

P2104-Characterização do índice de IAQ (Indoor Air Quality) baseado em Gases Voláteis

Carlos Teixeira (64388), Pedro Mestre (UTAD/ECT), Carlos Serôdio (UTAD/ECT)

Abstract—The Air Quality Index characterization is based on study and evaluates the parameters that allow us to conclude about the purity of the air that we breathe. Thus, nowadays, its more and more relevant to characterize the VOC (Volatile Organic Compounds) being in the environment, due to the increase of the industry and the pollution levels. For this analysis, we used low-cost and low-power IoT (Internet of Things) technology devices.

Index Terms—Indoor Air Quality (IAQ); Sensors; VOC (Volatile Organic Compounds); IoT (Internet of Things).

I. INTRODUÇÃO

Presentemente devido ao elevado grau de industrialização, e perante uma tendência cada vez maior da criação de grandes aglomerados populacionais, vem-se assistindo a um enorme consumo energético, muito do qual depende ainda da queima ou utilização de combustíveis fósseis. Este consumo tem entre outros, o efeito de produzir poluição a qual está diretamente ligada a várias doenças tais como as cardiopulmonares, asma, alergias e até mesmo algumas cancerígenas. Assim, e de modo a limitar os efeitos prejudiciais à saúde, tem-se assistido, nos últimos anos, à utilização de fontes de energia limpas ou renováveis. Também instituições governamentais, nacionais e mundiais, tentam cada vez mais definir medidas que diminuam os efeitos da poluição nomeadamente ao nível da saúde e bem-estar das pessoas, definindo critérios de classificação da qualidade do ar, como o IAQ (Indoor Air Quality) [1],[2].

Posto isto, de modo a que possamos tomar medidas que se traduzam na melhoria da qualidade do ar, é necessário primeiro entender e caracterizar as principais fontes de emissão e quais os compostos químicos, incluindo a sua concentração, que mais contribuem para a detioração da qualidade do ar.

No entanto, como esta temática pode ser enquadrada nas iniciativas de apoio ao bem-estar, é preciso ter algum cuidado na seleção dos dispositivos eletrónicos: quer sejam os sistemas computacionais, que devem ser robustos e em alguns casos ter suporte de execução em tempo real; ou sistemas de comunicação os quais, devem ser para além de robustos e de baixo consumo, ad-hoc, móveis e suporte de associação em rede de modo automático ou com necessidade de configuração mínima, para além de suportar técnicas de privacidade e segurança; ou sensores, os quais devem ser selecionados considerando características tais como: excelente precisão e resolução, estabilidade temporal, robustez, baixo consumo e se possível de baixo custo, de modo a permitir a crescimento do sistema em grande escala.

Com os avanços mais recentes observados na eletrónica de consumo, na microeletrónica e tecnologias de fabrico de semicondutores e dispositivos eletrónicos, é possível encontrar no mercado este tipo de dispositivos e soluções. Com isto, é possível o desenvolvimento de sistemas baseados em dispositivos de baixo-consumo e baixo-custo, com poder computacional interessante, capazes de suportar múltiplas funções, dimensões compactas, suporte de constituição em rede automática e inteligente baseados em soluções IoT e computação em cloud [3],[4].

No presente trabalho, apresenta-se o desenvolvimento de um sistema de baixo-custo, baseado no conceito de IoT (Internet of Things), utilizando como plataforma computacional o Raspberry PI 2B, que permita a caracterização de gases do tipo VOC (Volatile Organic Compounds), para além do CO, Temperatura e humidade relativa, através da utilização de uma rack de sensores, entre eles o DTH11 (T e RH), LM35 (T), MQ-2 (CO) e o MQ-135 (IAQ, CO, CO₂, Acetona,...).

O sistema, principalmente será baseado no MQ-135, o qual fornece na sua saída o índice IAQ, baseado no agrupamento de vários compostos químicos. A utilização de sensores de Temperatura e Humidade Relativa, tem por objetivo, por um lado, caracterizar estes parâmetros e por outro, numa fase posterior do projeto usar essa informação para procedimentos de calibração do sensor MQ-135. Assume-se, também, como objetivo do presente trabalho a obtenção separada da concentração, em ppm, de cada um dos gases voláteis, aos quais o MQ-135 é sensível. Nesse sentido, o MQ-2, funciona por um lado como leitor de CO e por outro, como modo de calibração e aferição do sensor MQ-135.

