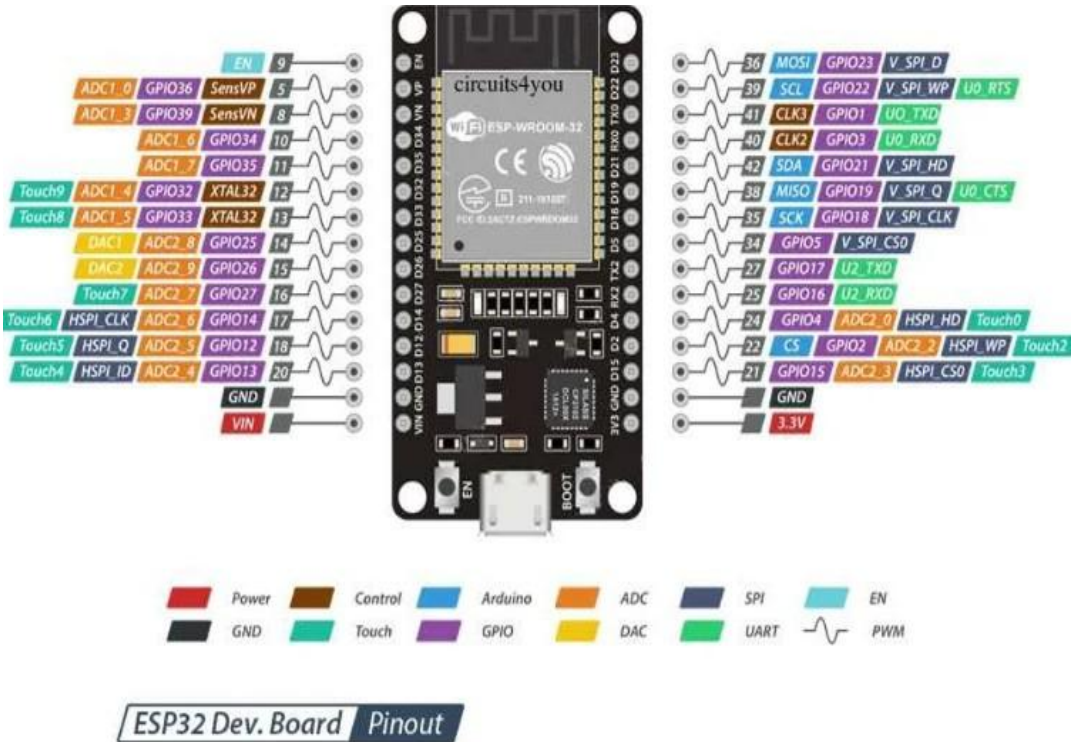


Figura 4 – Pinagem do ESP32 DevKit WROOM-32

Fonte: Thakur (2018).

### 3.2.1 Sensor de Gás MQ-2

O sensor de gás MQ-2 é utilizado em sistemas de detecção de gases combustíveis e fumaça, sendo empregado tanto em ambientes residenciais quanto industriais. Trata-se de um sensor do tipo MOS (semicondutor de óxido metálico), cujo funcionamento baseia-se na variação da resistência elétrica de um elemento sensor composto por dióxido de estanho (SnO<sub>2</sub>), aquecido por uma bobina de níquel-cromo. Esse conjunto é encapsulado em uma malha metálica de aço inoxidável, que atua simultaneamente como proteção antiexplosiva e como filtro contra poeira e partículas. Conforme descrito por Last Minute Engineers (2023), essa alteração na resistência elétrica ocorre devido à interação química entre o gás presente no ambiente e a superfície ativa do sensor, possibilitando a detecção de substâncias como GLP, propano, metano, hidrogênio, monóxido de carbono, álcool e fumaça (HANWEI ELECTRONICS CO., LTD., s.d.).

Complementando essas informações, Brasil e Minihoni (2021) destacam que o MQ-2 possui alta sensibilidade para gases inflamáveis como GLP, propano, hidrogênio e fumaça, operando em uma faixa de detecção de 300 a 10.000 ppm (parte por milhão). Entre suas

principais características, ressaltam-se o bom desempenho a média distância, baixo custo, simplicidade do circuito, longa vida útil e estabilidade operacional, o que favorece sua aplicação em projetos de segurança residencial, monitoramento ambiental e automação industrial (HANWEI ELECTRONICS CO., LTD., s.d.).

O sensor MQ-2 disponibiliza uma saída analógica, cuja tensão é proporcional à concentração de gás detectado, e uma saída digital, acionada por um comparador de tensão com limiar ajustável por potenciômetro. Essa flexibilidade, aliada à compatibilidade com microcontroladores como o ESP32, facilita sua integração em sistemas embarcados, tornando-o uma escolha adequada para soluções de monitoramento em tempo real e resposta automática a situações de risco (HANWEI ELECTRONICS CO., LTD., s.d.).

A Figura 5 ilustra o modelo físico do sensor MQ-2, frequentemente utilizado em protótipos acadêmicos e experimentais.



*Figura 5– Sensor de Gás MQ-2.*

*Fonte: Last Minute Engineers (2023).*

É importante destacar que, por ser um sensor baseado em aquecimento, o MQ-2 requer um tempo de estabilização para fornecer leituras confiáveis — podendo variar de alguns minutos a até 24 horas, dependendo do tempo em que ficou inativo. A confiabilidade das medições também está diretamente relacionada às condições ambientais e ao tipo de gás predominante no ambiente (HANWEI ELECTRONICS CO., LTD., s.d.).

### 3.2.2 Sensor de Gás MQ-7

O sensor de gás MQ-7 é um dispositivo utilizado para a detecção de monóxido de carbono (CO), gás incolor, inodoro e altamente tóxico. Por sua sensibilidade ajustável e facilidade de integração com microcontroladores como ESP32 e Arduino, o MQ-7 tem se destacado em aplicações experimentais e acadêmicas voltadas à automação residencial e à segurança ambiental. Esse sensor opera com tensão de 5 V, possui saída digital e analógica e é capaz de detectar concentrações de CO na faixa de 100 a 10.000 ppm (HANWEI ELECTRONICS GROUP CORPORATION, s.d.).

Seu funcionamento baseia-se na variação de resistência de um elemento sensor interno aquecido, cujo comportamento pode ser monitorado pela saída analógica (AO), oferecendo uma medição contínua da concentração de gás no ar. A saída digital (DO), por sua vez, é controlada por um comparador LM393 e atua como um alarme binário, sendo ativada sempre que a concentração de gás ultrapassa o nível definido pelo potenciômetro. Vale destacar que o módulo inclui LEDs indicadores para sinalização de energia e de ativação digital, o que facilita sua configuração e diagnóstico em campo (HANWEI ELECTRONICS GROUP CORPORATION, s.d.). A Figura 6 apresenta o módulo do sensor MQ-7 com seu encapsulamento.



*Figura 6 – Sensor de Gás Monóxido de Carbono MQ-7.  
Fonte: Eletrogate (2025).*

### 3.2.3 Sensor de Gás MQ-135

O sensor MQ-135 (Figura 7) é utilizado em sistemas de monitoramento da qualidade do ar, sendo capaz de detectar gases como amônia (NH<sub>3</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), benzeno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), além de fumaça e vapores de álcool. É comumente empregado em aplicações experimentais e educacionais voltadas à análise de atmosferas potencialmente perigosas, especialmente em espaços confinados (HANWEI ELECTRONICS CO., LTD., s.d.).

O princípio de funcionamento do MQ-135 baseia-se na tecnologia MOS (Metal Oxide Semiconductor), em que a resistência elétrica de um semiconductor de óxido metálico varia conforme a presença de gases no ambiente. Quanto maior a concentração de gases tóxicos, menor será sua resistência interna, resultando em maior tensão na saída analógica. O módulo apresenta duas saídas: a saída analógica (AO), que fornece uma leitura proporcional à concentração dos gases, e a saída digital (DO), que indica quando o nível ultrapassa um limiar definido por meio de um trimpot (HANWEI ELECTRONICS CO., LTD., s.d.).



Figura 7– Módulo do sensor de gás MQ-135

Fonte: Guse (2022).

