

CENTRO PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ

IGOR DIAS NOGUEIRA

ISAAC LIMA DORNELAS

LARISSA REGINA FERRADOR BARBOZA

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SENSOR DE DIÓXIDO DE CARBONO NO AR  
CONDICIONADO DE VEÍCULOS POPULARES**

SANTO ANDRÉ

2018

IGOR DIAS NOGUEIRA

ISAAC LIMA DORNELAS

LARISSA REGINA FERRADOR BARBOZA

## **IMPLEMENTAÇÃO DE UM SENSOR DE DIÓXIDO DE CARBONO NO AR CONDICIONADO DE VEÍCULOS POPULARES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à FATEC – Santo André como requisito parcial para obtenção do título de tecnólogo sob orientação do professor Luís Roberto Kanashiro e co-orientação do professor Orlando de Salvo Junior.

SANTO ANDRÉ

2018

N778i

Nogueira, Igor Dias

Implementação de um sensor de dióxido de carbono no ar condicionado de veículos populares / Igor Dias Nogueira, Isaac Lima Dornelas, Larissa Regina Ferrador Barboza. - Santo André, 2018. – 41f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.  
Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística, 2018.

Orientador: Prof. Luís Roberto Kanashiro

1. Mecânica. 2. Veículos. 3. Sensor MQ135. 4. Monitoração. 5. Dióxido de carbono. 6. Ar condicionado. 7. Tecnologia. 8. Eletrônica. 9. Software. 10. Programação. I. Dornelas, Isaac Lima. II. Barboza, Larissa Regina Ferrador. III. Implementação de um sensor de dióxido de carbono no ar condicionado de veículos populares.

**LISTA DE PRESENÇA**

SANTO ANDRÉ, 17 DE DEZEMBRO DE 2018

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA "IMPLEMENTAÇÃO DE UM SENSOR DE DIÓXIDO DE CARBONO NO AR CONDICIONADO DE VEÍCULOS POPULARES" DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

**BANCA**PRESIDENTE:  
PROF. LUIS ROBERTO KANASHIRO \_\_\_\_\_MEMBROS:  
PROF. FERNANDO GARUP DALBO \_\_\_\_\_

PROF. ORLANDO DE SALVO JUNIOR \_\_\_\_\_

**ALUNOS:**

IGOR DIAS NOGUEIRA \_\_\_\_\_

ISAAC LIMA DORNELAS \_\_\_\_\_

LARISSA REGINA FERRADOR BARBOZA \_\_\_\_\_

## RESUMO

O trabalho acadêmico apresentado tem como objetivo analisar a viabilidade de implementar o sensor MQ135 para monitor o nível de dióxido de carbono no ar-condicionado de veículos populares quando o reciclo estiver ligado. Sabendo que já existem veículos top de linha com este sistema, o objetivo secundário é baixar o custo - utilizando materiais mais simples com a mesma funcionalidade -, como a matriz de contato, a placa Arduino UNO e o sensor acima mencionado para toda a parte eletrônica do projeto. O programa TinkerCAD, onde será realizado a programação do sensor; um servo-motor para executar a abertura da portinhola do reciclo e uma caixa de ar veicular que será utilizada para a montagem e simulação do trabalho acadêmico.

Como resultado foram recolhidos dados de concentração de dióxido de carbono no veículo a cada cinco minutos por quase duas horas e nas quatro velocidades permitidas para o fluxo de ar. Sendo que o veículo foi testado em ambiente coberto – ou seja, sem a incidência de raios solares – e com três ocupantes. Como consequência do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> e a baixa umidade dentro do habitáculo, a saúde dos ocupantes começou a ser afetada. Contudo, com o sistema de monitoramento funcionando, logo o ar começou a ser renovado e os padrões normais do ar interno foi retomado.

**Palavras-chave:** ar-condicionado; reciclo; dióxido de carbono; sensor.

## **ABSTRACT**

The term paper presented aims to analyze the viability of implementing the MQ135 sensor, which will monitor the level of carbon dioxide in the air conditioning of popular vehicles when the recycle bin is turned on. There are some top-line vehicles with this system, so the secondary objective is to lower the cost - using simpler materials with the same functionality - as the contact matrix, the Arduino UNO board and the sensor already mentioned for the whole electronic part from the project. The TinkerCAD program, where the sensor programming will be performed; a servo motor to perform the opening of the flap of the recycle and a vehicular air box that will be used for the assembly and simulation of the term paper.

As a result, carbon dioxide concentration data was collected in the vehicle every five minutes for almost two hours and at the four permitted airflow velocities. The vehicle was tested in a covered environment - that is, without the incidence of solar rays - and with three occupants. As a result of the increased concentration of CO<sub>2</sub> and the low humidity inside the passenger compartment, the health of the occupants began to be affected. However, with the monitoring system running, soon the air began to be renewed and normal indoor air standards resumed.

**Keywords:** air conditioning; recycle; carbon dioxide; sensor.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos, primeiramente, à Deus por nos ter dado força e saúde para realizarmos e concluirmos este trabalho, enfrentando as dificuldades e obstáculos.

As nossas famílias por nos apoiarem e incentivarem durante todo nosso trajeto acadêmico.

A esta faculdade e seu corpo docente, especificamente ao professor e orientador Luís Roberto Kanashiro, ao professor e co-orientador Orlando de Salvo Junior e ao professor Fernando Garup, que nos ajudaram, corrigiram e nos deram todo o suporte necessário. Agradecemos especialmente o professor Murilo Zanini que nos ajudou a realizar a programação Arduino, sempre que precisamos.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte deste trabalho e da nossa formação. Muito obrigado.

