

P2130-Desenvolvimento de soluções de baixo custo para caracterização de IAQ

Abstract—Due to being considered as one of the main environmental and public health problems, indoor air quality (iAQ) is currently an increasingly debated topic. To this extent and due to the increase in air pollution it is essential to be able to analyze the VOC (volatile organic compounds). For this analysis a cost-reduced measurement system will be used. When the limitations of sensor technologies are overcome low-cost sensors have a great potential to allow monitoring of air quality.

Index Terms—IAQ, Sensors, Calibration, VOC (Volatile Organic Compounds), Arduino.

I. INTRODUÇÃO

O Fenómeno de poluição atmosférica consiste no malefício de um dado meio, alterado pela introdução de substâncias naturais ou antrópicas que o alteram.[1] Isto é, considera-se que o ar de um local específico é poluído quando lhe é introduzida uma série de substâncias distintas da sua própria natureza que tornam nocivos ao meio e àqueles que o habitam. Nos últimos anos diversas organizações e entidades têm seguido atentamente a temática dos desafios que dizem respeito à qualidade do ar.[2]

Em 2016 a Organização das Nações Unidas (ONU) elaborou um relatório denominado por Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease, no qual concluiu-se que cerca de 92 % da população global que vivia em áreas onde os níveis de qualidade do ar ultrapassavam os limites mínimos estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde.[2]

Esta exposição atmosférica tem consequências graves na saúde pública no caso de longa exposição já que provoca uma série de doenças físicas. De acordo com a ONU, mais de 1 trilião de dólares é gasto anualmente no tratamento destas doenças. Além de condições respiratórias, a poluição do ar também aumenta o risco de diabetes, demências e problemas cognitivos, neste sentido, a legislação da União Europeia estabelece valores limite e limiares de informação e alerta para os níveis de qualidade do ar a curto prazo (por hora/diário) e a longo prazo (anuais) relativamente aos poluentes relevantes. [3]

Desde casa, ao trabalho a locais de lazer e desporto, é um facto que passamos a maior parte do tempo de vida no interior de edifícios. Surge a consciência generalizada para a importância da qualidade do ar interior e o seu impacto no nosso quotidiano.

No presente trabalho pretende-se desenvolver um sistema de medição de concentração de gás de baixo custo. O sistema será desenvolvido a recorrendo a dispositivos Arduino Uno e Arduino Mega, que irão caracterizar CO e CO₂ assim como

gases do tipo VOC (Volatile Organic Compounds) através do uso de um conjunto de sensores da família MQ (MQ-2, MQ-3, MQ-4, MQ-5, MQ-6, MQ-7, MQ-8, MQ-9 e o MQ-135) e o sensor de Temperatura e Humidade DTH22.

A. IAQ - (Indoor Air Quality)

O conceito de qualidade do ar interior compreende as características do ar no interior dos edifícios e nos últimos anos foi contido numa nova expressão: Indoor Environmental Quality (IEQ), traduzida como Qualidade do Ambiente Interior. A qualidade do ar possui um impacto na qualidade de vida das pessoas, nomeadamente na área da saúde, conforto e produtividade, e depende de parâmetros: biológicos; (como os fungos e as bactérias); químicos (o CO₂ e aerodispersóides) e físicos (temperatura, humidade e velocidade do ar).[4] A qualidade do ar de Interiores (IAQ) tornou-se um tema de pesquisa importante na área de saúde pública nos últimos anos.[5] De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), a poluição do ar interior é considerada como um dos principais problemas ambientais e de saúde pública. Se pensarmos que a maior parte das pessoas que acabam por passar mais tempo em espaços interiores (idosos, crianças e doentes) são exatamente os mais frágeis é clara a gravidade da questão.[2] De modo que sejam criadas condições de melhoria da qualidade do ar de interiores é necessário que primeiro se caracterize as causas da deterioração do ar através de uma análise aos compostos químicos, físicos e biológicos e dos seus níveis de concentração. Nesse sentido, no nosso país, e de acordo com a legislação em vigor (Decreto-Lei nº 79/2006), os edifícios de serviços deverão fazer auditorias à qualidade do ar interior.[6] O IAQ foi amplamente utilizado desde o início da década de 80 pela United States Environmental Protection Agency - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) e consiste numa ferramenta que possibilita a classificação do estado da qualidade do ar permitindo o acesso do público à informação ao mesmo tempo que dá resposta às obrigações legais. Este índice permite a classificação da qualidade do ar a partir das concentrações dos poluentes registadas num determinado período, em diferentes níveis de qualidade, que variam entre boa e má e que retratam quais os riscos e efeitos adversos à saúde que a população está exposta.[7] O IAQ contém o valor numérico, que é analisado e permite interpretar que quanto maior for o valor, maior será a poluição do ar, e consequentemente aumentam os riscos associados a problemas de saúde. O cálculo é baseado nos valores de concentração de cada parâmetro regulamentado pela legislação ambiental do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nomeadamente: no fumo, nas partículas totais em

suspensão PTS; nas partículas inaláveis (MP10 e MP2,5), no dióxido de enxofre (SO₂), no monóxido de carbono (CO), no ozono (O₃), no dióxido de nitrogénio (NO₂) e no chumbo (Pb).[8]