O sensor é alimentado com 5 VDC e utiliza o circuito integrado LM393 como comparador, responsável por gerar a saída digital. A faixa típica de detecção varia de 10 a 300 ppm para amônia e álcool, e de 10 a 1000 ppm para benzeno. O LED indicador acende quando a concentração de gás ultrapassa o limiar ajustado. Para um funcionamento estável, recomenda-se respeitar o tempo de queima (*burn-in*) do sensor: cerca de 3 minutos para testes iniciais e até 24 horas para medições prolongadas (HANWEI ELECTRONICS CO., LTD., s.d.).

#### 3.2.4 Sensor de Temperatura e Pressão BMP180

O BMP180 é um sensor barométrico de alta precisão utilizado para a medição de pressão atmosférica e temperatura. Desenvolvido como uma versão aprimorada do BMP085, ele oferece maior precisão, menor consumo de energia e compatibilidade total com os sistemas que utilizavam seu antecessor, inclusive no que se refere às conexões e código de interfaceamento (BOSCH SENSORTES GMBH, s.d.).

Este sensor opera por meio da interface I2C e apresenta uma faixa de medição entre 300 e 1100 hPa (1 hPa equivale a 100 pascais (Pa)), correspondendo a altitudes aproximadas entre +9000 m e -500 m. Sua resolução pode chegar a 0,06 hPa, equivalente a cerca de 50 cm de variação em altitude, sendo possível atingir uma precisão de até 0,02 hPa no modo de alta resolução (BOSCH SENSORTES GMBH, s.d.).



Figura 8– Módulo do sensor BMP180.

Fonte: Eletrogate (2022).

Além da medição de pressão, o BMP180 também fornece leitura de temperatura ambiente. Seu baixo consumo (cerca de 5  $\mu$ A) e tempo de resposta rápido (7,5 ms) o tornam adequado para aplicações embarcadas, como estações meteorológicas compactas, dispositivos móveis e sistemas de monitoramento ambiental com microcontroladores como o ESP32 ou Arduino (BOSCH SENSORTES GMBH, s.d.).

### 3.2.5 Sensor Ultrassônico HC-SR04

O sensor ultrassônico HC-SR04 é um dispositivo amplamente utilizado para a medição de distâncias em aplicações embarcadas, destacando-se por sua precisão, baixo consumo de energia e simplicidade de integração. O módulo opera com uma interface de quatro pinos: VCC, TRIG, ECHO e GND. Através de pulsos ultrassônicos emitidos pelo pino TRIG, o sensor detecta obstáculos e calcula a distância com base no tempo de retorno do sinal recebido no pino ECHO (MORGAN, 2014).

A equação utilizada para a medição é:  $\text{Distância (m)} = \frac{t_{\text{ECHO}} \times V_{\text{som}}}{2}$



Figura 9– Módulo do sensor ultrassônico HC-SR04.

Fonte: MakerHero (2022).

Onde  $V_{\text{som}}$  é a velocidade do som no ar (aproximadamente 340 m/s), e  $t_{\text{ECHO}}$  representa o tempo que o sinal ultrassônico levou para ir até o objeto e voltar (MORGAN, 2014).

O HC-SR04 é capaz de medir distâncias entre 2 cm e 4 m, com margem de erro de apenas alguns milímetros em curtas distâncias. Sua taxa de atualização de leitura pode chegar a 100 medições por segundo, o que o torna ideal para aplicações em tempo real, como controle de estacionamento, robótica autônoma, sistemas de segurança e monitoramento de obstáculos em ambientes dinâmicos (MORGAN, 2014).

Apesar de seu desempenho, o sensor mantém um consumo energético médio de apenas 15 mA, sendo adequado para dispositivos alimentados por bateria. Seu funcionamento confiável e sua interface compatível com plataformas como Arduino e ESP32 tornam-no acessível tanto para projetos educacionais quanto para soluções prototipadas em automação e eletrônica embarcada (MORGAN, 2014).

### **3.3 MÉTODOS UTILIZADOS**

O desenvolvimento deste trabalho foi dividido em duas etapas principais: a concepção e montagem do módulo de detecção de gases, seguida da realização do experimento em ambiente simulado. O objetivo central foi criar uma solução viável para detecção de gases perigosos em locais confinados, utilizando tecnologias acessíveis.

#### **3.3.1 Montagem do Detector de Gases**

A montagem do módulo de detecção foi realizada em uma placa de fenolite perfurada com dimensões de 10x10 cm. Os componentes eletrônicos foram dispostos de forma estratégica, buscando otimizar o espaço e garantir a estabilidade mecânica e elétrica do circuito. A Figura 10 ilustra a disposição final dos elementos na placa e a Figura 11 mostra o esquemático da ligação dos componentes.

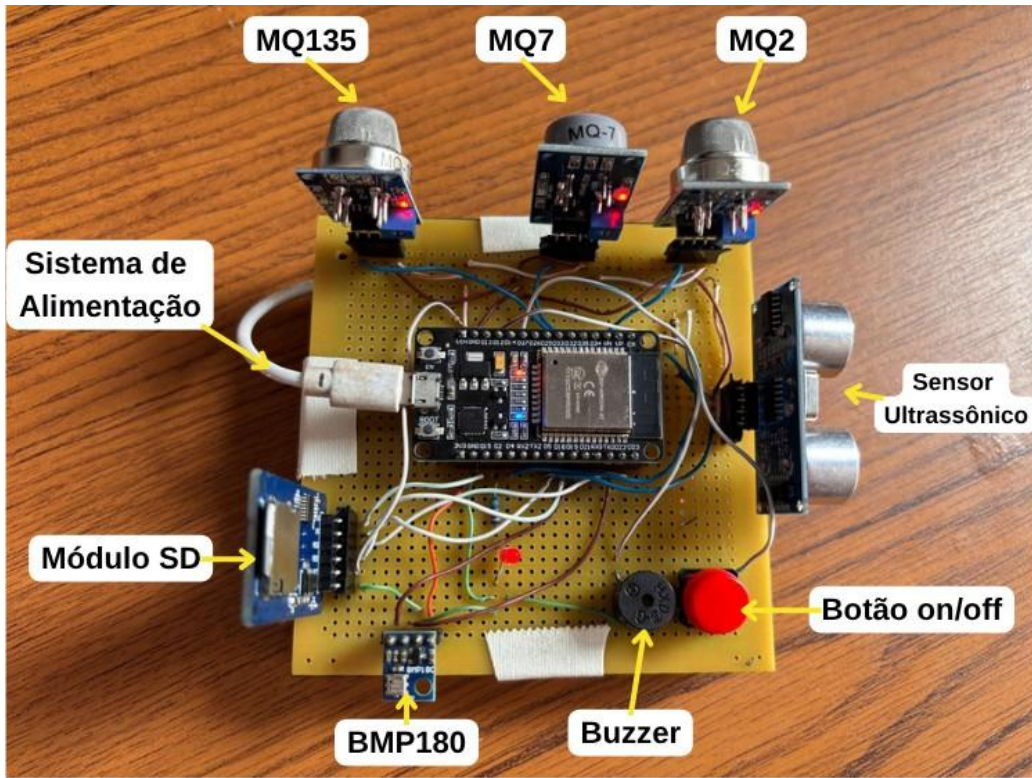


Figura 10– Disposição dos Componentes na Placa

Figura 10 Fonte: Autora.