*“Não é a força mas a constância dos bons resultados que conduz os homens à felicidade.”*

Friedrich Nietzsche

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 -</b>	Oxigênio x Dióxido de Carbono	15
<b>Figura 2 -</b>	Bugatti 35B dirigido por Willians	17
<b>Figura 3 -</b>	Foto do primeiro veículo equipado com uma unidade de ar-condicionado	18
<b>Figura 4 -</b>	Aparelho de ar-condicionado Packard 1939	19
<b>Figura 5 -</b>	Primeiro modelo de fábrica a vir com ar-condicionado Packard 1939	19
<b>Figura 6 -</b>	Componentes do ar-condicionado veicular	20
<b>Figura 7 -</b>	Esquema do fluxo de ar da caixa de ar condicionado	21
<b>Figura 8 -</b>	Evaporador	21
<b>Figura 9 -</b>	Ventilador	22
<b>Figura 10 -</b>	Compressor	22
<b>Figura 11 -</b>	Condensador	22
<b>Figura 12 -</b>	Filtro Secador	23
<b>Figura 13 -</b>	Válvula de expansão	23
<b>Figura 14 -</b>	Circuito de refrigeração com válvula de expansão	23
<b>Figura 15 -</b>	Exemplo de botão de reciclo	24
<b>Figura 16 -</b>	Fluxo de ar quando o reciclo está ligado e desligado	24
<b>Figura 17 -</b>	Caixa de ar Fox 2009	25
<b>Figura 18 -</b>	Painel do ar-condicionado	25
<b>Figura 19 -</b>	Sensor de CO <sub>2</sub>	26
<b>Figura 20 -</b>	Curva de sensibilidade e Estrutura do sensor	26
<b>Figura 21 -</b>	Placa Arduino e cabo USB	27
<b>Figura 22 -</b>	Servo motor de comando	27
<b>Figura 23 -</b>	Etapas do processo para produção de CO <sub>2</sub>	28
<b>Figura 24 -</b>	Esquema das ligações do circuito	30
<b>Figura 25 -</b>	Gol G5	30
<b>Figura 26 -</b>	Psicrômetro (esquerda) e termômetro digital (direita)	31
<b>Figura 27 -</b>	Termômetro na saída do disufor	31
<b>Figura 28 -</b>	Posicionamento do sensor	31
<b>Figura 29 -</b>	Servo-motor aberto em 170°	33
<b>Figura 30 -</b>	Servo-motor aberto em 120°	33
<b>Figura 31 -</b>	Servo-motor aberto em 90°	34
<b>Figura 32 -</b>	Servo-motor aberto em 45°	34

## LISTA DE GRÁFICOS

**GRÁFICO 1** – Concentração de CO<sub>2</sub> no veículo

32

## LISTA DE QUADROS

**QUADRO 1** – Quantidade de CO<sub>2</sub> e sua toxicologia

16

## **LISTA DE SIGLAS, ACRÔNOMOS E ABREVIATURAS**

**CO<sub>2</sub>** - Dióxido de carbono

**ASHRAE** – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning

**ANVISA** – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

**OMS** – Organização Mundial de Saúde

**ppm** – Partes por milhão

**Fundacentro** – Fundação Jorge Duprat e Figueiredo

**SED** – Síndrome do Edifício Doente

**DRE** – Doença Relacionada ao Edifício

**GM** – General Motors

**NOAA** – National Oceanic and Atmospheric Administration (Administração Oceânica e Atmosférica Nacional).

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	13
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	14
2.1 Qualidade do ar	14
2.2 Dióxido de carbono	14
2.2.1 Origem	14
2.2.2 Expiração do CO <sub>2</sub>	15
2.2.3 Concentrações de dióxido de carbono	15
2.2.4 Efeitos na saúde	16
2.3 Ar-condicionado	17
2.3.1 História	17
2.3.2 Ciclo ar-condicionado	20
<b>3. METODOLOGIA</b>	25
3.1 Materiais	25
3.1.1 Caixa de ar veicular	25
3.1.2 Sensor MQ135	26
3.1.3 Placa Arduino UNO	26
3.1.4 Servo motor MG90	27
<b>4. TESTES E RESULTADOS</b>	28
4.1 Produção de CO <sub>2</sub>	28
4.2 Medição do CO <sub>2</sub> no escapamento	29
4.3 Funcionamento do sensor	29
<b>5. CONCLUSÕES</b>	35
<b>6. TRABALHOS FUTUROS</b>	36
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	37
<b>APÊNDICE</b>	39

## 1. INTRODUÇÃO

Com o ar-condicionado cada vez mais presente no dia-a-dia dos seres humanos - incluindo em seus meios de transporte -, a qualidade do ar merece atenção, já que afeta a saúde e segurança dos seres humanos, principalmente em ambientes fechados. Em veículos ainda há um agravante: o reciclo, que, quando ligado, não permite a entrada de ar externo no ambiente, ou seja, o mesmo ar interno recircula várias e várias vezes, o que faz aumentar os níveis de dióxido de carbono dentro da cabine do veículo. Este gás – incolor, inodoro e expelido naturalmente como subproduto da respiração humana – pode causar desconforto, problemas respiratórios, náuseas e tonturas, dependendo de sua concentração no ambiente.

Portanto, sabendo-se desse risco e para impedi-lo de ocorrer, este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade de implementar o sensor MQ135 para monitor o nível de dióxido de carbono no ar-condicionado de veículos populares quando o reciclo estiver ligado. Desta maneira, será possível controlar os níveis deste gás dentro do habitáculo, abrindo a portinhola do reciclo sempre que necessário, para a renovação do ar interno, mantendo o nível de CO<sub>2</sub> dentro dos padrões recomendados por instituições regulamentadoras. E como objetivo secundário, o trabalho proposto visa baixar o custo do sistema de monitoramento que já existe em veículos *top* de linha utilizando materiais mais simples com a mesma funcionalidade -, como a matriz de contato, a placa Arduino UNO e o sensor acima mencionado para toda a parte eletrônica do projeto.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo será apresentado toda a base teórica e informações necessárias para a realização do projeto.

### **2.1 QUALIDADE DO AR**

No final do século passado descobriu-se um aumento na concentração de poluentes químicos e biológicos no ar devido à baixa taxa de troca deste ar em ambientes de interiores; seja em casa, no transporte ou no trabalho, passar grande parte do dia nestes recintos fechados é muito comum e cotidiano para o homem. Por este motivo, a qualidade do ar interno tem ganhado sua devida importância, a fim de diminuir seus impactos na saúde do ser humano.

Segundo Quadros, Moreira, de Campos, Schirmer e Lisboa (2008), têm sido verificados algumas síndromes complexas que surgiram ligadas à qualidade do ar, como a SED (Síndrome do Edifício Doente) e a DRE (Doença Relacionada ao Edifício). Apesar do ar no ambiente de trabalho já ter sido bastante estudado, em contra-partida, o ar dentro dos meios de transporte ainda é pouco explorado.

Quadros, Moreira, de Campos, Schirmer e Lisboa (2008), falam que os habitantes das regiões urbanas passam aproximadamente 7% do seu tempo diário utilizando meios de transporte. Desta forma, este tempo passado dentro deste ambiente tem uma contribuição na exposição diária aos poluentes do ar.

Um desses poluentes mais presentes é o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que também pode ser considerado um bom indicador de qualidade da ventilação do ar nos ambientes internos, já que está diretamente relacionado com o grau de ocupação do mesmo.