A. IAQ (Indoor Air Quality)

Ao longo dos anos o ar tem vindo a ficar cada vez mais poluído devido à libertação de gases tóxicos provenientes de indústrias ou de veículos, o que faz com que se torne urgente monitorizar a qualidade do ar em tempo real, de modo a evitar a incidência de doenças pulmonares [5].

O estudo da Qualidade do Ar em ambientes fechados, baseia-se na caracterização de uma série de parâmetros, como por exemplo, a temperatura (T), a humidade relativa do ar (RH), concentração de dióxido de carbono (CO₂), concentração de monóxido de carbono (CO), concentração de Acetona, entre outros.

Assim sendo, é possível determinar a qualidade do ar tendo por base um intervalo de valores em cada parâmetro que nos permite estabelecer uma escala de avaliação, isto é, Excelente, Bom, Razoável, Fraco e Inadequado, tal como mostra a Figura.1.

Para uma melhor comparação dos resultados obtidos das leituras efectuadas neste projeto e uma posterior classificação da qualidade do ar em que o sistema está inserido, recorremos também a uma tabela, elaborada pela US-EPA, tal como demonstrado na Figura.2

IAQ Rating Index

Rating	Excellent (5 points each)	Good (4 points each)	Fair (3 points each)	Poor (2 points each)	Inadequate (1 point each)
Temperature (°C)	19-21°C	Plus or minus 1°C (including variance in occupied rooms, seasons and times of day)	Plus or minus 2°C (including variance in occupied rooms, seasons and times of day)	Plus or minus 3°C (including variance in occupied rooms, seasons and times of day)	Plus or minus 4°C or more (including variance in occupied rooms, seasons and times of day)
Carbon Dioxide (PPM)	< 600	601 - 800	801 - 1500	1501 - 1800	> 1801
Relative Humidity (% RH)	40 - 60	< 40 / > 60	< 30 / > 70	< 20 / > 80	< 10 / > 90
Carbon Monoxide (mg/m³)	0	-	1 - 7	-	7 >
Nitrogen Dioxide (mg/m³)	< 0.2	-	0.2 - 0.4	-	0.4 >
TVOC (mg/m³)	< 0.1	0.1 - 0.3	0.3 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 >

Figura.1
IAQ Rating Index
[6]

AQI	Air Pollution Level	Health Implications	Cautionary Statement (for PM2.5)
0-50	Good	Air quality is considered satisfactory, and air pollution poses little or no risk.	None
51-100	Moderate	Air quality is acceptable; however, for some pollutants there may be a moderate health concern for a very small number of people who are unusually sensitive to air pollution.	Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should limit prolonged outdoor exertion.
101-150	Unhealthy for Sensitive Groups	Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is not likely to be affected.	Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should limit prolonged outdoor exertion.
151-200	Unhealthy	Everyone may begin to experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects.	Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should avoid prolonged outdoor exertion; everyone else, especially children, should limit prolonged outdoor exertion.
201-300	Very Unhealthy	Health warnings of emergency conditions. The entire population is more likely to be affected.	Active children and adults, and people with respiratory disease, such as asthma, should avoid all outdoor exertion; everyone else, especially children, should limit outdoor exertion.
300+	Hazardous	Health alert: everyone may experience more serious health effects.	Everyone should avoid all outdoor exertion.

Figura.2
Air Quality Index Scale
[13]

B. Sensor de Qualidade do Ar (MQ-135)

A caracterização da qualidade do ar depende da concentração de vários compostos e gases no meio ambiente.

Para caracterização da qualidade do ar são usados sensores que captam valores desses vários gases e compostos. Posto isto, neste projeto utilizou-se o MQ-135 implementado para caracterizar os diversos compostos presentes em ambientes fechados.

Este tipo de sensor, MQ135, requer um pré-aquecimento de 24 horas com uma alimentação de 5V antes de iniciar o período de leitura [15]. Nesse espaço de tempo, os valores lidos não são coerentes e precisos, devido ao facto da membrana presente internamente no sensor não estar à temperatura ideal e consequente sensibilidade ideal [7].

Este tipo de sensores, após a devida calibração [7], obtêm valores de seis componentes: Dióxido de Carbono (CO₂), Benzeno, Amoníaco (NH₃), monóxido de carbono (CO), Álcool e Acetona.