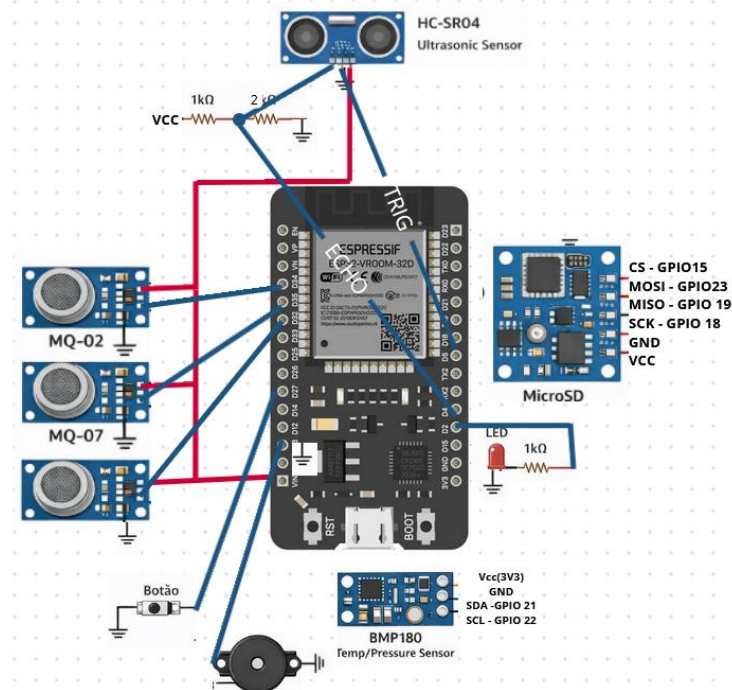
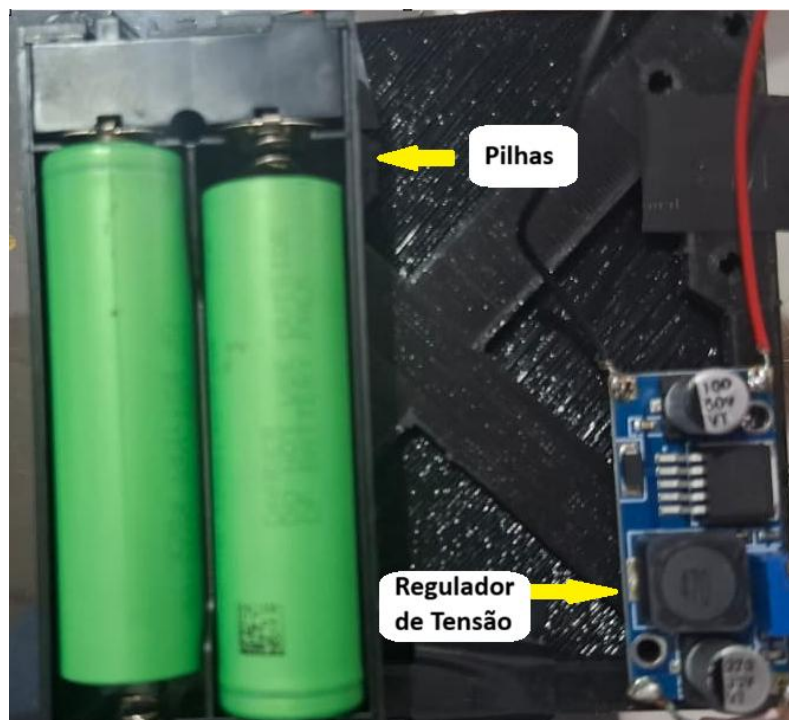


Figura 11– Disposição dos Componentes na Placa

Fonte: Autora

O principal componente do sistema é o microcontrolador ESP32, responsável pela leitura dos sensores, processamento das informações e envio dos dados via rede Wi-Fi. A alimentação elétrica do conjunto é feita por meio de um regulador de tensão LM2596, que converte a tensão de entrada proveniente de duas pilhas de 4,5 V em série para 5V, tensão operacional do ESP32. Este regulador assegura uma alimentação estável ao circuito, evitando oscilações que poderiam comprometer a integridade dos dados. O esquema do sistema de alimentação pode ser observado na Figura 12.



*Figura 12– Sistema de Alimentação*

*Fonte: Autora*

Após o fornecimento de energia, o sistema inicia a transmissão de sinal via Wi-Fi, operando em modo de rede local. Um servidor web local é ativado no próprio ESP32, funcionando como uma simulação de servidor, sem dependência de conexão com a Internet. Dessa forma, uma interface web simples pode ser acessada diretamente por dispositivos próximos, como celular, notebook ou tablet, permitindo a visualização dos dados e o monitoramento e controle do sistema em tempo real, desde que estejam conectados à rede Wi-Fi criada pelo próprio dispositivo. A Figura 13 mostra a interface inicial do sistema, que permanece em modo de espera até que o botão de início seja pressionado, exibe os dados coletados e alerta quando há perigo.



(a) Botão Desligado

(b) Botão Pressionado

(c) Sinal de Alerta

Figura 13 Sequência do procedimento experimental com deslocamento do detector no interior do tubo.

Fonte: Autora.

O código foi escrito em C, utilizando as bibliotecas Wire, Adafruit\_BMP08, Wifi, SPI e SD, e pode ser consultado no Apêndice A.

Após o botão pressionado, o sistema inicia simultaneamente a gravação dos dados no cartão microSD e a exibição em tempo real na página web. Os sensores MQ-2, MQ-7 e MQ-135 fornecem leituras referentes à presença de gases inflamáveis, monóxido de carbono e gases tóxicos em geral. Esses dados são amostrados em intervalos definidos no código embarcado e salvos com marcação de tempo e distância.

### 3.2.2 Execução do Experimento

Para a simulação do ambiente confinado com presença de gases, foi utilizado um cano de PVC com 150 mm de diâmetro e 2 metros de comprimento. Uma das extremidades do tubo foi mantida aberta (simulando a entrada do poço) e a outra acoplada a uma caixa de sapatos lacrada, que representava a base do poço. No interior da caixa, foi inserida a extremidade de uma mangueira de gás GLP, permitindo a liberação controlada do gás no ambiente confinado.

O módulo de detecção foi acoplado a um suporte móvel com um barbante, o qual permitia a movimentação vertical do sistema no interior do tubo, simulando o deslocamento de sensores em direção ao fundo de um poço real. Durante a descida, o sistema mantinha o registro contínuo da distância e das leituras dos sensores, correlacionando a presença dos gases com a profundidade alcançada, conforme apresentado na Figura 14.

A coleta de dados foi feita de forma contínua até que o detector atingisse o fundo do tubo. Em seguida, o módulo era removido cuidadosamente para evitar danos aos componentes. Os dados coletados foram utilizados posteriormente para análise da

concentração de gases ao longo do percurso, permitindo avaliar a eficiência e sensibilidade do sistema proposto.

Essa metodologia busca replicar, em escala reduzida e segura, a operação de detecção de gases em ambientes subterrâneos, como poços, minas e galerias, onde a presença de compostos tóxicos e inflamáveis representa um risco à integridade humana e operacional.



(a) Detector no início do tubo



(b) Detector próximo ao final



(c) Detector no final do tubo

*Figura 14– Sequência do procedimento experimental com deslocamento do detector no interior do tubo.*

*Fonte: Autora.*

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a análise experimental, foram realizadas três leituras distintas: uma em ambiente sem a presença de gás (leitura de referência) e duas em condições com a introdução de GLP (Leitura 1 e Leitura 2, ambas com gás). Os dados coletados pelos sensores MQ02, MQ07 e MQ135 foram correlacionados com a distância entre o detector e a fonte emissora de gás, simulando a descida em um ambiente confinado. Algumas limitações técnicas foram identificadas durante a execução do projeto. Como exemplo, tem-se o alcance limitado do sensor HC-SR04, de aproximadamente 4 metros, que inviabiliza sua aplicação em poços de maior profundidade ou com presença de obstáculos.

### 4.1 Sensor Ultrassônico

Durante o experimento foi utilizando o sensor ultrassônico HC-SR04, foi possível observar um comportamento característico da variação de distância registrada ao longo do tempo, refletindo com precisão o movimento de descida e subida realizado dentro do tubo. Inicialmente, os dados indicam uma distância próxima de 2 m, correspondente ao início da descida. A partir desse ponto, observa-se uma redução progressiva nos valores registrados pelo sensor, configurando uma curva descendente que segue até aproximadamente o fundo do poço, representando o fundo do tubo.

Essa descida se dá de forma relativamente contínua, porém com trechos que apresentam pequenas variações ou “degraus”, conforme pode ser observado na Figura 15 o que está diretamente relacionado à forma como o movimento foi executado: gradual e pausado. Essa característica se reflete no gráfico como uma sequência de patamares suaves, demonstrando que o deslocamento do sensor não foi completamente linear, mas sim marcado por pequenas interrupções ou desacelerações naturais do movimento manual.