### **2.2 DIÓXIDO DE CARBONO**

Capítulo destinado à conceituação e informações que foram utilizadas para realização deste trabalho à respeito do gás dióxido de carbono.

#### **2.2.1 Origem**

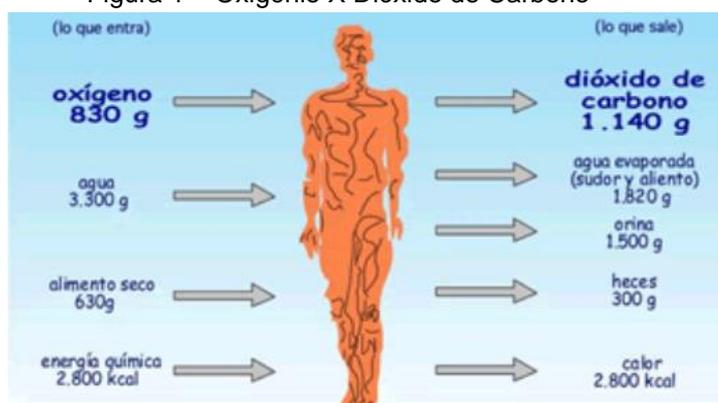
Segundo arquivo disponibilizado pela FUNDACENTRO (2018), o dióxido de carbono é um gás incolor, inodoro e não-inflamável; resultante dos processos de combustão, de produção de energia e, principalmente, produto das reações de metabolização dos seres vivos.

### 2.2.2 Expiração do CO<sub>2</sub>

Na inspiração o animal absorve o oxigênio e, na expiração, expelle dióxido de carbono. Diariamente, cada ser humano inspira 830g de O<sub>2</sub> e expira 1140g de CO<sub>2</sub> (Figura 1).

De acordo com a FUNDACENTRO (2018), “um adulto respira até cerca de 40 litros de ar por minuto, consumindo 2 litros de oxigênio e exalando 1,7 litros de dióxido de carbono, aproximadamente.”

Figura 1 – Oxigênio X Dióxido de Carbono



Fonte: Arquivo disponibilizado pela FUNDACENTRO.

### 2.2.3 Concentrações do dióxido de carbono

Madureira (2005) diz que, em ambientes de interiores, as concentrações de CO<sub>2</sub> excedem as respectivas concentrações no ar exterior com concentração média de 350-400ppm (640-731 mg.m<sup>-3</sup>) devido, simplesmente, à produção metabólica dos ocupantes do veículo. Os níveis de CO<sub>2</sub> no interior variam entre 700 e 2000 ppm e podem exceder os 3000 ppm (5486 mg.m<sup>-3</sup>).

Madureira (2005) Também fala que a medição da taxa de ventilação exige metodologias complexas, por isso, o valor da concentração de dióxido de carbono é utilizado como indicador da adequabilidade do arejamento em luagres ocupados. De acordo com a norma 62-1989 da ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning*), para níveis de CO<sub>2</sub> superiores a 1000 ppm o arejamento é insuficiente.

Para uma referência nacional, a norma que recomenda as concentrações aceitáveis de CO<sub>2</sub> é da ANVISA, que diz, na Resolução nº 9 de 16 de janeiro de 2003 inciso 2.1: “1000 ppm de dióxido de carbono – ( CO<sub>2</sub> ) , como indicador de renovação de ar externo, recomendado para conforto e bem-estar”.

### 2.2.4 Efeitos na saúde

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), quantidade de CO<sub>2</sub> até 5000 ppm é o limite internacional seguro para a saúde do ser humano. A partir de 10.000 ppm, já começa a ter influências significativas na respiração, conforme detalhado no Quadro 1 abaixo.

Quadro 1 – Quantidade de CO<sub>2</sub> e sua toxicologia

QUANTIDADE DE CO <sub>2</sub>	NÍVEL TOXICOLÓGICO
360 ppm	Nível normal de CO <sub>2</sub>
1.000 ppm	Exposição prolongada pode afetar a concentração
5.000 ppm	Limite internacional normal/seguro
10.000 ppm	Seu ritmo de respiração aumenta, mas provavelmente você não percebe.
15.000 ppm	Limite de exposição normal a curto prazo.
20.000 ppm	Você começa a respirar 50% acima da taxa normal. Se você ficar exposto à esses níveis muitas horas, você poderá ficar cansado e terá dor de cabeça.
30.000 ppm	Você respirará duas vezes acima do normal, poderá se sentir um pouco vertiginoso, suas batidas do coração e respiração aumentarão e as dores de cabeça serão mais frequentes. Até mesmo sua audição poderá ser afetada.
40.000 ppm a 50.000 ppm	Agora o efeito do CO <sub>2</sub> poderá ser realmente prejudicial. Sua respiração estará muito mais rápida, em torno de quatro vezes mais que o normal e, depois de apenas trinta minutos a este nível, você apresentará sinais de envenenamento e sufocamento.
50.000 ppm a 100.000 ppm	Você se cansará depressa, terá respiração intensa, dores de cabeça, bem como a visão prejudicada. Provavelmente em poucos minutos estará confuso e seguido de inconsciência.
100.000 ppm a 1.000.000 ppm	A inconsciência ocorrerá mais depressa, quanto mais alta for a concentração. Quanto mais alto o tempo de exposição e o nível de gás carbônico, mais depressa ocorrerá a asfixia.

Fonte: Organização Mundial de Saúde ([2018])

De acordo com as informações retiradas da Organização Mundial de Saúde (OMS), à partir de 10.000 ppm em concentração de dióxido de carbono, já é possível observar consequências na saúde do ser humano. Entretanto, no presente trabalho, a concentração máxima para a ação do sensor será de 1.000 ppm.

## 2.3 AR-CONDICIONADO

Neste capítulo será exposta a história do ar-condicionado veicular, abordando brevemente seus componentes e funcionamento.

### 2.3.1 História

Os primeiros carros lançados pela indústria automobilística não contavam com a possibilidade de climatização. Na época, os veículos eram abertos e havia o capô e o teto para proteger o motorista e os passageiros da chuva. Até então pensar em um sistema de ar condicionado para o interior do automóvel. A ideia de ar condicionado dentro do carro surgiu posteriormente, e a primeira tentativa ocorreu no Rali de Monte Carlo, em Mônaco, na década de 20 (Figura 2). Na ocasião, um dos participantes estava com tanto frio que perfurou um buraco no painel do carro que estava pilotando, beneficiando-se do calor emitido pelo motor. A partir desse momento veio o aquecimento, que utiliza o calor gerado pelo motor para aquecer a cabine no inverno.

Figura 2 – Bugatti 35B dirigido por Williams (Exemplo de carro a correr no GP de Mônaco em 1928).



