



DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO INTELIGENTE PARA DETECÇÃO DE GASES UTILIZANDO UM MICROCONTROLADOR E SENSOR MQ-2

Daniel Porto da Silva*
Gustavo do Carmo Luna
Johnata Andrade Gonçalves
Pedro Henrique de Souza Nogueira
Victor Santos Bandeira
Orientador: Prof. Fabio Rizzo de Aguiar

RESUMO

Vazamentos de gases inflamáveis ou tóxicos representam um grande risco para o bem-estar da população, porém, devido ao alto custo dos detectores disponíveis no mercado, muitas residências, comércios e pequenos laboratórios não possuem um sistema de adequado para a detecção desses vazamentos. Pensando nesse problema, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um dispositivo para detecção de gás de baixo custo utilizando o sensor MQ-2, que seja capaz de detectar gases inflamáveis como o GLP e o metano. Os sensores do tipo MQ são amplamente utilizados em projetos educacionais e para o desenvolvimento de sensores econômicos. O objetivo foi utilizar o sensor MQ-2 para a detecção de gases inflamáveis. Testando os dados do sensor será possível determinar se o MQ-2 é adequado para a detecção de vazamentos, e depois utilizá-lo para informar ao usuário sobre os possíveis vazamentos via SMS, ou também, através de um alarme sonoro presente no próprio dispositivo. Os resultados indicam que o protótipo apresenta resposta rápida, funcionamento estável, podendo assim ser usado como alternativa econômica para residências, comércios e laboratórios de nível A1, contribuindo para ampliar o acesso a dispositivos de segurança.

Palavras-chave: Detecção de gases, sensor, GLP, IoT, MQ-2

ABSTRACT

Leaks of flammable or toxic gases pose a significant risk to public safety; however, due to the high cost of commercially available detectors, many homes, businesses, and small laboratories do not have an adequate system for detecting such leaks. With this problem in mind, this work aims to develop a low-cost gas detection device using the MQ-2 sensor, capable of detecting flammable gases such as LPG and methane. MQ-type sensors are widely used in educational projects and for the development of economical detection systems. The goal was to use the MQ-2 sensor for the detection of flammable gases. By testing the sensor data, it is possible to determine whether the MQ-2 is suitable for leak detection and subsequently use it to alert the user about potential leaks via SMS or through an audible alarm integrated into the device. The results indicate that the prototype exhibits a fast response and stable operation, making it a viable low-cost alternative for homes, businesses, and A1-level laboratories, thus contributing to greater access to safety devices.

Keywords: Detection of gases, sensor, LPG, IoT, MQ-2

¹ Curso Técnico em Química – ETEC Irmã Agostina

Av. Feliciano Correa s/n – Jardim Satélite - CEP 04815-240 - São Paulo – Brasil

* danielporto7474@gmail.com

Recebido em: 26/11/2025

Apresentado à banca em: 04/12/2025

1 INTRODUÇÃO

Vazamentos de gases são incidentes perigosos que podem acarretar perdas financeiras ou até mesmo de vidas. Para que seja possível reduzir as chances dessas perdas, há um grande investimento no mercado de sistemas de segurança, em especial, o de detectores de vazamentos de gás, já que existe uma projeção de crescimento deste mercado de cerca de 6,2% até 2032, o que comprova o interesse da sociedade em resolver esse problema que pode causar grandes tragédias (*Fortune Business Insights*, 2025).

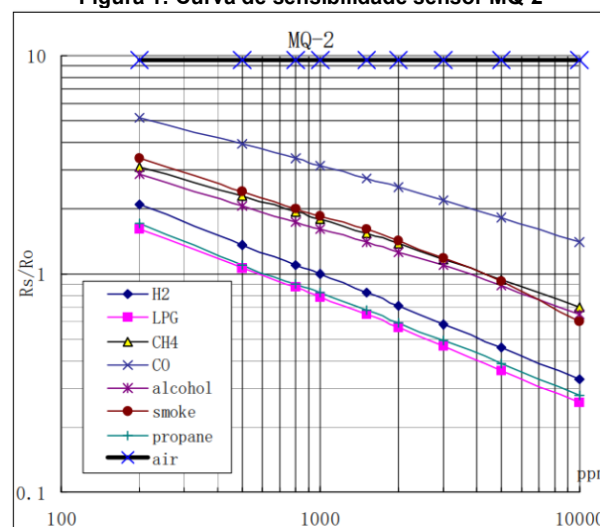
Com o avanço da Internet das Coisas (IoT), dispositivos inteligentes têm se tornado cada vez mais presentes em residências e empresas, permitindo o monitoramento contínuo do ambiente e aumentando a segurança nesses locais. Sistemas de detecção conectados, capazes de enviar alertas em tempo real para smartphones ou plataformas online, vêm se destacando como soluções modernas para prevenir acidentes envolvendo gases inflamáveis.