Estes compostos, quando compactados, fornecem-nos valores relativamente ao IAQ (Indoor Air Quality).

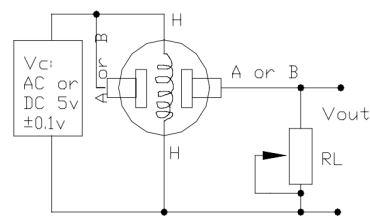


Figura.3
Circuito equivalente do MQ-135
[7]

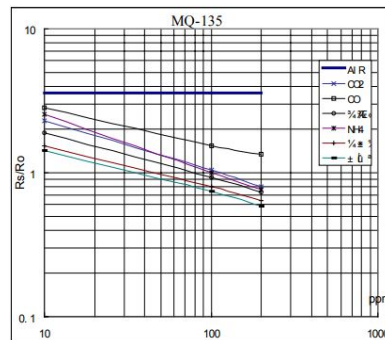


Figura.4
Características típicas de sensibilidade do sensor para diversos gases
Temperatura = 20°C ; Humidade = 65%
[7]

C. Sensor de Gás (MQ-2)

O sensor MQ-2 tem como principal função caracterizar vários gases, nomeadamente, Hidrogénio (H₂), Monóxido de carbono (CO), Metano (CH₄), Alcool, entre outros [8].

Devido a sua rapidez de processamento, é possível ser implementado em espaços fechados, mais concretamente em ambientes domésticos e/ou industriais para uma rápida deteção de fugas de gás ou presença de fumos [9]. Este tipo de sensor, MQ-2, necessita de um pré-aquecimento de 48 horas antes de iniciar leitura dos gases [9]. Durante esse espaço de tempo, os valores lidos não são coerentes e precisos, devido ao facto da membrana presente internamente no sensor não estar à temperatura ideal e consequente sensibilidade ideal [8].

Neste projeto, este sensor caracteriza os níveis de monóxido de carbono (CO), e por sua vez compara, os mesmos, com os valores desse mesmo gás recolhidos pelo MQ-135, para confirmar a coerência e a precisão da recolha dos dados.

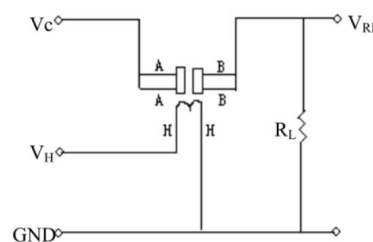


Figura.5
Circuito de leitura do MQ-2
[8]

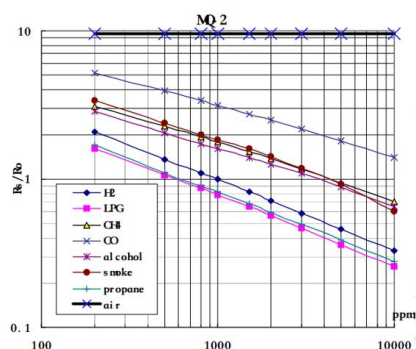


Figura.6

Características típicas de sensibilidade do sensor para diversos gases

Temperatura = 20°C ; Humidade = 65%

[8]

D. Sensores de Temperatura e Humidade (DHT11 e LM35)

Os valores da qualidade do ar dependem de forma significativa da temperatura e humidade, pois a precisão da leitura dos sensores de qualidade do ar pode ser afetada com as variações destas duas variáveis.

Com o aumento de temperatura, poderão haver alterações nos valores medidos provenientes de reações dos gases a temperaturas mais elevadas. Em relação à Humidade, valores elevados desta componente no meio ambiente podem diminuir a leitura dos valores fornecidos pelos sensores de qualidade do ar, e vice-versa [9].

Na elaboração deste projeto implementou-se o LM35 a par do DHT11 pois ambos têm a particularidade de fornecer valores de temperatura, o que possibilita a comparação de ambos e com isso apresentar valores idêntios e precisos para assim tornar a leitura desse fator mais robusta. Além disto, os valores apresentados por estes sensores são um fator indispensável para a calibração do sensor MQ-135.