Fonte: GaukMotors (2016)

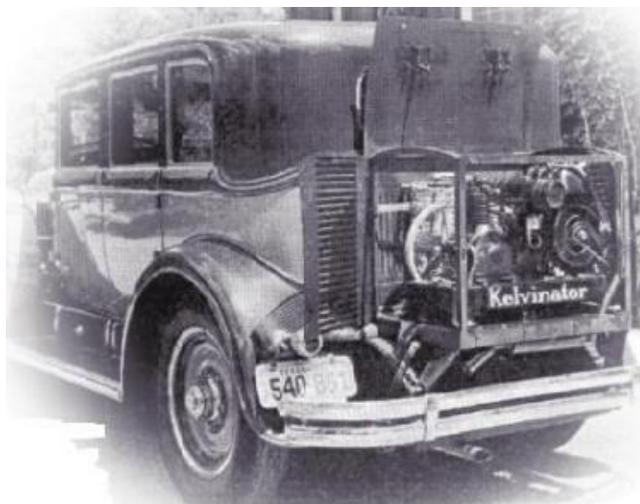
No entanto, a história foi diferente no verão, quando a temperatura aumentava consideravelmente e já estava se tornando insuportável para aqueles que estavam dentro do carro. Quando a produção de veículos com a cabine fechada ganhou forças, o desafio cresceu. Alguns ajustes foram feitos para reverter a situação, como levantar o para-brisa ou remover as cortinas laterais. A abertura conseguida

inicialmente no vidro foi de apenas cerca de 13 mm, permitindo que a cabine se mantivesse pressurizada e tentasse minimizar o ar quente vindo do motor.

O Portal Web Ar-condicionado (2017) diz que, além disso, as janelas ganharam a possibilidade de serem levantadas ou abaixadas para obter o fluxo de ar desejado. Alguns carros possuíam algumas escotilhas de ventilação abaixo do painel de instrumentos para permitir a circulação de ar, mas esses sistemas eram rudimentares e não ofereciam proteção contra fuligem, poeira, pólen ou insetos, fazendo com que a qualidade do ar fosse muito pobre.

No início dos anos 30, algumas empresas começaram a oferecer sistemas de ar condicionado para veículos, porém, destinados apenas para vans, limousines e carros de luxo. Nesse mesmo ano, a empresa C&C Kelvinator equipou um Cadillac com um sistema que era alimentado por um motor a gasolina de 1,1 kW (Figura 3). Dois dutos de ambos os lados levavam o ar frio para um ventilador que fazia o ar circular através do compartimento da cabine na parte de trás do carro.

Figura 3 - Foto do primeiro veículo equipado com uma unidade de ar condicionado independente fabricado pela C&C Kelvinator



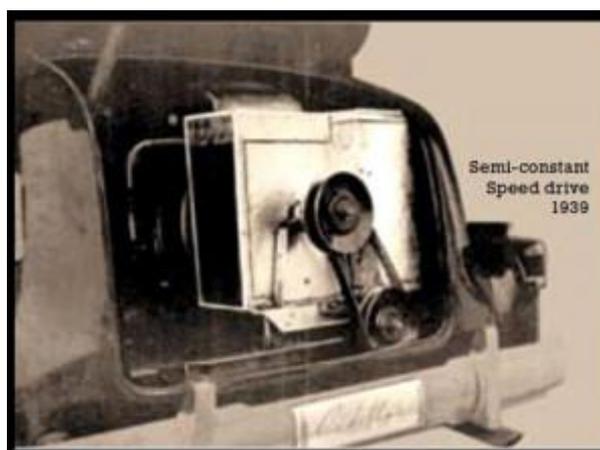
Fonte: Extraído de ASHRAE Journal (Web Ar condicionado) (1999)

Em 1932, o Laboratório de Estudos e Desenvolvimento da General Motors (GM) teve a ideia de usar o vapor comprimido do Freon R-12, estabelecendo que a capacidade de arrefecimento não deveria exceder 1 tonelada (cerca de 3,5 kw). Essa estimativa é metade da capacidade de um sistema moderno de hoje, e a decisão sobre o arrefecimento foi baseado na recirculação de ar e não na ventilação externo. Além disso, a temperatura resultante não deveria exceder 5,6°C, a fim de

poupar o ocupante do carro de sofrer um choque térmico ao sair do veículo e sentir a temperatura exterior.

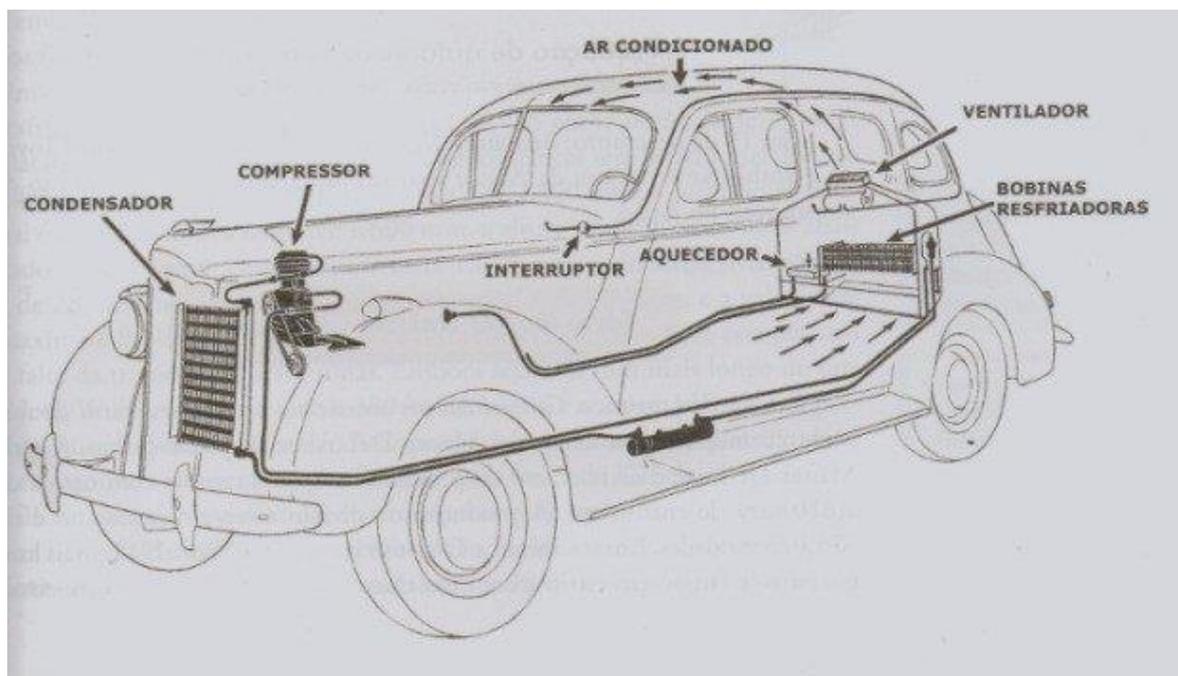
O primeiro carro com um aparelho de ar condicionado (Figura 4) parecido com os atuais foi o Packard 1939 (Figura 5), em que uma espiral de arrefecimento envolvia toda a cabine e seu sistema de controle era um interruptor de ventilador. O aparelho custava US\$ 274, considerado uma opção cara no momento.