Porém, esses dispositivos ainda possuem um preço de mercado elevado, fazendo com que tais mecanismos de segurança fiquem restritos a pessoas com maior poder aquisitivo ou a empresas de grande porte. Tendo em vista a seriedade do assunto, é essencial que dispositivos de segurança como esses detectores possam chegar nas residências de pessoas em situação de vulnerabilidade econômica tendo em vista que nessas regiões é mais propício de ocorrer esses acidentes (*Weller et al.*, 2022). Levando em consideração a baixa renda dos moradores dessas regiões e o alto preço de dispositivos de segurança como os sensores para vazamento de gás, os sensores da linha MQ apresentam preços acessíveis, variando entre R\$ 10,00 e R\$ 30,00 por unidade, fazendo com que ele possa ser empregado no desenvolvimento de sensores de baixo custo para detecção de gases inflamáveis.

O funcionamento dos sensores MQ baseia-se na tecnologia dos sensores de óxido metálico semiconductor tipicamente dióxido de estanho (SnO_2) que sofre alterações de resistência elétrica ao interagir com moléculas de gás na superfície do sensor. Em ambientes com gases redutores, como monóxido de carbono ou metano, a resistência do sensor diminui. Em contrapartida, em presença de gases oxidantes, a resistência tende a aumentar (*Lee et al.*, 2019). A seletividade e a sensibilidade do sensor dependem da temperatura de operação, pois a adsorção e dessorção dos gases e do oxigênio superficial são dependentes do calor. Por

isso, os sensores MQ contêm um pequeno aquecedor cerâmico embutido para manter a faixa ideal de funcionamento (entre 200°C e 400 °C) (*Korotcenkov*, 2008). A equação de detecção dos sensores MQ geralmente se baseia na razão entre a resistência na presença do gás (R_s) e a resistência em ar limpo (R_0), o que permite relacionar diretamente a concentração do gás com os valores de saída do sensor. $\frac{R_s}{R_0}$ conforme indicada pelos fabricantes, deve ser comparada com as curvas da Figura 1, fornecidas nos manuais técnicos para interpretar a concentração de gases em ppm (partes por milhão). No entanto, fatores como temperatura e umidade podem afetar a precisão e estabilidade da leitura, pois, esses fatores interferem na sensibilidade do dióxido de estanho (*Lee et al.*, 2019).

Figura 1: Curva de sensibilidade sensor MQ-2



Fonte: Hanwei Electronics Co., LTD. S.d.

O dióxido de estanho (SnO_2) é um óxido semiconductor utilizado nos sensores MQ, que possui alta resistência elétrica em atmosfera limpa (com predominância de O_2). A sensibilidade do SnO_2 ocorre devido à adsorção de oxigênio na

superfície do material, formando espécies iônicas como O^- , O_2^- e O_2^{2-} , que capturam elétrons da banda de condução, aumentando a resistência elétrica do sensor (*Wang et al.*, 2010).

Quando um gás redutor (como CO , CH_4 ou H_2) entra em contato com o SnO_2 , ele reage com os íons de oxigênio adsorvidos, liberando elétrons de volta à banda de condução, o que reduz a resistência elétrica do material. Essa variação de resistência é detectada e convertida em um sinal elétrico proporcional à concentração do gás (*Wang et al.*, 2010).

Com base nesse princípio o MQ-2 (representado na Figura 2) foi projetado para ser sensível a gases combustíveis como metano (CH_4), propano (C_3H_8), butano (C_4H_{10}), hidrogênio (H_2), bem como a fumaça e vapor de álcool. Essa ampla faixa de detecção é possível devido à alta reatividade do SnO_2 com diversos gases redutores. Estudos mostram que o MQ-2 pode detectar gases em concentrações que variam de 300 a 10.000 ppm (Darwiso; Motawej; Farhat, 2022).

Figura 2: Representação do MQ-2



Fonte: Venkatakrishnaraja; Dharshini, 2019.

O Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) conhecido como o gás de cozinha é uma mistura de hidrocarbonetos leves, especialmente propano (C_3H_8) e butano (C_4H_{10}), obtida durante o refino do petróleo ou no processamento do gás natural. Por conta de o GLP apresentar alta eficiência energética e combustão limpa, ele passou a ser amplamente usado no setor residencial, industrial e agrícola, porém como demonstrado na Tabela 1, que apresenta propriedades do Propano e Butano, o GLP é inflamável e mais denso que o ar, o que pode levar ao acúmulo em áreas baixas e à formação de atmosferas explosivas em locais fechados (Moreira, 2020). Estudos indicam que o GLP tem uma faixa de inflamabilidade entre 21.000 e 95.000 ppm (Smith, 2018).

Tabela 1: Propriedades físico-químicas do GLP.