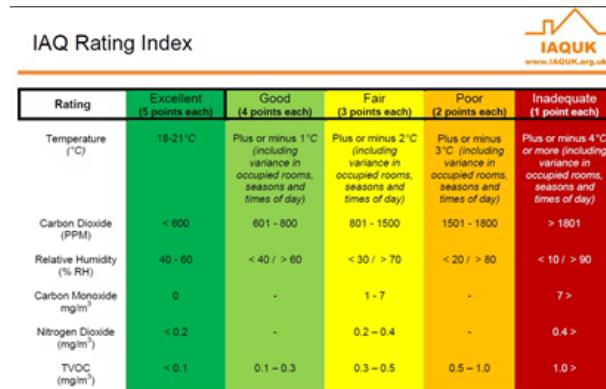


Fig. 1: IAQ Rating Index

1) Sensores: O aumento da consciencialização relativamente aos problemas de qualidade do ar e o desenvolvimento de novas tecnologias permitiu desenvolver aplicações complementares como os sensores de baixo custo, que possuem potencial para a monitorização da qualidade do ar. Estes sensores possuem benefícios quanto a portabilidade, facilidade de automação, possibilidade de monitorização e baixo custo. Contudo, podem apresentar limitações como, por exemplo, a falta de seletividade e baixa detetabilidade. Podemos assim encarar a utilização de redes compostas por micro sensores como uma ferramenta inovadora para aplicações futuras na monitorização da qualidade do ar.[9]

2) Sensores de Gás (MQ2,4,5,6,7,8,9 e 135): Os sensores de gases são instrumentos que possibilitam a determinação direta de inúmeros compostos gasosos, nomeadamente o formaldeído no ar. Os sensores expressam benefícios quanto a portabilidade, facilidade de automação, possibilidade de miniaturização e baixo custo.

O Sensor de Gás MQ-2 permite detetar concentrações de gases combustíveis e fumos no ar. Quando a concentração de gases fica acima do nível ajustado pelo potenciômetro, a saída digital D0 fica em estado alto, se abaixo do nível, fica em estado baixo.[10]

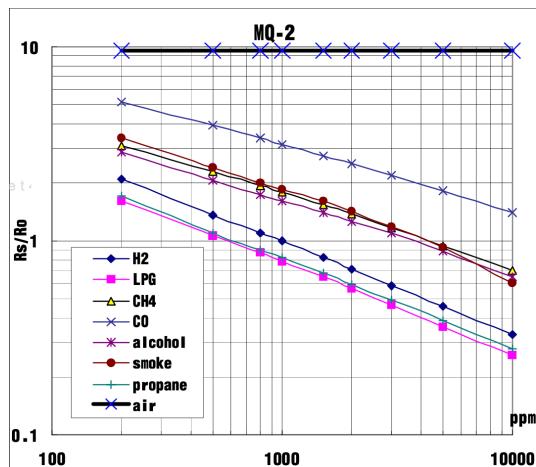


Fig. 2: Características típicas de sensibilidade do sensor MQ-2

O Sensor de Gás MQ-4 permite ser usado em sistemas de proteção contra incêndios, para detetar hidrogénio, isobutano, GPL, metano, monóxido de carbono, álcool, fumo, propano e outros gases nocivos.[11]

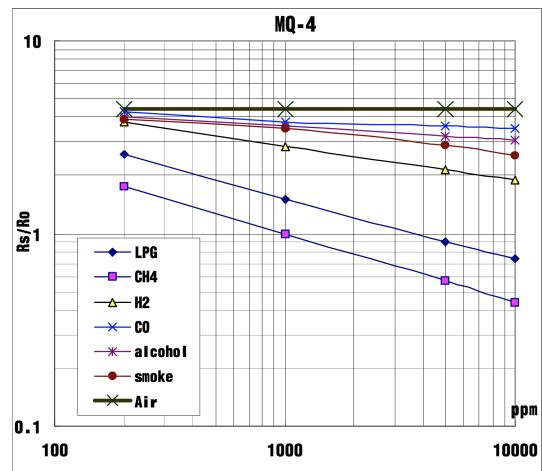


Fig. 3: Características típicas de sensibilidade do sensor MQ-4

O Sensor de Gás MQ-6 permite a detetar GLP, isobutano, propano, GNL, evita o ruído do álcool e fumos (de cozinha e tabaco). Este sensor pode ser interligado com microcontroladores como Arduino e PIC ou placas como Raspberry Pi para criar sistemas de alarme e monitorização de gás, acionando portas do microcontrolador para ações como acionamento de sirenes, lâmpadas, etc.[12]

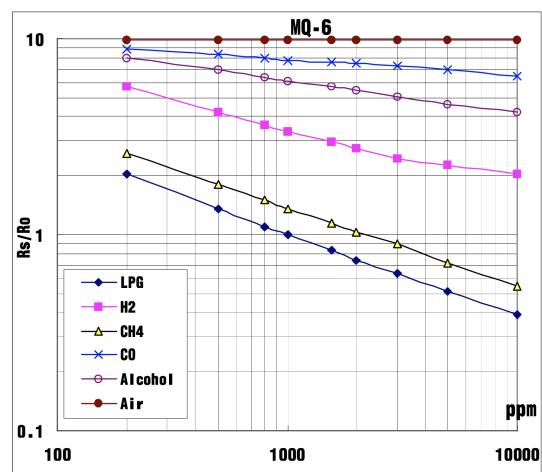


Fig. 4: Características típicas de sensibilidade do sensor MQ-6

O Sensor semicondutor MQ-7 para gás combustível faz a deteção pelo método de ciclo de temperatura e deteta CO quando baixa temperatura (aquecido por 1,5V). A condutividade dos sensores é maior com o aumento da concentração de gás. Quando em alta temperatura (aquecido por 5,0V), limpa os outros gases adsorvidos em baixa temperatura.[13]