Figura 4 – Aparelho de ar condicionado Packard 1939



Fonte: Web ar condicionado (2017)

Figura 5 – Primeiro modelo de fábrica a vir com ar condicionado Packard 1939



Fonte: José Vieira (2010)

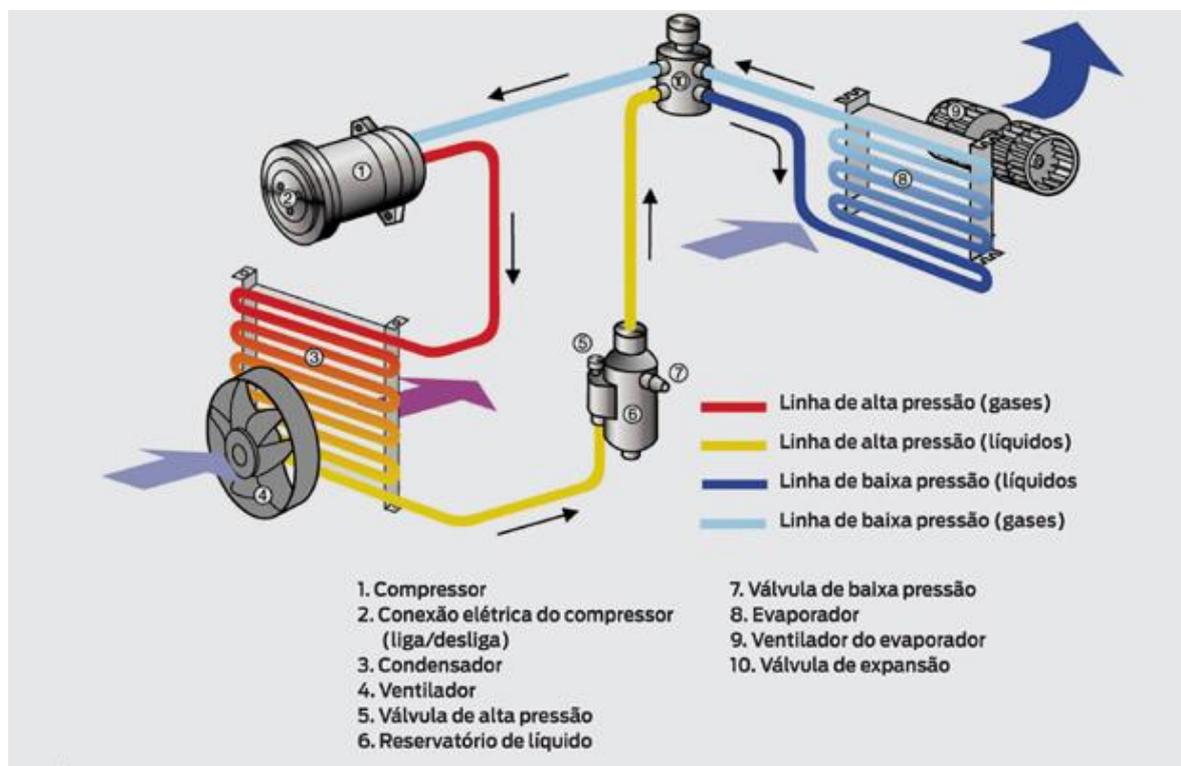
Também de acordo com o Portal Web Ar-condicionado (2017), esses primeiros sistemas de ar condicionado tiveram uma grande desvantagem: não havia embreagem no compressor, por isso, sempre que se quisesse desligar o sistema, era necessário apagar também o carro, sair, abrir o capô e retirar a correia do compressor. Para colocar em funcionamento o procedimento era invertido.

Passados os anos, o Cadillac ganhou um novo recurso: os controles para o ar-condicionado. Eles foram colocados no banco de trás para desligar ou ligar o sistema, mas ainda assim, era muito melhor do que parar o carro e mexer no compressor.

### 2.3.2 Ciclo ar condicionado

O Ar-condicionado sem dúvida é um sistema muito útil na vida das pessoas, principalmente em épocas de muito calor. Em seu ciclo, são necessários alguns itens, como caixa de ar, evaporador, compressor, válvula de ar e condensador (Figuras 6).

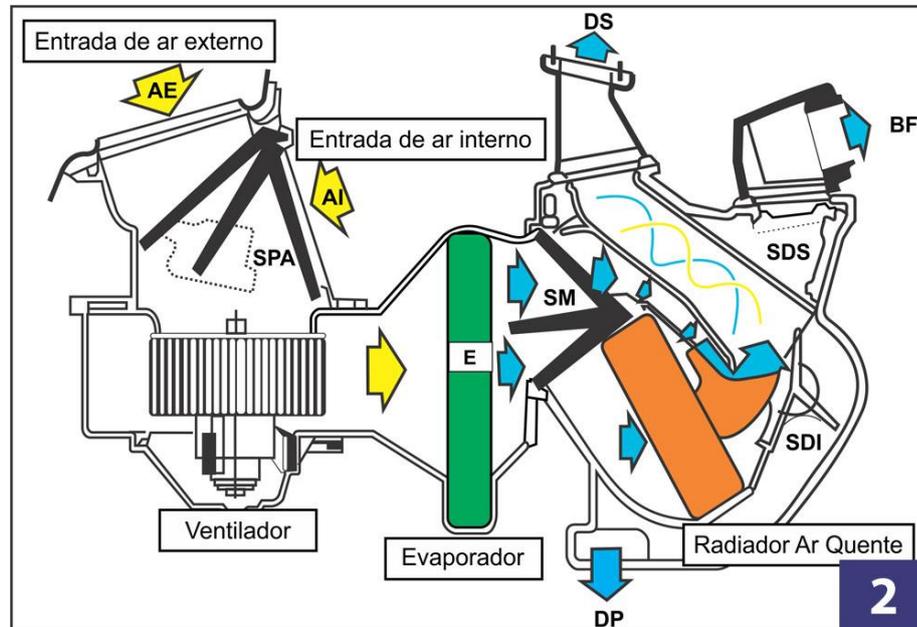
Figura 6 – Componentes do ar-condicionado veicular



Fonte: AutoAir (2017)

No interior da caixa de ar, o fluxo de ar pode ser direcionado da maneira que o usuário preferir (Figura 7). Pode-se permitir a passagem do ar apenas pelo evaporador ou apenas pelo radiador (quando deseja-se ar quente), por exemplo.