Propriedades	Propano	Butano
Densidade líquida. Kg/m^3	506	585
Ponto de ebulição. $^{\circ}\text{C}$	-42	-0,5
Autoignição. $^{\circ}\text{C}$	510	490
Inflamabilidade. Vol. %	2,1 a 9,5	1,5 a 8,5

Fonte: Erkuş; Karamangil; Sürmen, 2015

O metano (CH_4) é um hidrocarboneto do grupo dos alcanos com estrutura tetraédrica, tendo um carbono no centro da estrutura e 4 hidrogênios em suas extremidades (Costa; Menezes, 2015). O metano é um dos principais componentes do gás natural, sendo amplamente utilizado como combustível tanto para veículos quanto em ambiente residencial. De acordo com a literatura, a faixa de inflamabilidade do metano está entre

50.000 e 150.000 ppm (Morris, 2019). Como apresentado na Tabela 2, que demonstra outras propriedades do Metano que auxiliam na compreensão do seu comportamento em diferentes aplicações.

Tabela 2: Propriedades físico-químicas do Metano.

Propriedades	Metano
Densidade líquida. Kg/m^3	422,6
Ponto de ebulição. $^{\circ}\text{C}$	-161,6
Autoignição. $^{\circ}\text{C}$	537
Inflamabilidade. Vol. %	5 a 15

Fonte: Engineering Toolbox (2025) e Turns (2012).

2 METODOLOGIA

Os materiais utilizados para a montagem do dispositivo estão descritos conforme a Tabela 3.

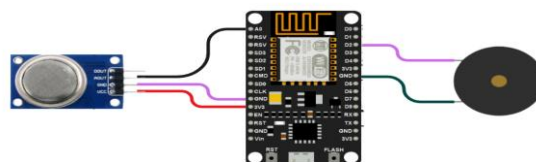
Tabela 3: Materiais do dispositivo

Materiais	Quantidade
Sensor MQ-2	1
Microcontrolador NodeMCU	1
Buzzer	1
Fios jumpers	5
LED	1
Resistor de 220 ohms	1
Cabo micro USB	1

2.1. MONTAGEM DO DISPOSITIVO

Para a montagem do protótipo do dispositivo, foram utilizados o sensor MQ-2, o microcontrolador de modelo NodeMCU e fios *Jumpers*. O sensor foi conectado a placa por meio dos fios *Jumpers*, sendo as entradas VCC, GND e AOUT do sensor ligadas respectivamente às entradas 3V3, GND e A0 do NodeMCU. A montagem do circuito pode ser observada na Figura 3, onde estão conectados o Buzzer e o sensor ao microcontrolador.

Figura 3: Montagem do protótipo



Após a conexão, foi realizado um teste inicial para verificar o funcionamento da placa e do sensor. O protótipo foi conectado ao computador utilizando um cabo micro USB. Quando o LED presente na placa acendeu, a placa foi considerada funcional.

Em seguida, foi conectado um LED externo à placa, juntamente com um resistor de 220 ohms,

utilizando fios jumper. Para testar o LED, foi carregado um código no IDE (*Integrated Development Environment*, Ambiente de Desenvolvimento Integrado) do microcontrolador que fazia o LED piscar em intervalos programados.

Após a instalação e teste do LED, foi instalado um Buzzer para funcionamento como alarme sonoro. Foi então escrito um novo código para controlar o *Buzzer*, o qual foi carregado na IDE.

Após o desenvolvimento do código para o buzzer e a verificação de seu funcionamento, o LED externo e o resistor utilizados nos testes iniciais foram removidos do hardware, não fazendo parte da configuração final do dispositivo.

2.2. CALIBRAÇÃO DO DISPOSITIVO

Para maior confiabilidade e sensibilidade do sensor, o dispositivo deve ser calibrado. Para a calibração, foi deixado o sensor ligado por 24 horas em um ambiente controlado com circulação de ar puro.

2.3. ELABORAÇÃO DO CÓDIGO BASE

Para a elaboração do código base do dispositivo, foi utilizado o Arduino IDE. O limite de 500 ppm foi definido após testes preliminares, buscando um valor que não fosse baixo a ponto de acionar o alerta diante de pequenas variações ou vazamentos mínimos, mas que também não fosse alto a ponto de exigir um longo tempo de exposição ao gás para ser atingido. Assim, 500 ppm se mostrou um ponto de equilíbrio adequado para a metodologia adotada. Embora o código permita ajustar esse limite conforme o ambiente e a aplicação. As normas brasileiras não estabelecem um limite específico de concentração (ppm) para o acionamento de alarmes em detectores de gás. Porém, conforme a NBR IEC 60079-29-1, os sistemas devem operar para detectar concentrações abaixo do limite de explosividade/inflamabilidade. Portanto, o valor adotado de 500 ppm para os testes está dentro da normativa brasileira. O código empregado está representado na Figura 4.

Figura 4: Desenvolvimento do código base

```
int gasValue = analogRead(A0); // Leitura do sensor
Serial.print("Gas Value: ");
Serial.println(gasValue); // Exibe no Serial Monitor

// Para mudar a sensibilidade (limite), altere:
const int GAS_THRESHOLD = 500;
// Valores menores = mais sensível
// Valores maiores = menos sensível
```

Para o funcionamento do buzzer, foi implementado um trecho de código que aciona o alarme sonoro sempre que a concentração de GLP excede o limite estabelecido. O código descrito pode ser visualizado na Figura 5.