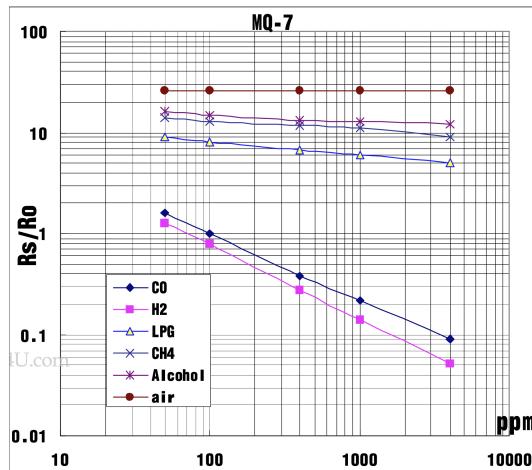


Fig. 5: Características típicas de sensibilidade do sensor MQ-7

O Sensor de Gás MQ-8 Hidrogênio é utilizado para deteção de hidrogênio (alta sensibilidade) e outros gases como gás de cozinha, álcool e fumo (baixa sensibilidade).[14]

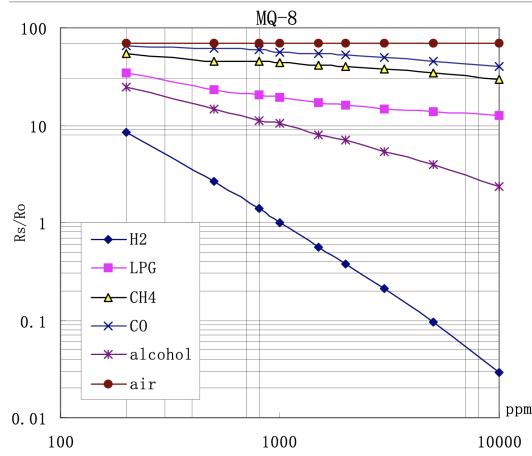


Fig. 6: Características típicas de sensibilidade do sensor MQ-8

O Sensor de gás MQ-9 permite a deteção de gases como monóxido de carbono (CO), metano e propano. Este sensor pode ser interligado com microcontroladores como o Arduino e PIC ou placas como Raspberry Pi.[15]

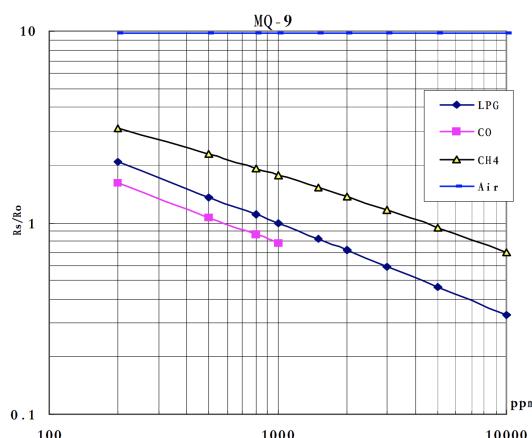


Fig. 7: Características típicas de sensibilidade do sensor MQ-9

O Sensor de Gás MQ-135 é um pequeno dispositivo que

é útil para a deteção de fugas de gás. Possui elevada sensibilidade para a deteção de Amônia, Óxido Nítrico, Álcool, Benzeno, Dióxido de Carbono e Fumo, em conjunto com plataformas de prototipagem, como por exemplo, o Arduino ou o Raspberry PI.[16]

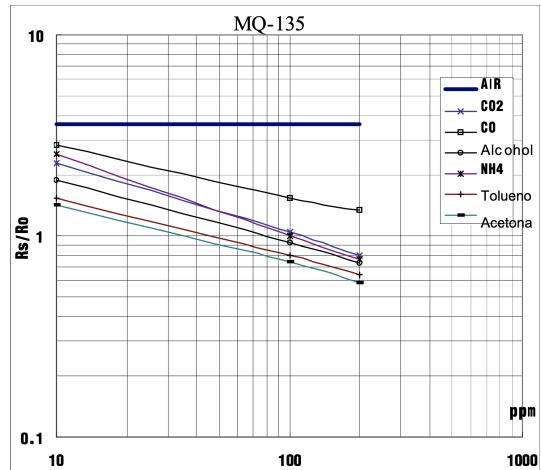


Fig. 8: Características típicas de sensibilidade do sensor MQ-135

3) Calibração dos sensores e cálculo de concentração de gases em PPM: No momento de calibração dos sensores deve-se ter em consideração o local. Idealmente devemos estar num ambiente “clean air”.

A calibração em “clean air” foi feita através das seguintes expressões matemáticas:

$$R_s = \frac{V_{cc} \times R_L}{V_{R_L}} - R_L \quad (1)$$

$$R_0 = \frac{R_s}{air} \quad (2)$$

- V_{cc} → Tensão aos terminais de alimentação do sensor
- V_{R_L} → Tensão no pin analógico do sensor
- air → Valor de referência fornecido na datasheet (air)

Com a necessidade de calibração em ambientes não “clean air”, está em desenvolvimento um outro método de calibração, esse método é baseado na informação obtida de outros sensores. Este método ainda está em fase de aperfeiçoamento, ao qual será objeto de futura publicação.