Figura 7 – Esquema do fluxo de ar da caixa de ar condicionado



Fonte: Melsi Maran (Oficina Brasil) (2016)

**Evaporador:** ao passar pelo evaporador (Figura 8) o fluido refrigerante, que está em forma de vapor a baixa pressão e temperatura, absorve calor do ar externo ao carro, ou reciclado de dentro dele, virando líquido a baixa pressão e retornando um ar resfriado para dentro do veículo.

Figura 8 - Evaporador



Fonte: K2 Centro Automotivo (2016)

**Ventilador:** responsável pelo insuflamento para troca de calor dentro da cabine (Figura 9).

Figura 9 - Ventilador



Fonte: K2 Centro Automotivo (2016)

**Compressor:** para que o fluido circule pelo sistema é necessário utilizar um compressor (Figura 10). Esse dispositivo está fixado por um suporte ao lado do motor e ligado a ele através de um sistema de polia e correia. Uma vez acionado, o compressor gera uma diferença de pressão no sistema aspirando e comprimindo o fluido constantemente, elevando sua temperatura e pressão.

Figura 10 - Compressor



Fonte: K2 Centro Automotivo (2016)

**Condensador:** é um tipo de trocador de calor localizado na dianteira do veículo, à frente do radiador do motor. Essa posição privilegiada permite uma eficaz troca térmica com o ar, retirando calor do fluido refrigerante, baixando assim sua temperatura (Figura 11).

Figura 11 - Condensador



Fonte: K2 Centro Automotivo (2016)

**Filtro Secador:** ao sair do Condensador o fluido agora no estado líquido, mas ainda sob elevada pressão, passa por um filtro chamado de “Filtro secador” (Figura 12) cuja função é reter partículas de impureza, impedindo que as mesmas danifiquem outros componentes do sistema, além de absorver a umidade presente no fluido.

Figura 12 – Filtro Secador



Fonte: K2 Centro Automotivo (2016)

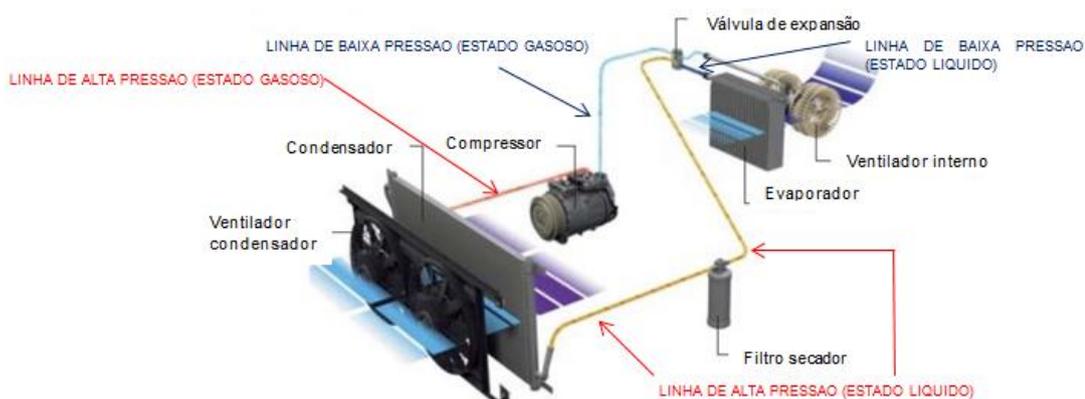
**Válvula de expansão:** após o gás refrigerante na forma líquida sair do secador, o líquido em alta pressão chega à válvula de expansão (Figura 13) onde ocorre a atomização do gás refrigerante, transformando-o em minúsculas partículas de gás. Após realizar a troca térmica no evaporador, o gás refrigerante se transforma do estado líquido para o estado gasoso a baixa pressão e baixa temperatura (Figura 14).

Figura 13 – Válvula de expansão



Fonte: K2 Centro Automotivo (2016)

Figura 14 – Circuito de refrigeração com válvula de expansão



Fonte: Manual da Hella ([2018])

**Botão de Reciclo:** a representação gráfica do reciclo, na maior parte dos automóveis, é de um carrinho com uma flecha dentro (Figura 15). Poucos motoristas, porém, sabem o que ele significa. É o botão de recirculação do ar condicionado. Se ele estiver acionado, o ar ficará circulando somente dentro do veículo. Isso é recomendado em algumas situações que serão exemplificadas posteriormente, mas não é indicado usá-lo sempre.

Figura 15 – Exemplo de botão de reciclo

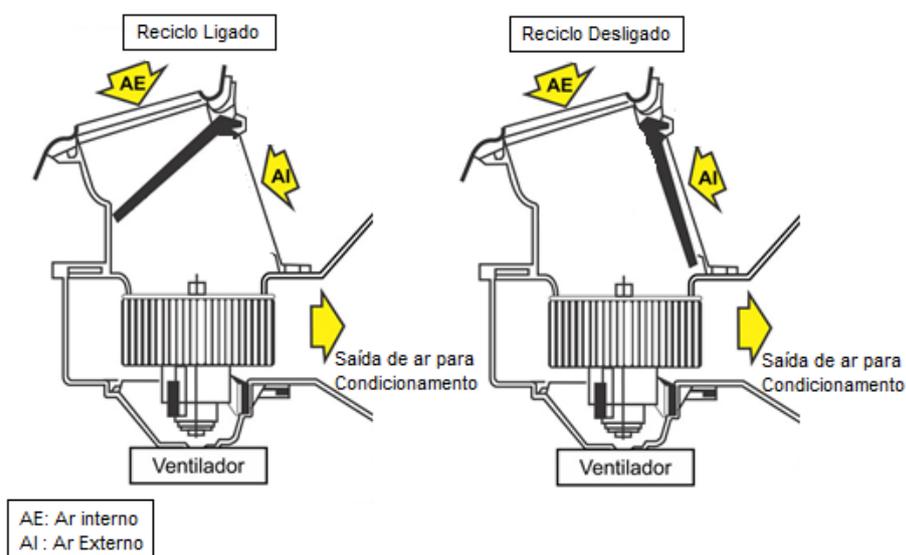


Fonte: Shutterstock (CANARIOPRESS) (2018)

O CANARIOPRESS (2013) sugere que esse botão deve ser acionado quando o motorista está em estradas engarrafadas (com excesso de fumaça) ou muito empoeiradas, quando o filtro não dá conta de evitar a entrada de todas as impurezas. “Isso garante que o ar não seja contaminado com poluição”, explica Ernesto Miyazaki, proprietário da Arcon e integrante da Câmara de Ar Condicionado do Sindicato dos Mecânicos de São Paulo (Sindirepa-SP).