Figura 5: Funcionamento do Buzzer

```
// Define the buzzer pin (D1 on NodeMCU is GPIO5)
const int buzzerPin = 5;
const int GAS_THRESHOLD = 500; // Define o limite de gás

int gasValue = analogRead(A0); // Lê o valor do sensor de gás
Serial.print("Gas Value: ");
Serial.println(gasValue);

if (gasValue > GAS_THRESHOLD) {
  digitalWrite(buzzerPin, HIGH); // Ativa o buzzer
} else {
  digitalWrite(buzzerPin, LOW); // Desliga o buzzer
}
```

Para que o dispositivo envie mensagens de alerta para seus usuários, foi necessário a elaboração de um *webhook*. Um *webhook* permite que um sistema notifique outro automaticamente quando um evento ocorre, nesse trecho de código, ele será usado para notificar o usuário quando o limite de concentração determinado for excedido, ou seja, quando estiver ocorrendo um vazamento de gás. A seguir está o código do *webhook* que poderá ser utilizado para notificar via SMS, Telegram ou Whatsapp. O *script* para o desenvolvimento do *webhook* pode ser observado na Figura 6.

Figura 6: Desenvolvimento do webhook

```
if (gasValue > GAS_THRESHOLD && millis() - lastSendTime > DELAY_BETWEEN_REQUESTS) {
  if (!client.connect(server, httpsPort)) {
    Serial.println("Connection failed");
    return;
  }

  String url = String(path) + "?value=" + String(gasValue);
  Serial.print("Requesting URL: ");
  Serial.println(url);

  client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
    "Host: " + server + "\r\n" +
    "Connection: close\r\n\r\n");

  lastSendTime = millis();
}
```

2.4. DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

O aplicativo foi desenvolvido em três camadas: *Frontend*, API (*Application Programming Interface*, Interface de Programação de Aplicações) e Banco de Dados.

O *Frontend*, criado em *React*, corresponde ao *site* utilizado pelo usuário. Nessa interface, o usuário insere o ID e o código de segurança do dispositivo, define o nome do sensor, o número de telefone para recebimento dos alertas via SMS, o intervalo entre mensagens e o modo de operação conforme o tamanho do ambiente.

Os dados inseridos são enviados à API, desenvolvida com o *framework* Elysia, que realiza a comunicação entre o site e o banco de dados. A API recebe e valida as informações enviadas, repassando-as ao Banco de Dados Turso, onde são armazenadas.

Após o registro, o sistema associa o dispositivo ao ID informado, aplicando as configurações definidas pelo usuário.

2.5. TESTES

- **Avaliação de resposta e recuperação do sensor após exposição a GLP.**

O sensor foi transferido para uma capela de exaustão ligada. Em seguida, a linha de gás foi aberta e o fluxo de gás canalizado pelo bico de Bunsen apagado, até que o sensor detectasse a presença de gás e emitisse um sinal sonoro. Posteriormente, a linha de gás foi desligada para avaliação da capacidade do sensor em eliminar as moléculas de GLP (butano e propano) adsorvidas no filamento de SnO_2 . Esse procedimento foi repetido duas vezes para garantir a reprodutibilidade dos resultados.

- **Avaliação de estabilidade em ambiente controlado.**

O sensor foi colocado em uma garrafa plástica de 5 litros vedada, acoplada a linha de gás. Em seguida, ligou-se a linha de gás por 5 segundos, e foram monitorados e anotados os resultados durante 10 minutos. O procedimento foi repetido três vezes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. MONTAGEM DO DISPOSITIVO

Nesta etapa do projeto, realizou-se a montagem do dispositivo conforme o planejado na metodologia. Todos os componentes eletrônicos foram fixados no microcontrolador modelo ESP8266 NodeMcu ESP-12 representado na Figura 7. Após a finalização da montagem, o sistema foi energizado e passou por uma verificação inicial para garantir o funcionamento de cada componente antes da calibração.

Figura 7: Dispositivo completo



3.2. CALIBRAÇÃO DO DISPOSITIVO

A calibração foi realizada com o objetivo de ajustar a resposta do sensor de modo que as leituras futuras pudessem ser confiáveis e representassem os valores reais da concentração do gás. O procedimento consistiu em expor o sensor a ar limpo e registrar a resistência ou tensão de saída correspondente conforme recomendado no datasheet do fabricante (HANWEI ELECTRONICS CO., LTD., s.d.). Esse processo permitiu determinar o valor de referência (R_0) do sensor, essencial para o cálculo da razão $\frac{R_s}{R_0}$. O valor de R_0 encontrado foi utilizado como valor fixo base no código para os testes seguintes. Com isso, não é necessário que o dispositivo passe por uma nova calibração sempre que for utilizado.