A concentração de gás em PPM é obtida através da seguinte função de transferência:

$$Gas_{ppm} = 10^{\frac{\log(\frac{R_s}{R_0}) - b}{m}} \quad (3)$$

4) Sensor de Temperatura e Humidade (DHT22): O Sensor de Humidade Temperatura DHT22 permite detetar a humidade e a temperatura e envia essas informações para a placa microcontroladora, que deve estar programada para realizar alguma ação quando atingida determinada humidade ou temperatura. Mede a temperatura nas escalas de -40 a +80° graus Celsius e a humidade do ar nas faixas de 0 a 100 com uma precisão que varia de 2 a 5 . Com programação simples, o sensor pode ser utilizado com diversas tecnologias de IoT (Internet of Things) como Raspberry, Arduino, BeagleBone Black e

outros Microcontroladores, possuindo apenas 1 pino com saída digital. Devido ao seu tamanho reduzido e ao seu baixo consumo e longa distância de transmissão (20m) é adequado para diversas ocasiões de aplicação difícil.[17]

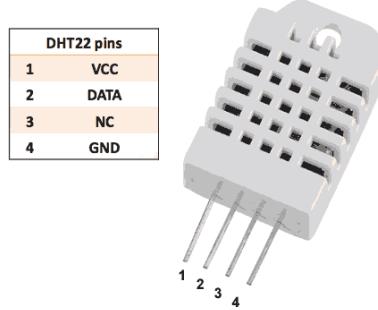


Fig. 9: Sensor DHT22

II. PLATAFORMA DE IOT (INTERNET OF THINGS)

Após a monitorização da qualidade do ar é necessária a existência de um sistema interativo que adquira os dados medidos e permita a comparação com valores limite admissíveis de forma a gerar instruções capazes de regular e controlar a situação. O IoT (Internet of Things) assume uma importância fulcral ao ser uma extensão da internet que possibilita que objetos do dia-a-dia que tenham capacidade computacional e de comunicação se conectem à Internet e possam controlar remotamente os objetos de forma a transformá-los em fornecedores de serviços.[18] Kevin Ashton, pesquisador britânico do Massachusetts Institute of Technology (MIT), é considerado o primeiro especialista a mencionar o termo Internet das Coisas em 1999. Segundo Ashton, o termo IoT baseia-se na ideia de que não seja possível apenas utilizar um computador, mas onde o próprio “computador se use” de forma independente. Desta forma as “coisas” estão cada vez mais conectadas entre si e em rede, de modo inteligente, e passam a não somente “sentir” o mundo ao redor, mas também a interagir com ele.[19]

No âmbito deste trabalho propõe-se um cluster de Sensores de Gás de Monitorização da Qualidade que são usados para medir a concentração de poluentes atmosféricos no ar. Utilizaremos o Arduino UNO e o Mega, que são placas de desenvolvimento de código aberto. O Sensor de Gás é usado para coletar medições de concentração de gás. Esses dados do sensor serão capturados e enviados para o Arduino UNO para aquisição de dados baseada em IoT (Internet of Things).

1) *Arduino UNO*: Arduino Uno consiste numa placa de desenvolvimento baseada no microcontrolador Atmel ATmega328P com velocidade de 16 MHz, memória flash de 32 kb e memória de acesso aleatório estático (SRAM) de 2 kb. O microcontrolador ATmega328P da placa vem pré-programado com um bootloader que permite o upload de novo código sem um programador de hardware externo. A placa comporta 14 pinos de entrada/saída digital (IO), dos quais seis, (pinos 3, 5, 6, 9, 10 e 11), podem ser utilizados como saídas de modulação por largura de pulso (PWM). Estes pinos digitais operam a 5 V, podem fornecer ou receber 20 mA cada e possuem um resistor interno de pull-up de 20–50 k. A seguir, seis pinos analógicos permitem que a placa leia as entradas dos sensores analógicos e fornecem 10 bits de resolução, ou 1.024 valores

diferentes e medem até 5 V. Com tensão de operação de 5 V, pode ser alimentado diretamente pela porta USB-B, uma fonte de alimentação externa, na forma de 7 – Fonte de alimentação de 12 V CC na tomada de alimentação CC ou conectando um fio de bateria aos pinos VIN e GND. Em termos de protocolos de comunicação, o Arduino Uno comunica via protocolo serial Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) aproveitando o pino digital 0 como receptor de dados (RX) e o pino digital 1 como transmissor de dados (TX). A linguagem de programação do Arduino pode ser dividida em três partes principais: estruturas, valores (variáveis e constantes) e funções. No que diz respeito aos elementos da linguagem Arduino (C++), esta consiste numa linguagem de programação open source orientada a objetos, empregue tanto em linguagem de máquina como para softwares empresariais, acadêmicos, jogos, edição de imagens, fotos e vídeos. Ao facilitar a criação de programas extensos com menos erros, possibilita que os sistemas desenvolvidos sejam de alto desempenho, estáveis e seguros.[20]e[21]

III. DESENVOLVIMENTO

A. Estrutura do projeto

Podemos identificar quatro componentes distintos na estrutura do projeto: o cluster de sensores, o grupo Arduino, a unidade computacional e o sistema “cloud”.