Entretanto, é recomendado liberar a entrada do ar externo algumas vezes, por trinta segundos, por exemplo, para renovar o ar interno (Figura 16). Assim, o motorista não se expõe às chances de aumentar as concentrações de dióxido de carbono – que é inevitável quando não há renovação do ar.

Figura 16 – Fluxo de ar quando o reciclo está ligado e desligado



Fonte: Melsi Maran (Oficina Brasil) (2016)

### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado os materiais utilizados para a realização do trabalho e os devidos testes para execução e validação do sistema proposto.

#### 3.1 MATERIAIS

Neste capítulo do trabalho será exposto e explicado todos os materiais e componentes que foram utilizados na construção do projeto.

##### 3.1.1 Caixa de ar veicular

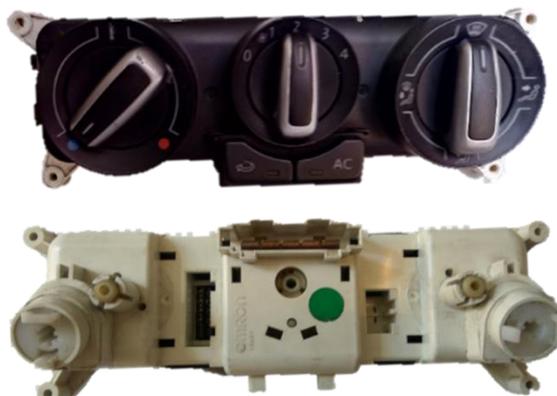
A caixa de ar (Figura 17) e o painel do ar condicionado (Figura 18) utilizados para a montagem, testes e simulação é do veículo Volkswagen Fox 2009 e foram adquiridos pelo grupo.

Figura 17 – Caixa de ar Fox 2009



Fonte: Próprio autor

Figura 18 – Painel do ar-condicionado



Fonte: Próprio autor

### 3.1.2 Sensor de CO<sub>2</sub>

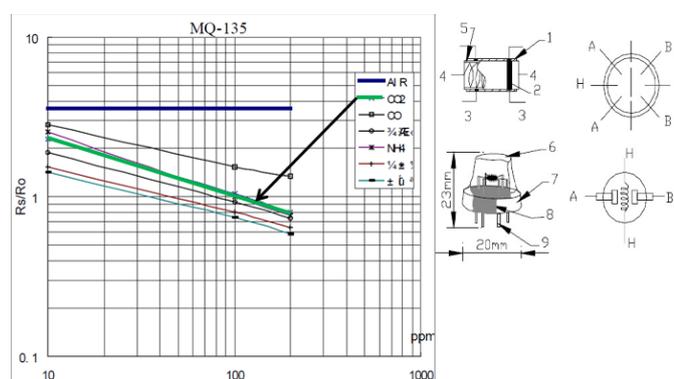
O MQ-135 (Figura 19) é um sensor de baixo custo que já vem montado em sua placa de circuito integrado com outros componentes, que consegue medir concentrações de gases nocivos à saúde humano, dentre eles o dióxido de carbono. No nosso trabalho ele irá medir a concentração do gás em partes por milhão, e comunicar as informações através da placa arduino (Figura 20).

Figura 19 – Sensor MQ-135



Fonte: Próprio autor

Figura 20 – Curva de Sensibilidade e Estrutura do sensor

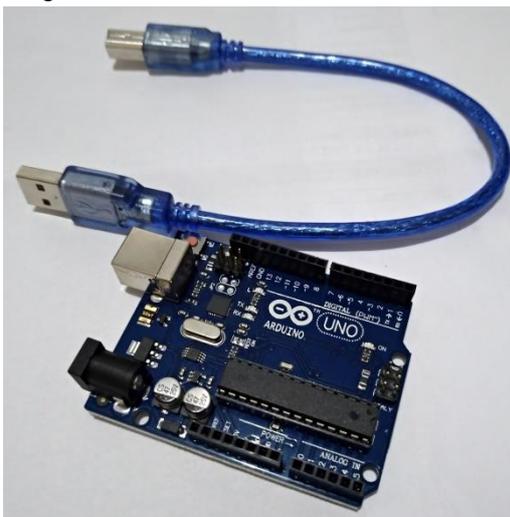


Fonte: Datasheet Technical Data ([2018])

### 3.1.3 Placa Arduino UNO

A placa arduino (Figura 21) é uma placa com microcontrolador e comunicação via USB de fácil programação e baixo custo, se adequando ao nosso projeto. De acordo com Baú da Eletrônica (2018), ela “possui 14 entradas/saídas digitais (das quais 6 podem ser usadas como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um cristal oscilador de 16MHz, conexão USB, uma entrada para fonte, soquetes para ICSP (*In Circuit Serial Program*), e um botão de reset.”

Figura 21 – Placa arduino e cabo USB



Fonte: Próprio Autor

### 3.1.4 Servo Motor de comando

Um motor (Figura 22) de fácil programação leve e de baixo custo que nos auxiliará a manter aberto o reciclo quando necessário. É composto de engrenagem de metal e rolamento, e consegue fazer aberturas em até 180°.