3.3. ELABORAÇÃO DO CÓDIGO BASE

O código base foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação compatível com o microcontrolador, que foi a linguagem C++. O programa foi estruturado para realizar a leitura contínua dos sensores, aplicar as equações de conversão e enviar os dados para o sistema de monitoramento. Também foi implementado um sistema de *webhook* que permite que um alerta via SMS seja enviado ao usuário. A cada detecção, os resultados eram exibidos no monitor serial, permitindo verificar o correto funcionamento das leituras como a requisição de envio de SMS pelo *webhook*. Além disso, foi utilizado um cálculo fornecido pela fabricante para que o dispositivo consiga determinar a concentração de GLP e a apresente no monitor serial. O código base apresentou resultados satisfatórios, não ocorrendo erros severos e cumprindo com tudo que foi esperado.

3.4. DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

Durante o desenvolvimento do dispositivo, foi possível construir uma solução funcional composta por três principais módulos: frontend, backend/API e firmware do dispositivo. Cada parte foi integrada de modo a permitir o registro de dispositivos, monitoramento em tempo real e envio de mensagens automáticas quando ocorre a detecção de gás.

No frontend, o sistema foi desenvolvido utilizando *Typescript* com *React*, associado ao ambiente de desenvolvimento Vite, que otimiza rotinas que o *React* não executa nativamente. Para a construção e gerenciamento dos formulários foi aplicado o *React Hook Form*, enquanto a interface foi estilizada com a biblioteca *Shadcn UI*. A validação de dados ocorreu por meio do *Zod*,

garantindo maior segurança e consistência na entrada das informações do usuário.

O *backend*, responsável por toda a lógica da API, mensageria e comunicação com o banco de dados, a tecnologia usada para o desenvolvimento da API foi *Elysia*, que é um *framework* em *typescript* baseado em *NodeJs*. Essa API é responsável por enviar mensagens ao usuário, registrar dados de sensores, armazenar e consultar dispositivos cadastrados.

Para o armazenamento dos dados, utilizou-se o banco Turso, uma *fork* do SQLite projetada para ambientes produtivos. O Turso apresentou excelente desempenho com latências muito baixas (aproximadamente 50 ms), devido ao fato de possuir servidores distribuídos em regiões próximas, como São Paulo. Isso permitiu respostas rápidas mesmo para operações mais complexas.

Um dos principais desafios encontrados foi a implementação de um sistema gratuito de envio de mensagens SMS. A maior parte dos serviços exigia número próprio acoplado ou limitação de criação de contas. Assim, optou-se por utilizar a API do Telegram, criando um *bot* capaz de enviar notificações automáticas sempre que há detecção de gás.

A implementação mostrou-se eficiente e possibilitou ao usuário escolher o modo de envio desejado, como o Telegram, WhatsApp, SMS ou combinações entre eles.

A interface completa do aplicativo está representada na Figura 8, onde é possível observar a organização dos campos de cadastro do dispositivo, as opções de configuração do sensor e as funcionalidades disponíveis para o usuário.

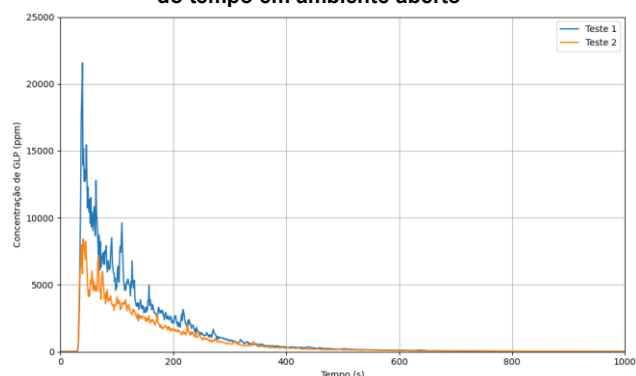
Figura 8: Interface inicial do aplicativo

3.5. TESTES

- **Avaliação de resposta e recuperação do sensor após exposição a GLP.**

Nesta etapa, o sensor MQ-2 foi submetido à exposição direta ao GLP por 10 minutos, com o objetivo de observar o tempo de resposta e o comportamento de recuperação do dispositivo representado na Figura 9.

Figura 9: Variação da resposta do sensor MQ-2 em função do tempo em ambiente aberto



Durante os testes, observou-se que o sensor apresentou mudança significativa logo após a exposição ao gás, aproximadamente entre 2 segundos e 12–15 segundos, intervalo durante o qual a concentração registrada aumentou de forma abrupta até atingir o pico, indicando boa sensibilidade à presença de GLP no ambiente. Notou-se também que a variabilidade observada no pico inicial de detecção foi influenciada pelo tempo em que a linha de gás permanecia ligada em cada repetição, o que alterava ligeiramente a quantidade inicial de gás liberado no sistema. Após o encerramento da exposição, o sinal começou a decair gradualmente, demonstrando o processo de recuperação.

O tempo médio de resposta foi considerado satisfatório, com resultados de leitura ocorrendo em cerca de 10 a 15 segundos após a detecção inicial. Já o tempo de recuperação mostrou-se mais lento, cerca de 350 a 400 segundos, o que é esperado para sensores baseados em óxidos metálicos, uma vez que o processo de reoxidação da superfície ativa após a exposição ao gás é relativamente lento (Korotcenkov, 2008). Mesmo assim, o comportamento apresentou boa reprodutibilidade, sem variações abruptas entre repetições.