Após atingir o ponto mais baixo, nota-se uma inversão na direção da curva, com uma subida relativamente mais rápida em direção ao valor inicial de 200 cm. Essa segunda parte do gráfico exibe uma inclinação mais acentuada, compatível com uma subida realizada de forma menos pausada, o que evidencia uma diferença clara entre as duas fases do experimento. Em síntese, o comportamento observado nos dados é coerente com a dinâmica esperada do sensor HC-SR04, demonstrando sua capacidade de captar variações de distância com boa sensibilidade e resposta, respeitando as condições do ambiente e da movimentação imposta, confurdo, foram realizadas menos de 200 medições

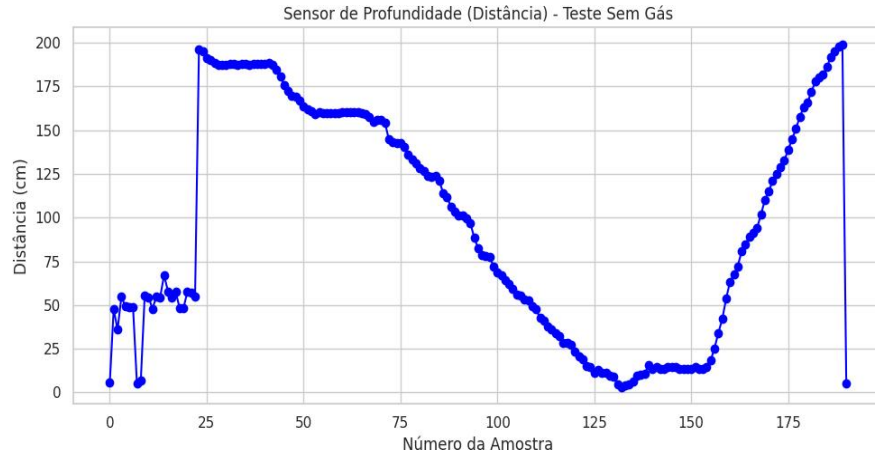


Figura 15 – Dados do sensor Ultrassônico - Teste sem gás  
Fonte: Autora

#### 4.2 Sensores de Gás

A Figura 16 apresenta os gráficos das leituras dos sensores em função da distância, tendo em vista o experimento realizados com gás de cozinha.

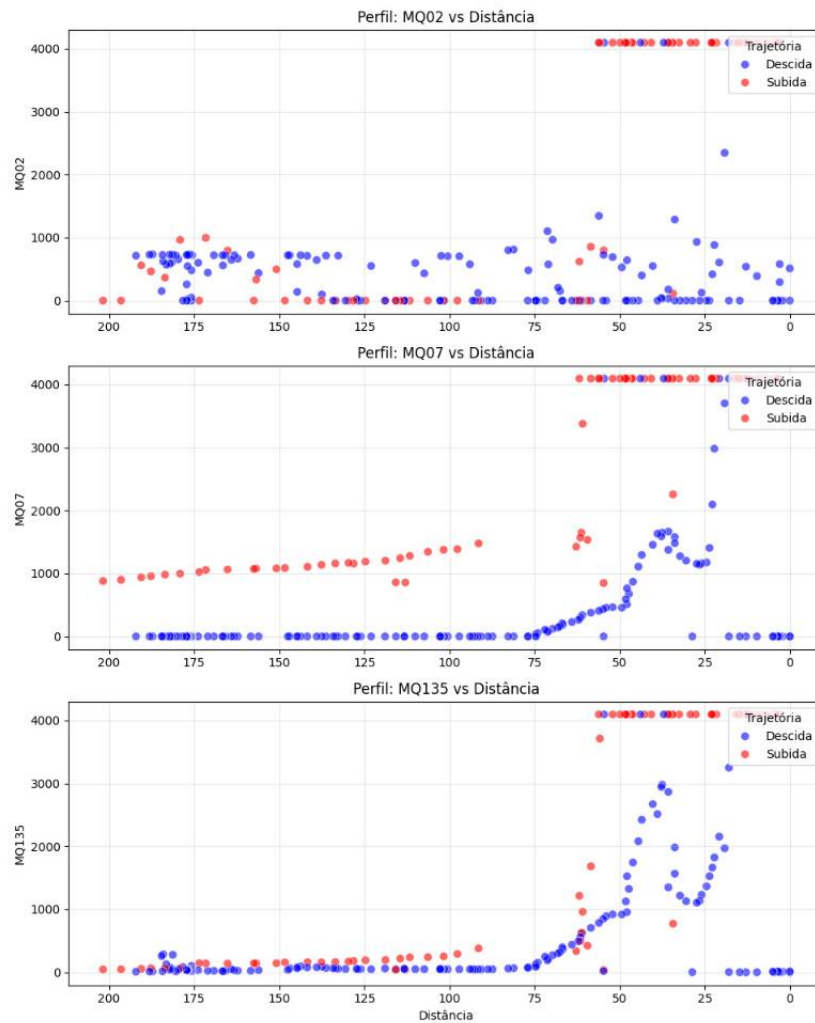


Figura 16 – Comparação das leituras dos sensores MQ02, MQ07 e MQ135 em função da distância, nas leituras com gás.

Fonte: Autora.

Na leitura realizada sem a presença de gases, observa-se que as leituras dos três sensores permaneceram em níveis baixos e estáveis ao longo de todo o percurso. Este comportamento é esperado, visto que o ambiente não continha qualquer emissão intencional de gases, servindo como controle para comparação.

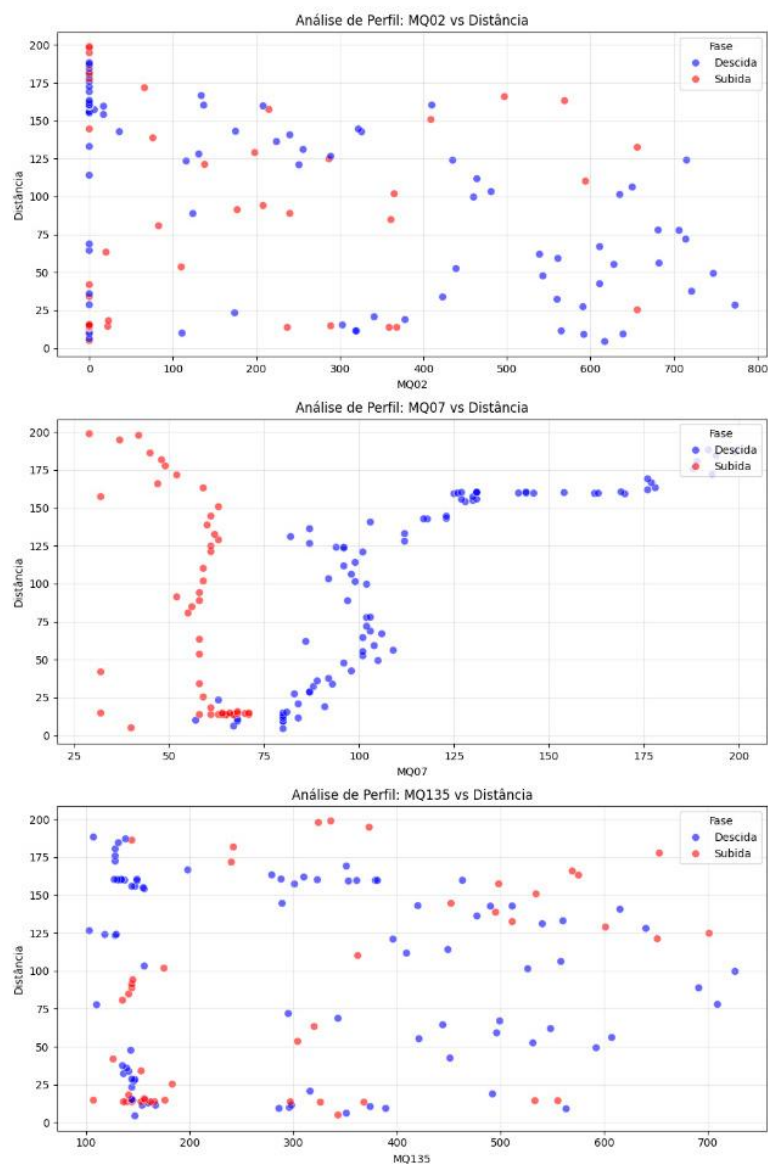


Figura 17– Comparação das leituras dos sensores MQ02, MQ07 e MQ135 em função da distância, nas leituras sem gás

Fonte: Autora.