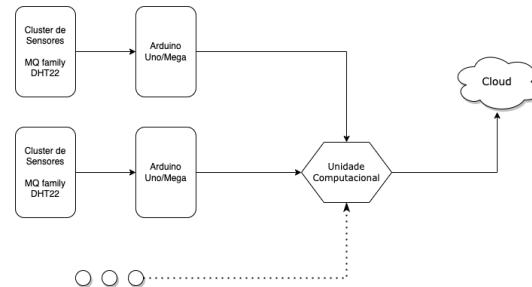


Fig. 10: Esquema do projeto

O cluster de sensores consiste num grupo de sensores formado por um ou mais sensores de gás da família MQ e um sensor DHT22, garantindo que foram compridas todas as condições descritas nas respectivas datasheet para o seu bom funcionamento. O grupo Arduino consiste no Arduino Uno ou Arduino Mega e é responsável por caracterizar gases em ppm através dos valores de tensão analógicos obtidos através dos sensores. Este módulo é também responsável pela calibração dos sensores e pela gestão do consumo energético, garantindo a possibilidade de colocar os sensores em modo stand by quando estes não estão a realizar medições. A unidade computacional tem como principal objetivo de garantir o processamento de todos os dados gerados. Para tal, foi desenvolvido uma solução que permite detetar automaticamente quando um dispositivo Arduino se conecta a si, armazenando desde logo a informação recolhida, sendo essa conexão efetuada pela porta serie. Esta solução permite a visualização em tempo real dos dados obtidos e garante o armazenamento local e envio de dados para o sistema “cloud”. Inicialmente o sistema “cloud” é responsável por processar e armazenar os dados e garantir

a segurança e disponibilidade dos mesmos. Posteriormente é responsável por desenvolver ferramentas “data science”.

B. Implementação

A implementação prática do projeto ocorreu em várias etapas. Toda a documentação relativa ao projeto encontra-se publicada na plataforma GitHub no repositório “code36u4r60/sensors-mq-project” [<https://github.com/code36u4r60/sensors-mq-project>].

1) Primeira etapa: Na primeira etapa, pretendeu-se desenvolver uma biblioteca em c++ com objetivo de facilitar a obtenção das concentrações dos vários gases dos vários sensores. Para tal, realizou-se a análise das datasheet dos sensores e foram consultados artigos anteriormente publicados. O código pode ser consultado na pasta src do repositório “code36u4r60/sensors-mq-project” plataforma GitHub. Essa biblioteca foi projetada para ser usada em dispositivos Arduino. Para o desenvolvimento da biblioteca, foi usado, o IDE CLion da JetBrains [<https://www.jetbrains.com/clion/>] e a plataforma de desenvolvimento foi a Platformio [<https://platformio.org/>]. Para obtenção dos pontos do gráfico que descrevem as características de sensibilidade dos sensores foi usado o Web Plot Digitizer [<https://automeris.io/WebPlotDigitizer/>].

```

#include <Arduino.h>
#include "MQ2.h"

MQ2 mq2(A0);

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    while (!Serial) { ; }

    if(!mq2.isStateCalibrate()) mq2.calibrate();

    bool isOp = mq2.isOperational();
    if(isOp) Serial.println("The sensor mq2 is operational...");
    else{
        Serial.println("The mq2 sensor is not operational. See the problem please...");
        delay(200);
        exit(EXIT_FAILURE);
    }
}

void loop() {
    Serial.println(mq2.toString());
    delay(2000);
}

```

Fig. 11: Código exemplo para leitura de gases do MQ2

2) Segunda etapa: Na segunda etapa, pretendeu-se projetar uma estrutura que garanta um maior controlo dos gases durante as leituras. Para desenhar a estrutura foi usado o software de modelação Sketchup [<https://www.sketchup.com/>]

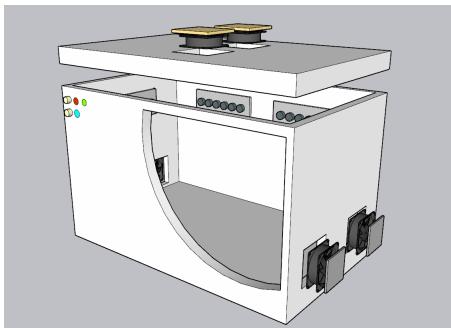


Fig. 12: Desenho do protótipo

Esta estrutura foi projetada com: quatros sistemas de ventilação com filtro de partículas responsáveis pela entrada do ar filtrado; dois sistemas de ventilação com membrana responsáveis por expelir ar contaminado garantindo que o mesmo não sai no decorrer das leituras. dois sistemas de ventilação responsáveis por uniformizar o ar dentro caixa dois orifícios na parte frontal para introdução das mãos a fim de poder manipular as matérias em estudo dentro da caixa. Sistema de leds que informam se estamos perante ar poluído ou ar limpo Essa estrutura ainda se encontra em fase de desenvolvimento. Utilizamos a estrutura representada na figura seguinte



Fig. 13: Estrutura usada para realizar os testes

3) Terceira etapa: Sendo que os sensores requerem o pré-aquecimento de 24h ou 48h para leituras mais precisas, foi criada uma estrutura de pré-aquecimento. Os sensores são colocados nessa estrutura (não estando a realizar leituras), de forma que na próxima utilização o aquecimento está garantido.

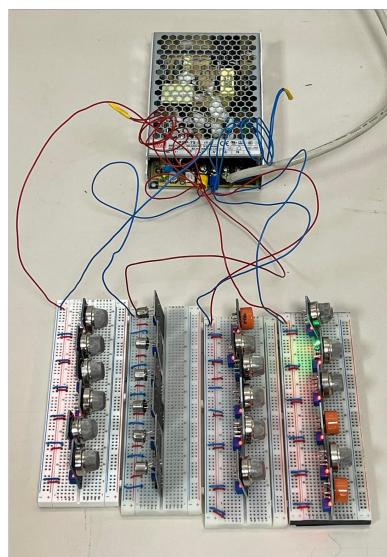


Fig. 14: Estrutura de pré-aquecimento dos sensores

4) *Quarta etapa:* Realizaram-se alguns testes, antes de validar o sistema, usando a caixa e a biblioteca c++. Estes testes consistiram em realizar leituras com a sala vazia e os sensores fora da caixa durante um longo período de tempo. Após o registo foram utilizados os valores de tensão mínimos para calibrar através das equações [1] e [2] cada sensor respetivamente. Recorrendo ao Jupyter Notebook e algumas bibliotecas python foram feitas análises para melhor entender o comportamento dos sensores. Podem ser consultados os ficheiros .ipynb no repositório “code36u4r60/sensors-mq-project” na plataforma GitHub dentro da pasta Jupyter Notebook.