Os resultados obtidos demonstram que o sensor MQ-2 é capaz de detectar variações na concentração de GLP de forma eficiente e consistente, sendo adequado para aplicações de monitoramento contínuo.

- **Avaliação de estabilidade em ambiente controlado.**

Os resultados apresentados nesta seção devem ser considerados preliminares, uma vez que não foram realizados testes com gases-padrão certificados ou materiais de referência. As análises mostram apenas o comportamento inicial do sensor em ambiente controlado, mas não permitem validar quantitativamente sua precisão.

Para avaliar a estabilidade do sensor ao longo do tempo, o dispositivo foi mantido em ambiente controlado, sem variações de temperatura ou fluxo de gás durante 600 segundos como representado na Figura 10. As leituras de concentração de GLP (em ppm) foram registradas continuamente, e os resultados são apresentados na Figura 11.

Figura 10: Ambiente de teste

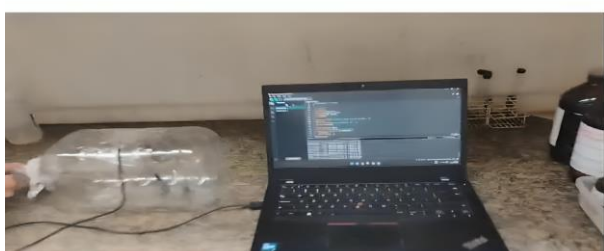
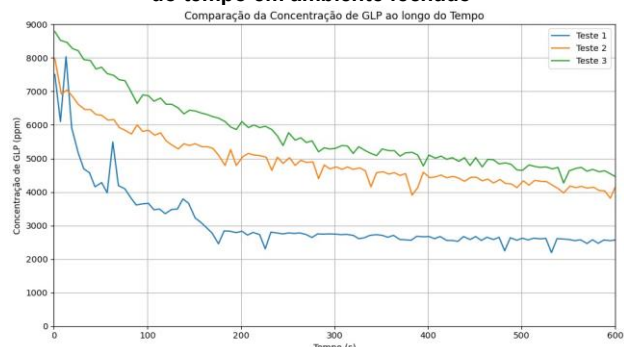


Figura 11: Variação da resposta do sensor MQ-2 em função do tempo em ambiente fechado



O gráfico mostra a comparação da concentração de GLP ao longo do tempo para três testes consecutivos. Observa-se que, em todos os casos, houve uma tendência inicial de queda acentuada nas leituras, seguida de uma estabilização gradual após cerca de 300 segundos. Esse comportamento é característico do processo de estabilização térmica e elétrica do sensor, que tende a ajustar-se até atingir um estado de equilíbrio após certo tempo de funcionamento (Korotcenkov, 2007).

Os valores finais indicam boa repetibilidade entre os testes, com variações menores entre as curvas à medida que o tempo avança. Isso demonstra que o sensor mantém estabilidade adequada após o período de aquecimento inicial,

sendo confiável para medições prolongadas em condições ambientais controladas.

Portanto, os resultados confirmam que o sistema apresentou bom desempenho em termos de estabilidade e consistência de leitura, parâmetros fundamentais para a aplicação prática do dispositivo em sistemas de monitoramento de gases inflamáveis.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das análises feitas, o dispositivo atende aos critérios de funcionalidade, confiabilidade, pois nos testes em que o dispositivo final foi submetido, ele não apresentou nenhuma falha, possuindo uma boa estabilidade, bom tempo de resposta, sendo que o *buzzer* aciona imediatamente após ultrapassado o limite de segurança, o mesmo vale para o *webhook*, *portanto*, todas as formas de alerta funcionaram da forma esperada.

Além disso, de acordo com a NBR IEC 60079-29-1:2007, os dispositivos de detecção de gases inflamáveis devem acionar o alarme em concentrações inferiores a 60% do Limite Inferior de Inflamabilidade (LII). Considerando que o LII do GLP se situa a aproximadamente entre 18.000 e 21.000 ppm, 60% desse valor corresponde a cerca de 10.800 a 12.600 ppm. Dessa forma, o sistema desenvolvido neste trabalho, cuja faixa de detecção e acionamento se encontra entre 300 e 10.000 ppm, opera abaixo do limite máximo permitido pela norma, atendendo aos requisitos de segurança estabelecidos para a detecção precoce de possíveis situações de risco.

O dispositivo também atende ao requisito de possuir um baixo custo de produção. Em média, os sensores para detecção de GLP ou metano possuem um custo elevado, custando em média R\$ 200,00 no mercado nacional, já o dispositivo desenvolvido, incluindo o microcontrolador, os *Jumpers*, o sensor MQ-2 e o *Buzzer*, custaram no total R\$ 45,00. Portanto, o dispositivo desenvolvido pode ser usado como uma alternativa promissora e econômica para sistemas de detecção de vazamento de GLP.