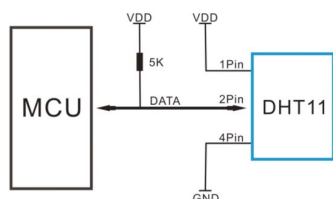


Figura.7

Esquema do Sensor de Temperatura e Humidade (DHT11)

[10]

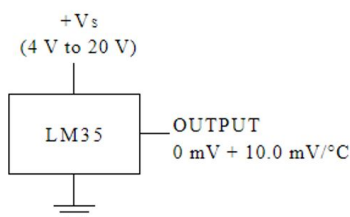


Figura.8

Esquema do Sensor de Temperatura (LM35)

[11]

II. OBJETIVOS

Com o crescente aumento e desenvolvimento do conceito IoT (Internet of Things) e dos seus produtos, cada vez se torna maior a procura de métodos para a utilização dos mesmos.

Atualmente, com o aumento tecnológico surge a possibilidade de explorar as plataformas IoT existentes de modo a descobrir e aprofundar as suas capacidades, com o propósito de obter soluções de baixo custo e fácil implementação.

Posto isto, neste artigo foram estudados alguns componentes e tecnologias para conseguir implementar uma rede de sensores sem fios de modo a caracterizar o meio ambiente onde está inserida, mais precisamente a caracterização dos VOC (Volatile Organic Compounds), que todos compactados fornecem valores referentes ao IAQ (Indoor Air Quality). Posto isto, pretende-se apresentar gamas de valores o mais coerentes e precisos possível.

III. PLATAFORMA DE IOT

A plataforma de Internet of Things (IoT) desenvolveu uma tecnologia que torna o mundo mais inteligente devido à facilidade em interligar coisas físicas a coisas virtuais. A sua principal função é gerar continuamente dados e, por consequente, mostrá-los e transmiti-los de forma a que qualquer utilizador consiga acessá-los e descodificá-los facilmente [5].

A. Raspberry Pi

O Raspberry Pi é um computador de dimensões consideravelmente pequenas e de baixo custo. Com este dispositivo é possível realizar desde simples tarefas, como por exemplo enviar dados para uma Cloud, até tarefas mais complexas, nomeadamente ao nível da automação, pode ser programado para controlar um robô. A nível de software, este dispositivo aceita várias linguagens de programação, tais como, Python, C/C++, Java e Assembly. O Raspberry Pi apresenta um baixo nível de consumo de energia, todo o seu sistema está integrado numa única placa e só é necessário um Micro SD para efectuar o armazenamento dos dados/ficheiros [12].



Figura.9

Raspberry Pi 2B

[12]

IV. DESENVOLVIMENTO

Para a implementação da rede de sensores sem fios foram usados sensores focados, essencialmente, na leitura de valores de certos gases presentes no meio ambiente, valores estes que foram compactados num ficheiro através do Raspberry

PI, programado em linguagem Python. Após pesquisas e consequente estudo das datasheets dos sensores utilizados, nomeadamente o MQ-135 [7] foi possível obter o modo como proceder à calibração do mesmo, ou seja, como decompor os valores lidos relativos ao índice de qualidade do ar (IAQ), em ppm, nos valores de alguns dos diversos gases presentes no meio estudado, também em ppm. Com isto, ainda sobre a calibração do MQ-135, verificou-se a necessidade, através da dataheet do mesmo [7], de conhecer os valores de temperatura e humidade relativa que foram obtidos através do DHT11 e do LM35.

A implementação do DHT11 a par do LM35 surge com o propósito de garantir que os valores lidos são coerentes e precisos visto que ambos têm a particularidade de obterem valores de temperatura. O mesmo se aplica ao MQ-2 e MQ-135, para garantir que após a calibração, do último, para leituras de valores de CO, estes possam ser comparados e revelados idênticos aos do MQ-2 que também é sensível a esse mesmo gás. Na montagem do projeto, alguns dos sensores usados, nomeadamente o LM35 e MQ-2, geram sinais analógicos. Posto isto, os sinais gerados tiveram de ser digitalizados, através de um circuito adicional, para com isto garantir que o Raspberry Pi consegue mostrar os valores no seu output e futuramente transmitir os mesmos de uma forma mais perceptível para os utilizadores.