Nas leituras com a presença de GLP, no entanto, é evidente o aumento significativo nos valores registrados pelos sensores, especialmente MQ02 e MQ07, que são sensíveis a gases inflamáveis e monóxido de carbono, respectivamente. Na Leitura 1, o aumento nas leituras de MQ02 é perceptível a partir de aproximadamente 50 cm de profundidade (pontos

azuis), atingindo picos próximos ao fundo do tubo, conforme a Figura 16. O mesmo padrão é observado na Leitura 2, embora com pequenas variações atribuíveis a condições ambientais ou fluxo de gás durante o experimento. Em comparação com o MQ02, o sensor MQ07 apresenta uma maior, porém sutil, inclinação na tendência a medida que se aproxima do fundo do cano, conforme apresentado na Figura 18 e 19.

Desta forma, a análise dos dados reforça a correlação inversa entre a distância e a concentração de gases detectada. Como pode ser observado pela curva de tendência representado pela linha vermelha nas figuras 18, 19 e 20, confirmando que a proximidade da fonte emissora é o fator determinante para o aumento das tensões de saída nos sensores. Essa dependência espacial valida a precisão do sistema em mapear gradientes de concentração em ambientes verticais.

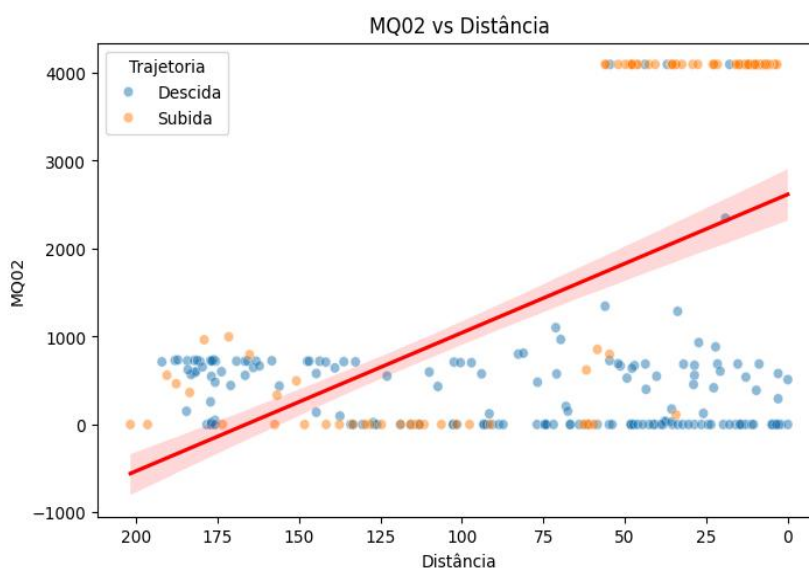


Figura 18 - Dados do MQ02.

Fonte: Autora

O sensor MQ135, destinado à detecção de gases tóxicos em geral, apresentou comportamento mais discreto, porém coerente, indicando aumento gradativo nas concentrações à medida que o sensor se aproximava da fonte, conforme a Figura 18. Este comportamento reforça a validade da metodologia empregada, evidenciando a capacidade do sistema em detectar variações na qualidade do ar em ambientes confinados.

De maneira geral, os dados confirmam a eficácia do sistema proposto para identificação de ambientes com acúmulo de gases perigosos. A resposta dos sensores demonstra correlação espacial com a distância percorrida, característica fundamental para aplicações em situações reais, como inspeções em poços ou galerias subterrâneas.

Um ponto relevante observado na análise das trajetórias é o fenômeno de histerese (memória) nos sensores de gás. Durante a fase de subida, as leituras tendem a apresentar valores ligeiramente superiores aos registrados na descida para uma mesma distância. Esse comportamento é atribuído ao tempo de recuperação química das membranas dos sensores MQ, que, após serem expostas a altas concentrações de GLP no fundo do duto, necessitam de um intervalo para a dissipação total das partículas de gás de sua superfície sensível.

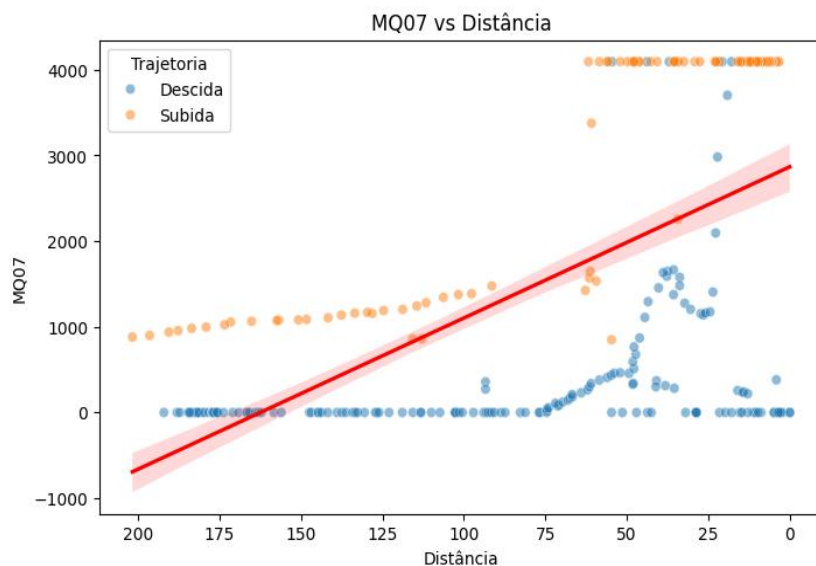


Figura 19 – Dados do MQ07

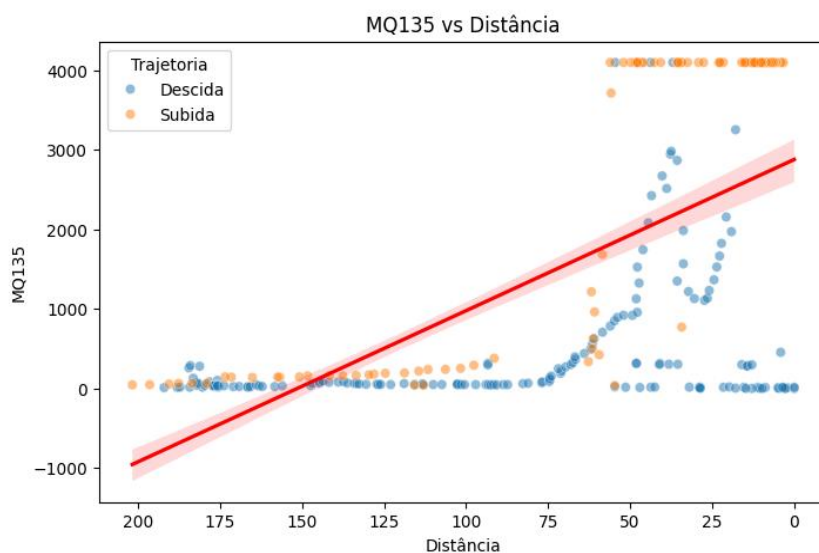


Figura 20 – Dados do MQ135

Com relação ao sensor de temperatura e pressão BMP180, as leituras apresentaram aproximadamente o mesmo comportamento na presença e na ausência de gás, com a temperatura variando entre 31,4 °C e 32 °C (Figura 21). A pressão apresentou variações leves, oscilando entre 1012,75 Pa e 1014,50 Pa (Figura 22).

Além disso, observou-se também que, nas distâncias inferiores a 10 cm (fundo do tubo), os sensores frequentemente atingiram o limite de saturação do conversor analógico-digital (ADC), registrando o valor máximo de 4095. Esse platô nas leituras indica que a concentração de GLP no ponto mais profundo do experimento excedeu o limite superior de detecção configurado, garantindo que o sistema de alerta seja acionado com segurança máxima em situações de exposição direta.