Melhorias futuras podem incluir: otimização do aplicativo, como histórico de detecções e leitura de ppm em tempo real dentro do aplicativo. Além disso, integração com redes de IoT e aprimoramentos no algoritmo de interpretação dos dados, pode ampliar ainda mais sua precisão e confiabilidade.

Além disso, o dispositivo deve ser testado com metano e comparado a um equipamento de referência. No entanto, não foi possível realizar esses testes devido à indisponibilidade de

infraestrutura adequada para armazenamento de gás metano no ambiente escolar, bem como as limitações financeiras que impediu a aquisição de um equipamento de referência. Ainda assim, tais testes são essenciais para validar quantitativamente a resposta do sensor MQ-2 e deverão ser incorporados em etapas futuras do projeto, permitindo avaliações com metano e comparações diretas entre as leituras do dispositivo e valores de concentração conhecidos.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer primeiramente a Deus, aos nossos familiares e amigos que nunca nos deixaram na mão nos momentos mais complicados do nosso trajeto.

A toda a infraestrutura e apoio fornecidos pela ETEC Irmã Agostina e seus funcionários.

Um agradecimento especial ao nosso orientador Prof. Dr. Fábio Rizzo de Aguiar por nos auxiliar durante todo o projeto.

As professoras Dra. Aline Alves Ramos e Esp. Thaís Taciano dos Santos, que nos ajudaram fornecendo seus conhecimentos sempre que precisamos durante todo o projeto.

Por fim, agradecemos a cada integrante do grupo, que, apesar das desconfianças, da falta de ânimo em alguns momentos, e de diversos contratemplos, nunca deixou de se dedicar com esforço e determinação. Juntos, superamos as dificuldades e mostramos que, com união e perseverança, é possível alcançar nossos objetivos

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 60079-29-1:2007** – Atmosferas explosivas – Parte 29-1: Detectores de gases inflamáveis – Requisitos de desempenho para detectores de ponto. Rio de Janeiro: ABNT, 2007
- COSTA, S. M. O.; MENEZES, J. E. S. A. **Química Orgânica I**. 2. ed. Fortaleza: EdUECE, 2015.
- DARWISHO, A; MOTAWAJ, F; FARHAT, H. **A Study to Measure Reduced Gases Concentration Using MQ-2 Sensor**. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies – Basic Sciences Series, v. 44, n. 1, p. 95–112, 2022.
- ENGINEERING TOOLBOX. **Methane – Thermophysical Properties**. Acesso em: 21 jun. 2025.
- ERKUS, B.; KARAMANGIL, M.; SÜRMEN, A. **Designing a Prototype LPG Injection Electronic Control Unit for a Carburetted Gasoline Engine**. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering. 2015.
- FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. **Gas Leak Detector Market Size, Share & Industry Analysis, By Product Type, By Installation, By Application, and Regional Forecast, 2025–2032**. [S.l.]: Fortune Business Insights, 2025.
- HANWEI ELECTRONICS CO., LTD. **MQ-2 Gas Sensor**.
- KOROTCENKOV, G. **Gas response control through structural and chemical modification of metal oxide films: state of the art and approaches**. Sensors and Actuators B: Chemical, v. 107, n. 1, p. 209–232, 2005.
- KOROTCENKOV, G. **Metal oxides for solid-state gas sensors: What determines our choice?** Materials Science and Engineering B, v. 139, n. 1, p. 1–23, 2007.
- KOROTCENKOV, G. **The role of morphology and crystallographic structure of metal oxides in response of conductometric-type gas sensors**. Materials Science and Engineering: R: Reports, v. 61, n. 1–6, p. 1–39, 2008.
- LEE, M. et al. **Development of a Real-Time Air Quality Monitoring System Using Gas Sensors and Machine Learning Algorithms**. Sensors, [S.l.], v. 19, n. 6, p. 1285, 2019.
- MOREIRA, A. M. **Segurança na utilização de Gás Liquefeito de Petróleo**. Universidade Federal do Espírito Santo, 2020.
- MORRIS, J. A. **Combustion properties of methane in air**. Combustion Science and Technology, v. 195, n. 5, p. 643-650, 2019.
- SMITH, H. G. **The flammability of liquefied petroleum gas (LPG) in enclosed environments**. Industrial Safety Journal, v. 45, n. 6, p. 115-120, 2018.
- TURNER, S. R. **An Introduction to Combustion: Concepts and Applications**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2012.
- VENKATAKRISHNARAJA, M; DHARSHINI, M. S. **Detection of Gas Leaks Using The MQ-2 Gas**

Sensor on the Autonomous Mobile Sensor.
ResearchGate, 2019.

WANG, C. et al. **Metal oxide gas sensors: sensitivity and influencing factors.** Sensors, Basel, v. 10, n. 3, p. 2088–2106, mar. 2010.

WELLER, Z. D. et al. **Environmental Injustices of Leaks from Urban Natural Gas Distribution Systems: Patterns among and within 13 U.S. Metro Areas.** Environmental Science & Technology, v. 56, n. 12, p. 8599–8609, 2022.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Código usado no protótipo

APÊNDICE A - Código usado no protótipo

Nota explicativa: o texto depois de // (aqui grafados em **laranja**) são explicações do código que não são interpretados pelo microcontrolador.