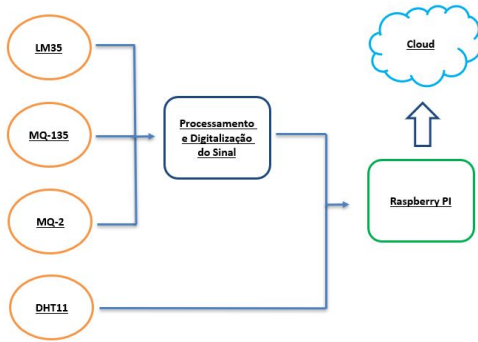


Figura.10
Esquema do Projeto

Para a calibração do sensor MQ-135 para leituras de Dióxido de Carbono (CO₂) recorremos a [7] e [15]. Posto isto, a função que permite obter valores, em ppm, desse mesmo gás é:

$$PPM_{CO_2} = 121.4517 * \left(\frac{R_S}{R_0}\right)^{-2.78054} \quad (1)$$

Em que R_S é calculado através de:

$$R_S = \left[\left(\frac{1023}{AnalogValue}\right) - 1\right] * R_L \quad (2)$$

Sendo:

- AnalogValue, a leitura da saída analógica do MQ-135,
- $R_L = 1K\Omega$, resistência interna MQ-135.

Para o cálculo de R_0 , o sensor tem de ser pré-aquecido durante 24h-48h [15]. Após este passo, é usada a seguinte equação de obtenção do valor desta resistência:

$$R_0 = R_S * \left(\frac{121.4517}{PPM}\right)^{-\frac{1}{-2.78054}} \quad (3)$$

Considerando PPM o valor médio da concentração de CO₂ na atmosfera [16].

Relativamente à calibração do MQ-135 para leitura de valores de Acetona, a função que permite obter os níveis, em ppm, deste gás é: [17]

$$PPM_{acetone} = 159.6 - 133.33 * \left(\frac{R_S}{R_0}\right) \quad (4)$$

Em que R_S é calculado através de:

$$R_S = \frac{R_L * (1 - V_{out})}{V_{out}} \quad (5)$$

Sendo:

- V_{out} , valor, em tensão, da saída analógica do MQ-135,
- $R_L = 1K\Omega$, resistência interna MQ-135.

Para o cálculo de R_0 , o sensor tem de ser, também, pré-aquecido durante 24h-48h. Após este processo, é usada equação (5) para obter o valor desta resistência, que será um valor fixo na equação (4).

Com a necessidade da monitorização dos valores de monóxido de carbono (CO), em ppm, implementou-se em primeiro lugar o MQ-2, calibrando este sensor para obter valores de CO e posteriormente procedeu-se à calibração do MQ-135 para leituras de valores deste gás. Posto isto, recorreu-se a [8] e [9] para se obter a função relativa à leitura, em ppm, de CO:

$$PPM_{CO}(MQ2) = 37143 * \left(\frac{R_S(MQ2)}{R_0(MQ2)}\right)^{-3.178} \quad (6)$$

Em que R_S do MQ-2 é calculado através de:

$$R_S(MQ2) = \left(\frac{1023 - AnalogValue_{MQ2}}{AnalogValue_{MQ2}}\right) * R_L MQ2 \quad (7)$$

Sendo:

- $R_L MQ2 = 10K\Omega$, resistência colocada na saída do sensor MQ-2. [8]

Para o cálculo de R_0 , o sensor teve de ser pré-aquecido durante 48h [9]. Após este processo e com o sensor estabilizado, é usada a seguinte equação de obtenção do valor desta resistência, sendo este valor fixo quando aplicado na equação (6):

$$R_0(MQ2) = \left(\frac{R_S(MQ2)}{10}\right) \quad (8)$$

Posto isto, e após garantir que as leituras obtidas pelo MQ-2 de monóxido de carbono (CO) se revelam aceitáveis quando comparadas com [18], segue-se a calibração do MQ-135 para leituras desse mesmo gás.

Para a elaboração deste passo, e de acordo com [14], obteve-se a função que permite obter valores, em ppm, de CO:

$$PPM_{CO}(MQ135) = 233.9 * \left(\frac{R_S(MQ135)}{R_0(MQ135)}\right)^{-1.4} \quad (9)$$

Em que RS do MQ-135 é calculado tal como na equação (7).

Para o cálculo de R0(MQ135), com o MQ-135 e o MQ-2 estabilizados, igualamos a equação (9) ao valor obtido na equação (6) e assim retiramos o valor desta resistência referente ao MQ-135 para leituras de monóxido de carbono (CO), valor este que se mantém inalterado quando aplicado, por fim, na equação (9).