5) *Quinta etapa:* No decorrer desta etapa, pretendeu-se validar a biblioteca e a estrutura anteriormente criada. Os códigos utilizados podem ser consultados no repositório “code36u4r60/sensors-mq-project” na plataforma GitHub dentro da pasta “examples”.

6) *Sexta etapa:* Validado todo o sistema de testes iniciou-se a caracterização de gases. Nesta fase foram escolhidos 3 tipos de sensores da família MQ (MQ2, MQ7 e MQ9), sendo este de vários fabricantes. Os produtos usados na realização dos testes foram: Acetona, maçã podre, borra de café, papel queimado, desoxidante de cobre e alho. Os resultados dos testes podem consultar no repositório do projeto “code36u4r60/sensors-mq-project” na plataforma GitHub nas pastas Jupyter Notebook/reads e Excel. As realizações dos testes decorreram em 5 fases, caixa vazia aberta, caixa vazia fechada, caixa fechada com o produto dentro, caixa fechada já sem o produto, caixa vazia aberta, tendo estas fases a duração aproximada de um minuto e meio cada.

C. Apresentação de Resultados das Leituras

De seguida será apresentado como exemplo de leituras realizadas através de dois dos sensores utilizados. Os valores de concentração obtidos no primeiro teste.

1) Acetona:

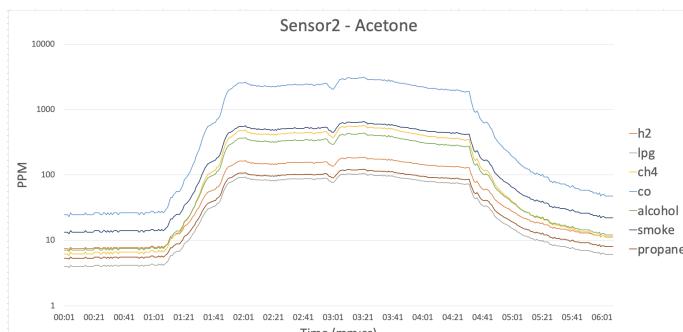


Fig. 15: Concentração de gases em ppm no teste com acetona - sensor2

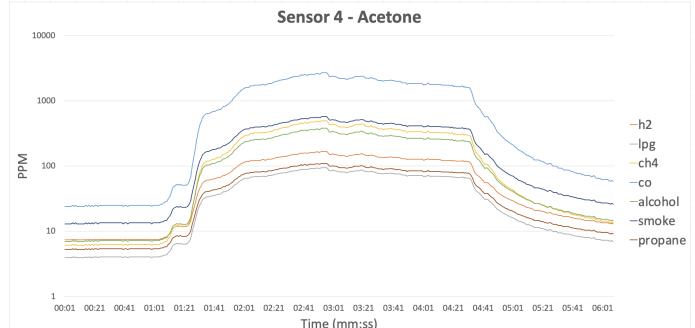


Fig. 16: Concentração de gases em ppm no teste com acetona - sensor4

2) Papel queimado:

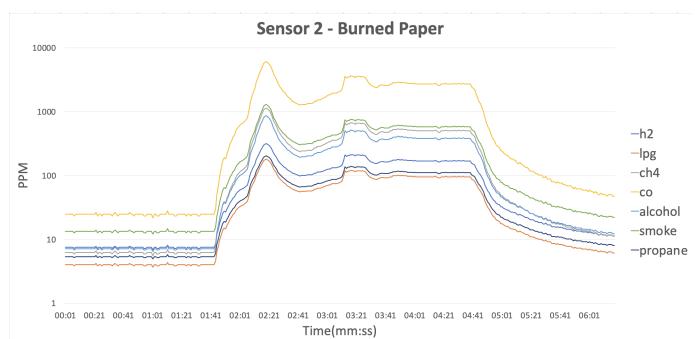


Fig. 17: Concentração de gases em ppm no teste com papel queimado - sensor2

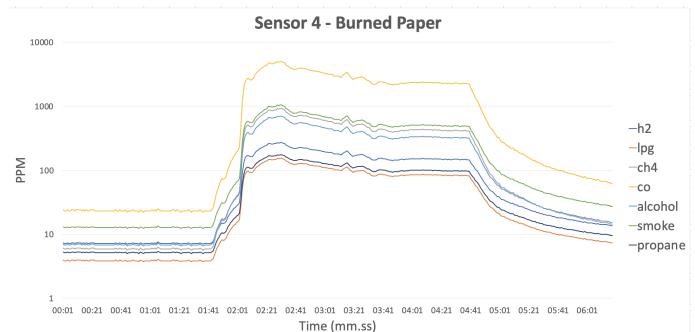


Fig. 18: Concentração de gases em ppm no teste com papel queimado - sensor4

3) Borra de café:

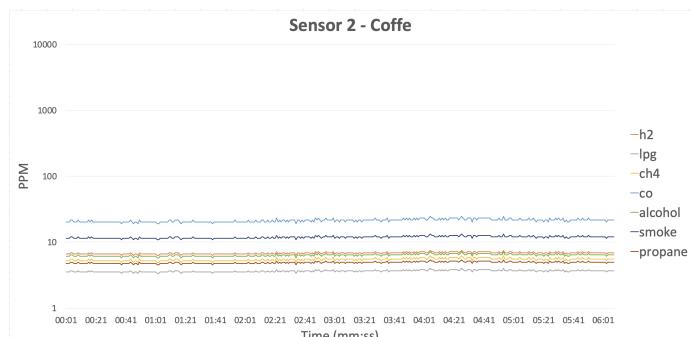


Fig. 19: Concentração de gases em ppm no teste com café - sensor2

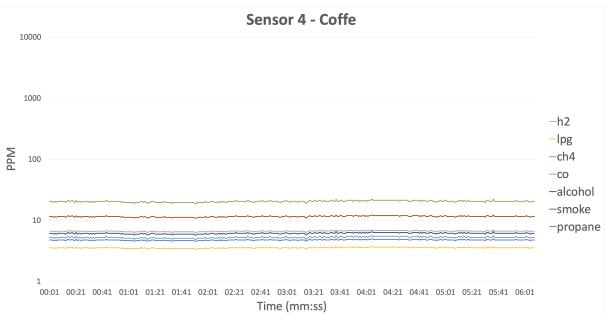


Fig. 20: Concentração de gases em ppm no teste com café - sensor4

4) Desoxidante:

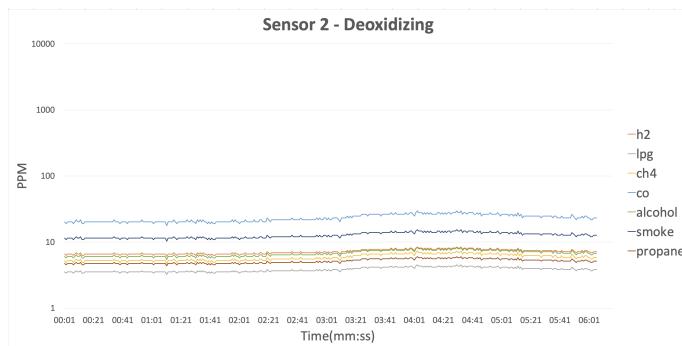


Fig. 21: Concentração de gases em ppm no teste com desoxidante - sensor2

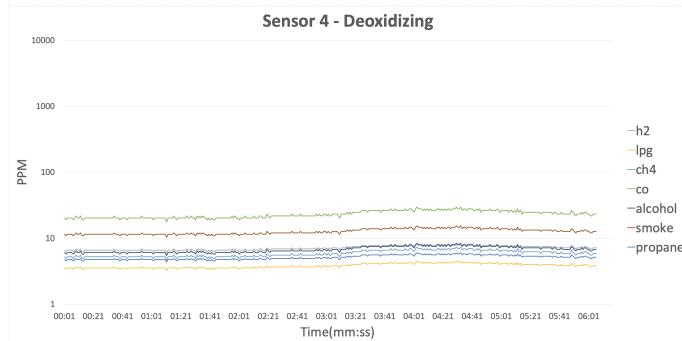


Fig. 22: Concentração de gases em ppm no teste com desoxidante - sensor4

5) Alho:

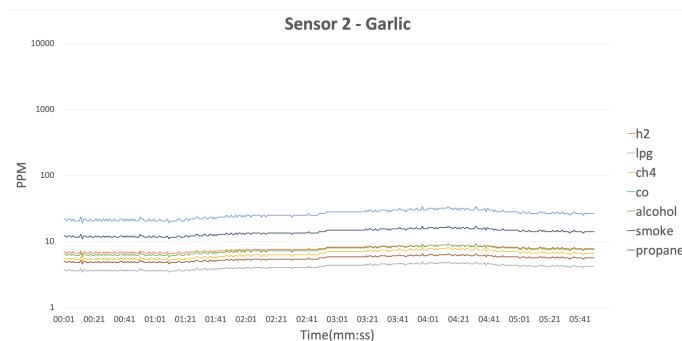


Fig. 23: Concentração de gases em ppm no teste com alho - sensor2

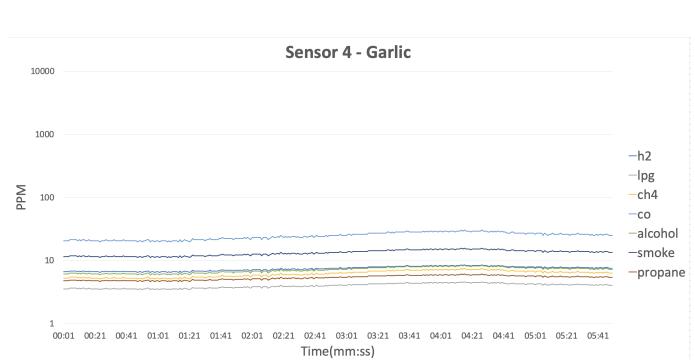


Fig. 24: Concentração de gases em ppm no teste com alho - sensor4

6) Maça podre:

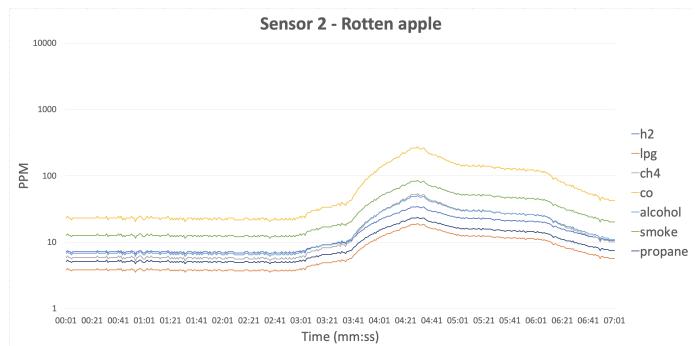


Fig. 25: Concentração de gases em ppm no teste com maçã podre - sensor2

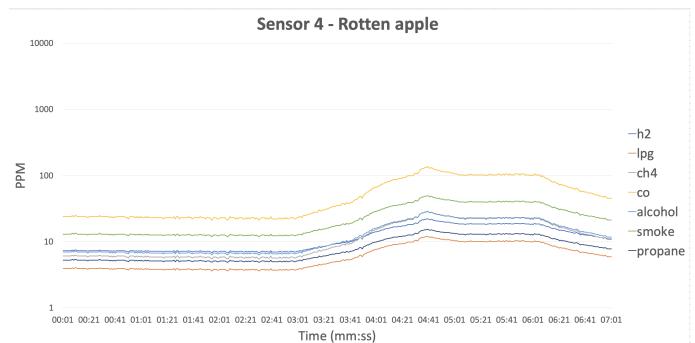


Fig. 26: Concentração de gases em ppm no teste com maçã podre - sensor4

IV. CONCLUSÕES

O presente estudo propunha a criação de uma biblioteca Arduino em C++ para uso geral de sensores de gás, prototipagem de dispositivos para realização de testes e caracterização de gases. Conclui-se que a biblioteca desenvolvida cumpre o objetivo de calibração, facilidade de leitura de concentração dos vários gases e a poupança de energia, na medida em que possibilita a colocação dos mesmos em consumo energético reduzido. Ainda assim é essencial a realização de mais testes, a correção de eventuais erros e a criação de uma documentação que descreva o seu funcionamento. Em relação à prototipagem de dispositivos para a realização dos testes, não foi possível construir a estrutura pretendida inicialmente, no

entanto, a caixa utilizada no projeto aponta no sentido que é possível criar um dispositivo que permita o controlo dos gases durante o período de teste. Relativamente à caracterização de gases, verificou-se que os sensores reagem à presença de determinados gases. Desta forma é fundamental realizar mais testes para validar os valores obtidos bem como concluir o método de calibração em desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade de Trás-os Montes e Alto Douro, mais precisamente à Escola de Ciencias e Tecnologias por todo o material disponibilizado para a implementação deste projeto, um agradecimento especial ao meu Orientador o Prof. , e ao meu coorientador o Prof. pela paciência e dedicação no desenvolvimento deste projeto e também agradecer ao Carlos Delgado por todo o apoio durante o projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <https://www.eea.europa.eu/pt/themes/air/intro> .,consultado a 05/06/2022.
- [2] <https://news.un.org/pt/story/2021/09/176209> .,consultado a 06/06/2022.
- [3] Air Pollution Detector using IOT - International Journal for Research in Applied Science Engineering Technology (IJRASET) ISSN: 2321-9653; IC Value: 45.98; SJ Impact Factor: 7.538 Volume 10 Issue V May 2022
- [4] Heinzerling, D.; Schiavon, S.; Webster, T.; Arens, E. Indoor Environmental Quality Assessment Models: A Literature Review and a Proposed Weighting and Classification Scheme. *Building and Environment*, 70 p. 210-222, 2013. .
- [5] Brickus, L. S. R.; Neto, F. R. A. A qualidade do ar de interiores e a Química. *Química Nova*, v. 22 (1), p. 65 – 74. 1999;
- [6] <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/79-2006-672459> .,consultado a 12/06/2022.
- [7] <https://qualar.apambiente.pt/node/metodo-calcudo-indices>. ,consultado a 08/06/2022.
- [8] <https://rea.apambiente.pt/content/indice-de-qualidade-do-ar>. ,consultado a 07/06/2022.
- [9] Lowinsohn, D.; Bertotti, M. Sensores eletroquímicos: considerações sobre marques, G. Ambient Assisted Living and Internet of Things. In Harnessing the Internet of Everything (IoE) for Accelerated Innovation Opportunities; IGI Global: Hershey, PA, USA, 2019; pp. 100–115..
- [10] <https://www.mouser.com/datasheet/2/321-605-00008-MQ-2-Datasheet-370464.pdf>. ,consultado a 08/06/2022.
- [11] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf>. ,consultado a 08/06/2022.
- [12] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-6.pdf>. ,consultado a 08/06/2022.
- [13] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>. ,consultado a 08/06/2022.
- [14] <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-8.pdf>. ,consultado a 08/06/2022.
- [15] https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-9_Hanwei.pdf. ,consultado a 08/06/2022.
- [16] https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-135_Hanwei.pdf. ,consultado a 08/06/2022.
- [17] <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>. ,consultado a 08/06/2022.
- [18] The Internet of Mechanical Things: The IoT Framework for Mechanical Engineers (pp.137-176)Edition: 1st EditionChapter: 4Publisher: Routledge (Taylor Francis) .
- [19] <http://finep.gov.br/noticias/todas-noticias/4446-kevin-ashton-entrevista-exclusiva-com-o-criador-do-termo\internet-das-coisas> ,consultado a 10/06/2022
- [20] Abbas, F. N., Saadoon, M. I. M., Abdalrdha, Z. K., Abud, E. N. (2020). Capable of gas sensor MQ-135 to monitor the air quality with Arduino Uno. *Int J Eng Res Technol*, 13(10), 2955-2959..
- [21] <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf> , consultado a 09/06/2022.