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>

// --- CONFIGURAÇÃO DE REDE ---
const char *ssid = "nome da rede";
const char *pass = "senha";
const char *server = "webhook-sensorgas-production.up.railway.app";
const int httpsPort = 443;
const char *path = "/webhook";

WiFiClientSecure client;

// --- CONFIGURAÇÃO DO SENSOR MQ-2 ---
const int MQ_PIN = A0;
```

```

float R0 = 10.0;
const float RO_CLEAN_AIR_FACTOR = 9.83;
float m = -0.45;
float b = 1.32;

// --- CONFIGURAÇÃO GERAL ---
const int buzzerPin = 5;
const int GAS_THRESHOLD_PPM = 100;
unsigned long lastSendTime = 0;
const unsigned long DELAY_BETWEEN_REQUESTS = 10 * 1000;

// --- CONTROLE ASSÍNCRONO ---
bool requestInProgress = false;
unsigned long requestStartTime = 0;
const unsigned long REQUEST_TIMEOUT = 8000; // ms

// --- FUNÇÕES PARA O SENSOR MQ-2 ---
float MQResistanceCalculation(int raw_adc) {
    return (float)(1023 - raw_adc) * 10.0 / raw_adc; // RL = 10k
}

float MQCalibration(int mq_pin) {
    float val = 0;
    for (int i = 0; i < 50; i++) {
        val += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin));
        delay(100);
    }
    val = val / 50.0;
    val = val / RO_CLEAN_AIR_FACTOR;
    return val;
}

float MQRead(int mq_pin) {
    float rs = 0;
    for (int i = 0; i < 5; i++) {
        rs += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin));
        delay(50);
    }
    return rs / 5.0;
}

float MQGetGasPercentage(float rs_ro_ratio) {
    float log_ppm = (log10(rs_ro_ratio) - b) / m;
    return pow(10, log_ppm);
}

// --- FUNÇÃO ASSÍNCRONA DE ENVIO HTTPS ---

```

```

void sendHTTPSRequestAsync() {
  if (requestInProgress) {
    // Se já está em andamento, verifica timeout
    if (millis() - requestStartTime > REQUEST_TIMEOUT) {
      Serial.println("Tempo limite atingido. Encerrando conexão HTTPS.");
      client.stop();
      requestInProgress = false;
    } else if (client.connected()) {
      while (client.available()) {
        String line = client.readStringUntil('\r');
        Serial.print(line);
      }
    } else {
      Serial.println("\nConexão HTTPS encerrada com sucesso.");
      client.stop();
      requestInProgress = false;
    }
    return;
  }

  // Iniciar nova conexão
  if (millis() - lastSendTime < DELAY_BETWEEN_REQUESTS) return;

  Serial.println("Iniciando envio HTTPS (assíncrono)...");
  if (!client.connect(server, httpsPort)) {
    Serial.println("Falha na conexão HTTPS.");
    client.stop();
    return;
  }

  String httpRequest = String("GET ") + path + " HTTP/1.1\r\n" +
    "Host: " + server + "\r\n" +
    "User-Agent: ESP8266/1.0\r\n" +
    "Connection: close\r\n\r\n";
  client.print(httpRequest);

  Serial.println("--- Requisição HTTPS enviada ---");
  requestInProgress = true;
  requestStartTime = millis();
  lastSendTime = millis();
}

// --- SETUP ---
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(buzzerPin, OUTPUT);
  pinMode(MQ_PIN, INPUT);
}

```

```

delay(2000);

Serial.println("Calibrando o sensor MQ-2 em ar limpo...");
R0 = MQCalibration(MQ_PIN);
Serial.print("Calibração concluída. R0 = ");
Serial.println(R0);

WiFi.begin(ssid, pass);
Serial.print("Conectando à rede Wi-Fi");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("\nWiFi conectado!");
client.setInsecure();
}

// --- LOOP ---
void loop() {
    float rs = MQRead(MQ_PIN);
    float ratio = rs / R0;
    float ppmGLP = MQGetGasPercentage(ratio);

    Serial.print("MQ-2 Rs/R0=");
    Serial.print(ratio);
    Serial.print(" | GLP=");
    Serial.print(ppmGLP);
    Serial.println(" ppm");

    if (ppmGLP > GAS_THRESHOLD_PPM) {
        // Beep contínuo sem bloqueio
        static unsigned long lastBeepTime = 0;
        static bool buzzerState = false;
        if (millis() - lastBeepTime > 500) {
            buzzerState = !buzzerState;
            digitalWrite(buzzerPin, buzzerState ? HIGH : LOW);
            lastBeepTime = millis();
        }

        // Envia requisição se necessário
        sendHTTPSRequestAsync();
    } else {
        digitalWrite(buzzerPin, LOW);
        requestInProgress = false;
        if (client.connected()) client.stop();
    }
}

```



```
    delay(50); // leitura rápida e não bloqueante  
}
```