V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a implementação do projeto, foram retirados valores em diferentes dias e horários, para uma comparação dos mesmos entre si e com [6] e [14].

Numa primeira recolha de dados, o sistema foi iniciado poucas horas antes, logo os valores indicados de monóxido de carbono (CO), recolhidos pelos MQ-2 e MQ-135; dióxido de carbono (CO₂), Acetona, e IAQ, recolhidos apenas por MQ-135, ainda não são os corretos, tal como demonstrado pela Tabela.1, visto que estes sensores ainda não estavam à temperatura ideal e consequente sensibilidade ideal.

Sensor	Dia	Hora	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	Acetona (ppm)	IAQ	Temperatura (°C)	Humidade (%)
LM35	12/07/2021	19:00H	x	x	x	x	22.0	x
DHT11	12/07/2021	19:00H	x	x	x	x	23.0	49.0
MQ-2	12/07/2021	19:00H	5.21	x	x	x	x	x
MQ-135	12/07/2021	19:00H	5.18	332.53	12.47	17	x	x

Tabela.1

Primeira recolha de dados

No dia seguinte e com o sistema sempre a recolher dados, verificamos que o MQ-135 apresentava leituras mais próximas da realidade, quando comparado com [6],[14] e [18], visto que já tinham passado 24 horas após o arranque do sistema, tempo este necessário para a estabilização deste sensor [7].

Sensor	Dia	Hora	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	Acetona (ppm)	IAQ	Temperatura (°C)	Humidade (%)
LM35	13/07/2021	12:00H	x	x	x	x	21.51	x
DHT11	13/07/2021	12:00H	x	x	x	x	22.0	51.0
MQ-2	13/07/2021	12:00H	5.39	x	x	x	x	x
MQ-135	13/07/2021	12:00H	6.07	455.42	29.36	19	x	x

Tabela.2

Segunda recolha de dados

Passadas algumas horas, voltou-se a retirar mais uma gama de valores e verificou-se a estabilização total dos sensores (MQ-2 e MQ-135), pois os valores, de todos os componentes em estudo, apresentavam curtas variações. Posto isto, criamos mais uma tabela de medições já com o sistema devidamente aquecido e estabilizado.

Sensor	Dia	Hora	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	Acetona (ppm)	IAQ	Temperatura (°C)	Humidade (%)
LM35	13/07/2021	19:00H	x	x	x	x	22.0	x
DHT11	13/07/2021	19:00H	x	x	x	x	22.0	59.0
MQ-2	13/07/2021	19:00H	7.39	x	x	x	x	x
MQ-135	13/07/2021	19:00H	7.48	690.34	48.94	23	x	x

Tabela.3

Terceira recolha de dados

No dia seguinte, em relação à última medição (Tabela.3), ainda com o sistema em constante funcionamento, verificou-se uma diminuição relativamente aos valores de dióxido de Carbono (CO₂) e monóxido de carbono (CO). A queda dos níveis destes gases está relacionada com o facto do espaço onde o projeto estava implementado se encontrar vazio desde a última recolha das leituras fornecidas pelo sistema.

Sensor	Dia	Hora	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	Acetona (ppm)	IAQ	Temperatura (°C)	Humidade (%)
LM35	14/07/2021	12:00H	x	x	x	x	22.0	x
DHT11	14/07/2021	12:00H	x	x	x	x	23.0	56.0
MQ-2	14/07/2021	12:00H	6.33	x	x	x	x	x
MQ-135	14/07/2021	12:00H	7.00	604.90	43.03	21	x	x

Tabela.4

Quarta recolha de dados

Por fim, ao final do dia, surgiu a curiosidade para arrecadar uma nova gama de valores visto que, a partir das medições da Tabela.4, o espaço, onde o projeto estava em funcionamento, contou com a constante presença de duas pessoas, o que faz com que os níveis dos gases monitorizados, nomeadamente o dióxido de carbono (CO₂), possam aumentar. Este facto foi devidamente comprovado com os resultados apresentados pela Tabela.5

Sensor	Dia	Hora	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	Acetona (ppm)	IAQ	Temperatura (°C)	Humidade (%)
LM35	14/07/2021	19:00H	x	x	x	x	22.0	x
DHT11	14/07/2021	19:00H	x	x	x	x	23.0	56.0
MQ-2	13/07/2021	19:00H	6.74	x	x	x	x	x
MQ-135	14/07/2021	19:00H	7.97	783.34	54.33	23	x	x

Tabela.5

Quinta recolha de dados

Contudo, os valores retirados no último dia de testes foram devidamente comparados com [6],[14] e [18]. Com isto conseguimos caracterizar o ambiente onde este projeto foi testado e afirmar que os níveis dos gases monitorizados se revelaram aceitáveis.