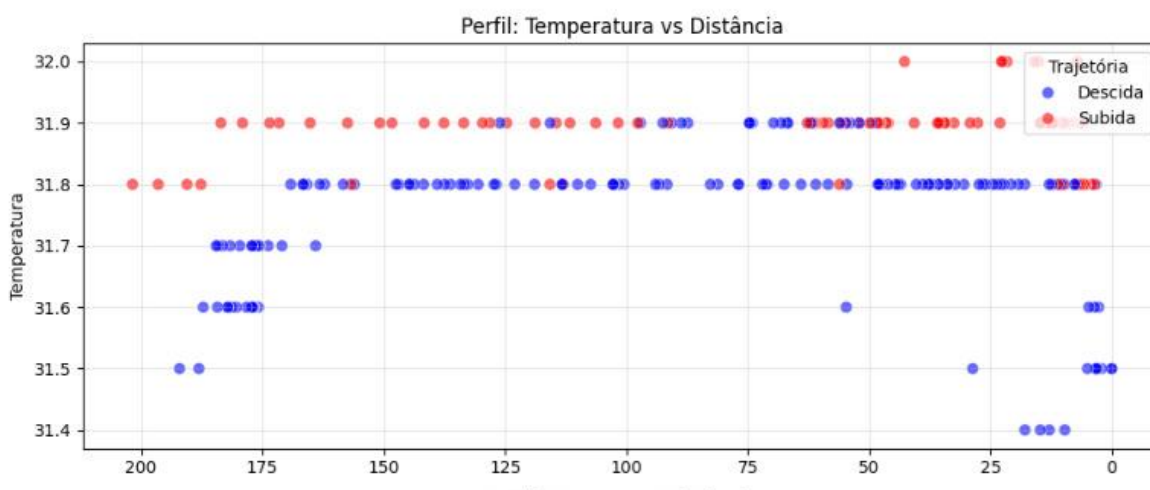


Figura 21 - Temperatura x Distância

Fonte: Autora.

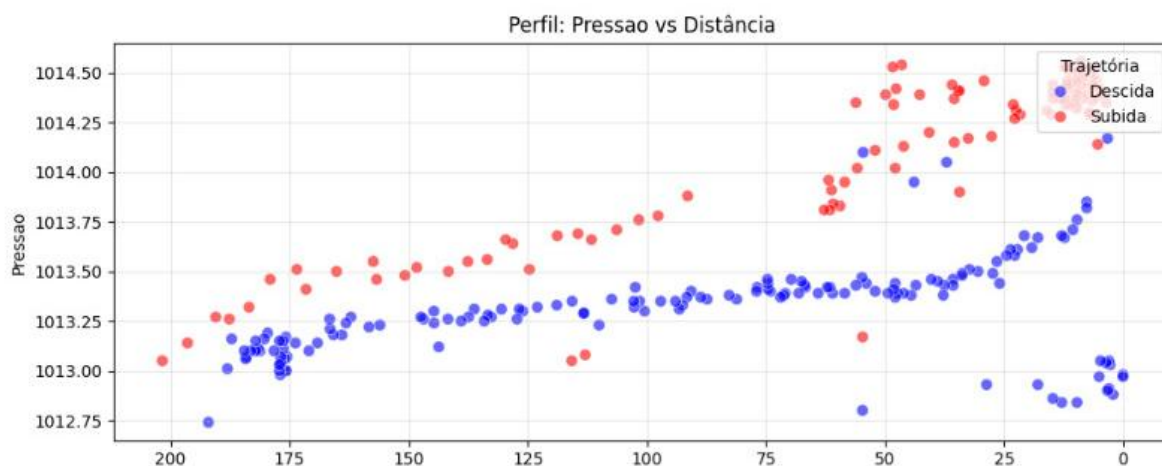


Figura 22 - Pressão x Distância

Fonte: Autora.

#### 4.3 Análise dos Alertas na página Web

Os dados registrados na plataforma Web, categorizando os estados como “ALERTA” ou “OK” com base nas concentrações detectadas pelos sensores de gás, evidenciam uma forte correlação entre a proximidade da fonte de emissão e a frequência de alertas gerados. Conforme ilustrado na Figura 23, a maior incidência de estados de “ALERTA” ocorre nas

faixas de distância mais próximas ao fundo do tubo (0–10 cm), com 117 ocorrências, diminuindo progressivamente nas faixas subsequentes.

Essa distribuição confirma o comportamento já observado nas leituras dos sensores MQ02, MQ07 e MQ135, cujos valores aumentam significativamente à medida que o sensor se aproxima da fonte de GLP. Nas faixas de 0–50 cm, o número de alertas supera amplamente o de estados “OK”, o que indica que o ambiente é reconhecido como potencialmente perigoso ou contaminado pela plataforma em tempo real.

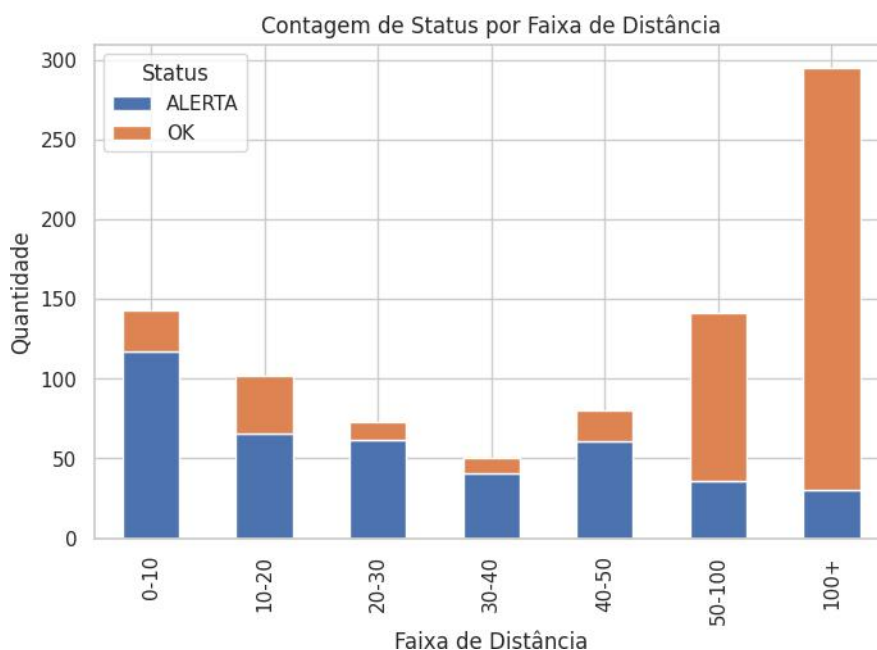


Figura 23– Frequência dos Alertas e Distância até o fundo do cano

Por outro lado, a partir da faixa de 50–100 cm, observa-se uma inversão no padrão: os estados “OK” passam a ser mais frequentes (105 ocorrências), o que sugere que a concentração de gás se torna diluída a distâncias maiores, reduzindo o risco de exposição. Este padrão se intensifica ainda mais na faixa acima de 100 cm, onde o número de alertas despenca para 30, enquanto os estados “OK” atingem o pico com 265 registros.

Esses resultados demonstram a efetividade do sistema de monitoramento e da interface Web em identificar situações potencialmente perigosas de forma responsiva e coerente com os dados físicos dos sensores. Além disso, validam a abordagem empregada na categorização automática de risco, que pode ser aplicada com confiabilidade em cenários reais de inspeção e segurança em ambientes confinados.

## 5 CONCLUSÃO

A ausência de sistemas de monitoramento atmosférico em espaços confinados ainda constitui uma realidade em diversas regiões do país, especialmente em zonas rurais ou de difícil acesso. Nesses contextos, os riscos advindos da presença de gases tóxicos, inflamáveis ou asfixiantes são frequentemente negligenciados, contribuindo para a ocorrência de acidentes com potencial de letalidade. Nesse cenário, o desenvolvimento de um sistema embarcado utilizando a plataforma ESP32 mostra-se uma alternativa técnica viável e promissora para a ampliação das medidas de segurança em atividades como escavação, inspeção e resgate em poços semiartesianos.

Cumprido salientar que a utilização de sensores de gases, como os modelos MQ02, MQ07 e MQ135, não exime a necessidade do uso obrigatório de Equipamentos de Proteção Respiratória (EPR), sobretudo em contextos operacionais reais. Tais sensores são voltados para fins experimentais, educacionais ou de prototipagem, não apresentando certificação técnica nem a acurácia exigida para aplicações críticas à segurança humana. Portanto, sua utilização deve restringir-se a funções auxiliares de monitoramento e alerta em sistemas de apoio, não devendo ser considerada como substituição de barreiras físicas ou equipamentos normativos de proteção individual.

A solução proposta neste trabalho consolidou-se como uma arquitetura de valor acessível, funcional e adaptável, apta a realizar a aquisição em tempo real de variáveis ambientais relevantes, como concentração de gases, profundidade, temperatura e pressão atmosférica. A integração dos sensores MQ02, MQ07 e MQ135 permitiu a detecção de compostos potencialmente perigosos, com respostas coerentes às condições simuladas. O sensor barométrico BMP180 agregou dados atmosféricos internos do poço, enquanto o sensor ultrassônico HC-SR04 viabilizou a estratificação espacial das leituras, permitindo o rastreamento vertical das concentrações de gases ao longo da profundidade monitorada.