VI. CONCLUSÕES

Neste artigo foram abordados conceitos e procedimentos que, anteriormente, eram desconhecidos, e após a pesquisa e estudo dos mesmos, estes ficaram bem consolidados. Com a realização deste projeto concluiu-se que o mesmo pode ser aplicado em muitas vertentes pois é bastante útil para a caracterização do ambiente em que se encontra e em suma com esse fator encontra-se a facilidade de implementação e o seu baixo custo de produção, o que se revela interessante. Por fim, todo este processo é possível devido ao constante avanço que as plataformas IoT (Internet of Things) nos oferecem para o desenvolvimento deste tipo de projetos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, mais precisamente à Escola de Ciências e Tecnologias por todo o auxílio e por todo o material disponibilizado para a implementação deste projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] World Health Organization. Regional Office for Europe. (2010). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organization. Regional Office for Europe. ISBN 978 92 890 0213 4. Pp: 484. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/260127>.
- [2] European Commission. (2005). Critical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the EU - The Index Project. <https://ec.europa.eu/health>
- [3] Abraham, S.; Li, X. (2014). A Cost-effective Wireless Sensor Network System for Indoor Air Quality Monitoring Applications. *Procedia Computer Science*, ISSN 1877-0509, Vol. 34. Pp: 165-171. Doi: 10.1016/j.procs.2014.07.090.
- [4] Arakadakis, K., Charalampidis, P., Makrogiannakis, A., Fragkiadakis, A. (2020). Firmware over-the-air programming techniques for IoT networks - A survey. <https://arxiv.org/abs/2009.02260>
- [5] Artigo - Air Quality Monitoring Systems using IoT: A Review, Consultado em 30 de Junho de 2021.
- [6] IAQ Rating Index , Disponível online em www.iaq.uk.org.uk, Consultado em 1 de Julho de 2021.
- [7] DataSheet MQ-135. Disponível online em <https://www.olimex.com/>, Consultado em 1 de Julho de 2021.
- [8] DataSheet MQ-2. Disponível online em <https://www.mouser.com/>, Consultado em 1 de Julho de 2021.
- [9] Pedro Miguel dos Santos Martins (09/2017), Monitorização ambiental em espaços fechados, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
- [10] DataSheet DHT11. Disponível online em <https://www.mouser.com/>, Consultado em 1 de Julho de 2021.
- [11] DataSheet LM35, Texas Instruments. Disponível online em <https://www.alldatasheet.com/>, Consultado em 1 de Julho de 2021.
- [12] Raspberry PI (2021). Disponível online em <https://www.raspberrypi.org/> , Consultado em 30 de Junho de 2021.
- [13] Air Quality Index Scale and Color Legend (2016) defined by the US-EPA 2016 standard, Disponível online em <https://aqicn.org/scale/>, Consultado em 10 de Julho de 2021.
- [14] Cristian Camilo Ordoñez, Jennyfer López, Héctor A. Guañarita, José Armando Ordoñez; Monitoring and analysis of air quality for community empowerment in Environmental Health; IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1247 (2019) 012054; Consultado em 10 de Julho de 2021.
- [15] Artigo - Influence of Temperature and Humidity on the Output Resistance Ratio of the MQ-135 Sensor, Consultado em 30 de Junho de 2021.
- [16] "Atmospheric Levels of CO₂" - <https://www.co2.earth/>
- [17] "MQ-135 Air Quality Sensor Tutorial", Microcontroller Tutorials, Disponível online em: <https://www.teachmemicro.com/mq-135-air-quality-sensor-tutorial/>, Consultado em 30 de Junho de 2021
- [18] "Carbon Monoxide Levels Chart", (June/2021), Disponível online em: <https://gaslab.com/blogs/articles/carbon-monoxide-levels-chart>, Consultado em 13 de Julho de 2021