A conectividade via rede Wi-Fi, associada ao armazenamento local em cartão microSD, possibilitou a visualização remota dos dados em tempo real, minimizando a necessidade de exposição dos operadores a áreas de risco. A interface web implementada incorporou recursos de alerta visual e sonoro diante de concentrações críticas, fortalecendo a estratégia de prevenção ativa e contribuindo com a tomada de decisão em campo, durante o desenvolvimento de operações em ambientes confinados.

Algumas limitações técnicas foram identificadas durante a execução do projeto. O alcance limitado do sensor HC-SR04, de aproximadamente 4 metros, inviabiliza sua aplicação em poços de maior profundidade ou com presença de obstáculos. Ademais, a

ausência de encapsulamento com proteção contra umidade compromete a integridade funcional do sistema em ambientes propensos à condensação ou infiltração de água.

Essas limitações evidenciam direções para aprimoramentos futuros, como a adoção de encapsulamento com grau de proteção elevado (por exemplo, IP65 ou superior), a substituição dos sensores por modelos com maior robustez e confiabilidade industrial, e a implementação de dispositivos de alarme acoplados à estrutura do sistema. Tais melhorias visam ampliar a resiliência da solução frente às exigências de campo. A capacidade do sistema em detectar atmosferas potencialmente perigosas a diferentes profundidades, com registro contínuo e comunicação remota, demonstra que soluções embarcadas podem ocupar lacunas relevantes na mitigação de riscos invisíveis.

Assim, a proposta deste trabalho constitui uma contribuição replicável para melhoria da segurança operacional em ambientes confinados. Com os devidos ajustes estruturais e funcionais, o sistema possui potencial de aplicação em práticas de inspeção, manutenção e salvamento, promovendo a democratização do acesso a tecnologias de monitoramento ambiental e fomentando uma cultura de prevenção baseada em dados em tempo real.

## REFERÊNCIAS

AVELAR, Julio Nunes; ZAPAROLI, Tiago Silveira. LoRa – Uma tecnologia que o software livre pode contribuir. Campinas: Instituto de Computação – UNICAMP, 27 abr. 2023. Disponível em: <https://embarcacoes.ic.unicamp.br/posts/lora/#o-que-%C3%A9-lora>. Acesso em: 25 jan. 2026.

BARROS, E.; CAVALCANTE, S. *Introdução aos sistemas embarcados*. [S.l.], 2010. 36 p.

BOSCH SENSORTEC GMBH. BMP180: Digital Pressure Sensor – Datasheet. [S.l.]: Bosch Sensortec GmbH, s.d. Disponível em: <https://www.bosch-sensortec.com>. Acesso em: 25 jan. 2026.

CARVALHO, A. A. R. de; MARTINS, L. E. G. Sistemas operacionais para software embarcado: um mapeamento sistemático da literatura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO (SBSI), 20., 2020, São Paulo. *Anais...* São Paulo: SBC, 2020. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbsi/article/view/10282>. Acesso em: 4 jan. 2026.

CIRINO, C. d. A. et al. Aplicabilidade da NR-33 em unidade armazenadora de grãos no interior do Triângulo Mineiro. 2023. Trabalho acadêmico (não publicado).

COSTA, E. d. S. et al. *Acidentes em espaços confinados em usinas sucroalcooleiras*. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Fernandópolis, 2023.

DELUPO. *Detector de gás Altair 4XR – LEL-O<sub>2</sub>-CO-H<sub>2</sub>S com Bluetooth*. Disponível em: <https://www.delupo.com.br/detector-de-gas-altair-4xr---lel-o2-co-h2s-com-bluetooth/p?idsku=69246>. Acesso em: 4 jan. 2026.

ELETROGATE. *Sensor de pressão barométrico BMP180*. 2022. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/sensor-de-pressao-barometrico-bmp-180>. Acesso em: 27 jul. 2025.

ELETROGATE. *Sensor de gás monóxido de carbono MQ-7*. 2025. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/sensor-de-gas-monoxido-de-carbono-mq-7>. Acesso em: 27 jul. 2025.

ENGINEERS, Last Minute. *MQ2 gas sensor with Arduino – complete guide*. 2023. Disponível em: <https://lastminuteengineers.com/mq2-gas-sensor-arduino-tutorial/>. Acesso em: 27 jul. 2025.

ESPRESSIF SYSTEMS (SHANGHAI) CO., LTD. ESP32-WROOM-32E / ESP32-WROOM-32UE Datasheet, 2025. Disponível em: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e\\_esp32-wroom-32ue\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf). Acesso em: 25 jan. 2026.

FELISARDO, Raul José Alves; NICOLAU DOS SANTOS, Gláucia; GOMES GALRÃO, Diego. Uso do Arduino como ferramenta de prototipagem para desenvolvimento de dispositivos automáticos: uma revisão. *Caderno de Graduação – Ciências Exatas e*

*Tecnológicas – UNIT – Sergipe*, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 11–26, 2023. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/11325>. Acesso em: 4 jan. 2026.

FILHO, W. C.; CRUZ, F. M. da. Uso de tecnologias para o monitoramento de ambientes confinados. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, v. 8, n. 1, p. 67–76, 2023.

G1 MARANHÃO. *Três homens morrem juntos dentro de poço artesiano em Aldeias Altas, no Maranhão*. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2024/01/02/tres-homens-morrem-juntos-dentro-de-poco-artesiano-em-aldeias-altas-no-maranhao.ghtml>. Acesso em: 4 jan. 2026.

GUSE, R. *Como funciona o sensor de gás MQ-135?* 2022. Disponível em: <https://www.makehero.com/blog/como-funciona-o-sensor-de-gas-mq-135/>. Acesso em: 27 jul. 2025.

HANWEI ELECTRONICS CO., LTD. MQ-135 Gas Sensor Technical Data Sheet. [S.l.]: HANWEI Electronics Group Corporation, s.d. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1307647/WINSEN/MQ135.html>. Acesso em: 25 jan. 2026.

HANWEI ELECTRONICS GROUP CORPORATION. MQ-2 Gas Sensor: Technical Data Sheet. [S.l.]: Hanwei Electronics Group Corporation, s.d. Disponível em: <https://www.hwsensor.com/>. Acesso em: 25 jan. 2026.

HANWEI ELECTRONICS GROUP CORPORATION. MQ-7 Gas Sensor: Technical Data Sheet. [S.l.]: Hanwei Electronics Group Corporation, s.d. Disponível em: <https://www.hwsensor.com/>. Acesso em: 25 jan. 2026.

ILTEN, E. Toxic gas-meter application for android device with Arduino Nano 33 IoT. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE ACADEMIC STUDIES, 4., 2024. *Proceedings...* [S.l.: s.n.], 2024. p. 125–130.

LEMOS, P. R. M. *Espaços confinados: reconhecimento dos riscos característicos para a prevenção de acidentes*. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Segurança) – Unidade Acadêmica de Pesquisa e Pós-Graduação, Porto Alegre, 2017.

MAKERHERO. *Sensor ultrassônico HC-SR04: medição precisa*. 2022. Disponível em: <https://www.makehero.com/produto/sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04/>. Acesso em: 27 jul. 2025.

MERCADO LIVRE. *Detector de gases para espaço confinado Bosean BH-4A*. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/detector-de-gases-para-espaco-confinadocertificado/p/MLB29667672>. Acesso em: 4 jan. 2026.

MORGAN, Elijah J. HC-SR04 Ultrasonic Sensor Datasheet. Nov. 16, 2014. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/1132204/ETC2/HCSR04.html>. Acesso em: 25 jan. 2026.

NETO, M. M. d. L. *Monitoramento de parâmetros em “salas limpas” usando o microcontrolador ESP32*. 2024. Trabalho acadêmico (não publicado).

NUNES, E. E. et al. Sistemas embarcados: comunicação via ESP32 com LoRa. In: BRAZILIAN TECHNOLOGY SYMPOSIUM (BTSYM), 2022, Manaus. *Anais...* Manaus, 2022. v. 1. ISSN 2447-8326.

OLIVEIRA, I. M. de. *Desenvolvimento de plataforma experimental de eletricidade básica com acesso e controle remotos: uma abordagem implementada diretamente em microcontrolador*. [S.l.], 2022.

RIBEIRO NETO, João et al. A cultura maker como metodologia ativa de ensino: contribuições, desafios e perspectivas na educação. *Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas*, [S.l.], v. 25, n. 1, p. 107–115, 2024. DOI: 10.17921/2447-8733.2024v25n1p107-115. Disponível em: <https://revistaensinoeducacao.pgsscogna.com.br/ensino/article/view/11179>. Acesso em: 5 jan. 2026.

SANTANA, Edie Correia; FERNANDES, Alan Tocantins; BATISTA, Fernando Davoli. Aplicação de elementos da cultura maker no desenvolvimento de projetos. *Research, Society and Development*, [S.l.], v. 13, n. 4, e10813445656, 2024. DOI: 10.33448/rsd-v13i4.45656. Acesso em: 5 jan. 2026.

SE, G.; BERNARDO, P. Sistemas embarcados: fundamentos, aplicações e desafios tecnológicos. *Revista Matiz Online*, n. 14, set. 2024. ISSN 2179-4022. Disponível em: <http://www.immes.edu.br/>. Acesso em: 4 jan. 2026.

SIMÕES, W. C. S. S. et al. Utilização de micro sensor para monitoramento da qualidade do ar em ambiente industrial. *Studies in Engineering and Exact Sciences*, v. 5, n. 2, p. e12039, 2024. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/sees/article/view/12039>. Acesso em: 20 abr. 2025.

THAKUR, M. R. *ESP32 DevKit ESP32-WROOM GPIO pinout*. 2018. Disponível em: <https://circuits4you.com/2018/12/31/esp32-devkit-esp32-wroom-gpio-pinout/>. Acesso em: 23 jul. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Embedded systems. 2017. Imagem. Disponível em: <http://ppgeel.paginas.ufsc.br/files/2017/12/embeddedsystems-1.png>. Acesso em: 25 jan. 2026.

YUN, J. et al. Fuzzing of embedded systems: a survey. *ACM Computing Surveys*, v. 55, n. 1, 2023.

## APÊNDICE A – CÓDIGO UTILIZADO NO DETECTOR DE GÁS

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_BMP085.h>
#include <WiFi.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

// Pinos do sistema
#define LED_PIN 2
#define BUTTON_PIN 27
#define BUZZER_PIN 13
#define TRIG_PIN 5
#define ECHO_PIN 4
#define MQ02_PIN 34
#define MQ07_PIN 35
#define MQ135_PIN 32
#define SD_CS_PIN 15

// Wi-Fi Access Point
const char* ssid = "MONITORA GAS";
const char* password = "";

WiFiServer server(80);
Adafruit_BMP085 bmp;
bool circuitoLigado = false;
bool lastButtonState = HIGH;

// === Função para gravar dados no cartão microSD ===
void gravaDadosNoSD(float temperatura, float pressao, float distancia,
                    int mq02, int mq07, int mq135, bool alerta) {

// Cria o arquivo com cabeçalho se ele não existir
if (!SD.exists("/leituras.txt")) {
```

```

File cabecalho = SD.open("/leituras.txt", FILE_WRITE);
if (cabecalho) {
  cabecalho.println("Temperatura;Pressao;Distancia;MQ-02;MQ-07;MQ-135;Status");
  cabecalho.close();
}
}

// Abre o arquivo para adicionar os dados
File dataFile = SD.open("/leituras.txt", FILE_APPEND);
if (dataFile) {
  dataFile.printf("%.2f;%.2f;%.2f;%d;%d;%d;%s\n",
    temperatura, pressao, distancia,
    mq02, mq07, mq135,
    alerta ? "ALERTA" : "OK");
  dataFile.close();
  Serial.println("✔ Dados gravados no cartão SD.");
} else {
  Serial.println("✘ Falha ao abrir o arquivo para gravação.");
}
}

// === Configuração inicial ===
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(1000);

  pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
  pinMode(BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
  pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
  pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
  digitalWrite(LED_PIN, LOW);
  digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
}

```

```

// Inicia sensor BMP180
if (!bmp.begin()) {
  Serial.println("Erro ao iniciar BMP180!");
}

// Inicia cartão SD
if (!SD.begin(SD_CS_PIN)) {
  Serial.println("✘ Falha ao iniciar o cartão SD. Verifique pinos e alimentação.");
} else {
  Serial.println("✔ Cartão SD iniciado com sucesso.");
}

// Inicia Wi-Fi em modo Access Point
WiFi.softAP(ssid, password);
Serial.print("  IP do ponto de acesso: ");
Serial.println(WiFi.softAPIP());

server.begin();
}

// === Loop principal ===
void loop() {
  bool reading = digitalRead(BUTTON_PIN);
  if (reading == LOW && lastButtonState == HIGH) {
    circuitoLigado = !circuitoLigado;
    digitalWrite(LED_PIN, circuitoLigado ? HIGH : LOW);
    delay(200);
  }
  lastButtonState = reading;

  WiFiClient client = server.available();
  if (client) {
    while (client.connected()) {
      if (client.available()) {

```

```

client.readStringUntil('\r');
client.readStringUntil('\n');

float temperatura = 0;
float pressao = 0;
float distancia = 0;
int mq02 = 0;
int mq07 = 0;
int mq135 = 0;
bool alerta = false;

if (circuitoLigado) {
    temperatura = bmp.readTemperature();
    pressao = bmp.readPressure() / 100.0;

    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
    long duracao = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, 30000);
    distancia = duracao * 0.034 / 2;

    mq02 = analogRead(MQ02_PIN);
    mq07 = analogRead(MQ07_PIN);
    mq135 = analogRead(MQ135_PIN);

    alerta = (mq02 > 1000 || mq07 > 1000 || mq135 > 1200);
    digitalWrite(BUZZER_PIN, alerta ? HIGH : LOW);

    // Chama a função que grava os dados
    gravaDadosNoSD(temperatura, pressao, distancia, mq02, mq07, mq135, alerta);
} else {
    digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);

```

```

}

// HTML da página Web
client.println("HTTP/1.1 200 OK");
client.println("Content-Type: text/html");
client.println("Connection: close");
client.println();
client.println("<html><head><meta http-equiv='refresh' content='3' charset='utf-8'/>"
               "<style>"
               "body { font-family: Arial; background-color: #f0f0f0; text-align: center;"
padding: 20px; }"
               ".card { background: white; padding: 15px; margin: 10px auto; border-radius:"
10px; max-width: 300px; box-shadow: 0 0 10px rgba(0,0,0,0.1); }"
               "h2 { color: #333; }"
               "p { font-size: 1.1em; margin: 5px 0; }"
               "</style>"
               "<title>Monitoramento do Po&ccedil;o</title></head><body>");

client.println("<h2>Monitoramento do Po&ccedil;o Artesiano</h2>");

client.println("<div class='card'>");
client.printf("<p><strong>Sistema:</strong> %s</p>", circuitoLigado ? "LIGADO" :
"DESLIGADO");
client.printf("<p><strong>Status da coleta:</strong> %s</p>", circuitoLigado ?
"Coletando dados..." : "  Dados não estão sendo coletados.");
if (circuitoLigado) {
client.printf("<p><strong>Temperatura:</strong> %.2f °C</p>", temperatura);
client.printf("<p><strong>Pressão:</strong> %.2f hPa</p>", pressao);
client.printf("<p><strong>Profundidade:</strong> %.2f cm</p>", distancia);
} else {
client.println("<p><em>Leituras desativadas</em></p>");
}
client.println("</div>");

```

```

if (circuitoLigado) {
    client.println("<div class='card'>");
    client.printf("<p><strong>MQ-02 (GLP / Fumaça):</strong> %d</p>", mq02);
    client.printf("<p><strong>MQ-07 (Monóxido de Carbono):</strong> %d</p>", mq07);
    client.printf("<p><strong>MQ-135 (Qualidade do Ar):</strong> %d</p>", mq135);
    client.println("</div>");

    if (alerta) {
        client.println("<div class='card' style='background-color: #ffc0cb;'>");
        client.println("<p style='color:red'><strong>ALERTA: Gás em nível
perigoso</strong></p>");
        client.println("</div>");
    }
}

client.println("</body></html>");
break;
}
}
delay(1);
client.stop();
}
}

```