Figura 22 – Servo motor MG90



Fonte: Próprio Autor

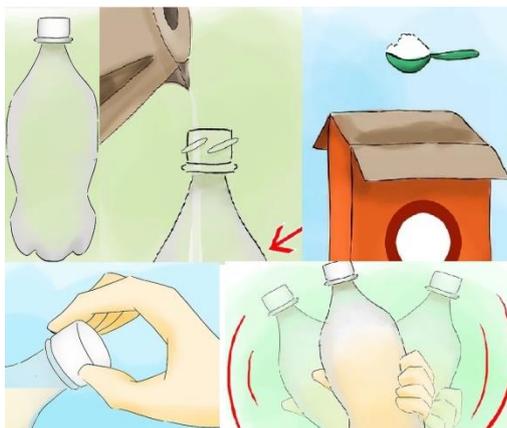
## 4. TESTES E RESULTADOS

### 4.1 Produção de CO<sub>2</sub>

Com o intuito de testar a viabilidade da produção caseira de dióxido de carbono e para depois o utilizar nos testes do sensor, foram realizados os seguintes procedimentos (Figura 23):

- Pegamos uma garrafa plástica de dois litros. É importante que se use plástico pois, ao invés do vidro, o plástico não explodiria caso crie uma pressão muito forte;
- Acrescentamos duas xícaras de açúcar bruto, pois contém mais açúcares complexos que demoram de quebrar e é mais barato;
- Com água morna, enchemos a garrafa até a curva perto do gargalo;
- Acrescentamos meia colher de chá de bicarbonato de sódio e meia colher de fermento em pó;
- Tampamos a garrafa e a chacolhamos bem para misturar todos os ingredientes;
- Destampamos a garrafa e esperamos a reação acontecer.

Figura 23 – Etapas do processo para produção de CO<sub>2</sub>



Fonte: WikiHow ([2018])

**RESULTADO:** Após 4 horas de espera, a garrafa foi levada até o Laboratório de Análises e Testes Veiculares da FATEC e, com o analisador de gases AVL, mediu-se a concentração de CO<sub>2</sub> que a mistura liberava.

Foi observado que, quando em repouso, não é possível medir uma quantidade significativa do gás. Contudo, quando agita-se a garrafa, a mistura libera

um pico de concentração em torno de 1,4% de dióxido de carbono e, após alguns segundos, a concentração volta a baixar até zero. No caso do sensor MQ135, essa concentração máxima medida ainda é muito alta para ele realizar a leitura, por isso, decidiu-se que produzir o gás caseiramente não seria a melhor maneira para testar o funcionamento do sensor.

#### **4.2 Medição do dióxido de carbono do escapamento**

Outra maneira de utilizar o CO<sub>2</sub> seria coletá-lo do gás de escape, diluí-lo com ar comprimido e fazer a medição da concentração do gás. É importante ressaltar que precisa-se fazer a diluição porque a concentração de CO<sub>2</sub> equivale a, aproximadamente, 14,4% – número que é maior do que produzindo o gás caseiramente.

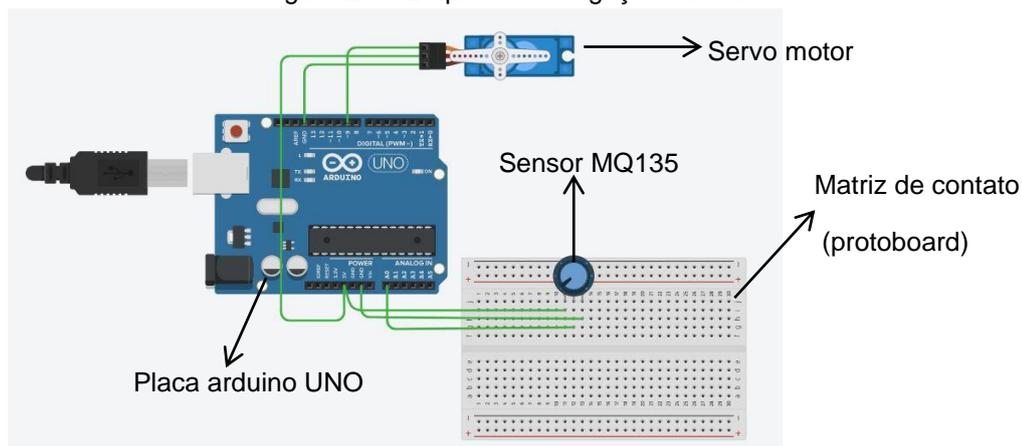
Para isso, foi usada uma sacola plástica, colocando-a no escapamento do veículo presente na praça técnica da faculdade. Após a coleta de uma pequena parte do gás de escapamento e a diluição com o ar comprimido, foi usado novamente o analisador de gases, mostrando entre 7 e 9% de concentração. Concluiu-se que, mesmo com o gás diluído, a concentração ainda não era pequena o suficiente para poder ser lida pelo sensor.

Como último recurso, decidiu-se medir o CO<sub>2</sub> exalado pela respiração humana. Para isso, foi soprado dentro de uma sacola plástica e medido com o analisador de gases. Desta vez, a concentração lida era de menor que 1% de ppm. Muito melhor que os testes anteriormente realizados e dentro da faixa de trabalho do sensor.

#### **4.3 Funcionamento do Sensor**

Para o sensor realizar a leitura da concentração do gás, foi feita uma programação simples no software Arduino (Apêndice 1). Foram realizados ajustes na programação para zerar a leitura do sensor a 400ppm, pois esta é a concentração de dióxido de carbono já presente na atmosfera, segundo relatório divulgado pelo NOAA e pela Sociedade Meteorológica Americana em 2017. Depois, o circuito foi montado conforme mostra a figura abaixo.

Figura 24 – Esquema das ligações do circuito



Fonte: Próprio autor

No primeiro teste – realizado em sala de aula -, verificou-se que o sensor funcionava corretamente, contudo, a placa Arduino não conseguia manter o sensor ligado, isto é, aquecido. Por isso, após alguns segundos, ele desligava. Para solucionar esse problema, acrescentou-se uma fonte externa de 9V para alimentar o sensor individualmente.

Após essa correção, o circuito e programação foram testados novamente. Dessa vez, não houve nenhum imprevisto e os componentes funcionavam conforme previsto.

Com a primeira parte da programação concluída, o circuito foi montado no veículo presente no Laboratório de Análise e Testes Veiculares da FATEC Santo André, um Gol G5 modelo 2009 (Figura 25), para realizar o teste funcional do sistema.

Figura 25 – Gol G5



Fonte: Próprio autor

Para medir valores de umidade relativa e temperatura do ar, foram utilizados um psicrômetro e um termômetro digital, respectivamente (Figura 26).

Figura 26 – Psicômetro (esquerda) e termômetro digital tipo espeto (direita)



Fonte: Próprio autor

Mediu-se a umidade relativa do ar em ambiente aberto – que estava em aproximadamente 46% - e depois o psicômetro foi colocado dentro do habitáculo para fazer a leitura no ambiente fechado. O termômetro foi posicionado na saída do difusor do ar-condicionado para medir a temperatura do ar que saia para o habitáculo (Figura 27).

Figura 27 – termômetro na saída do difusor



Fonte: Próprio autor

O sensor de dióxido de carbono foi fixado na entrada de ar do reciclo, já que é onde há o maior fluxo (Figura 28).

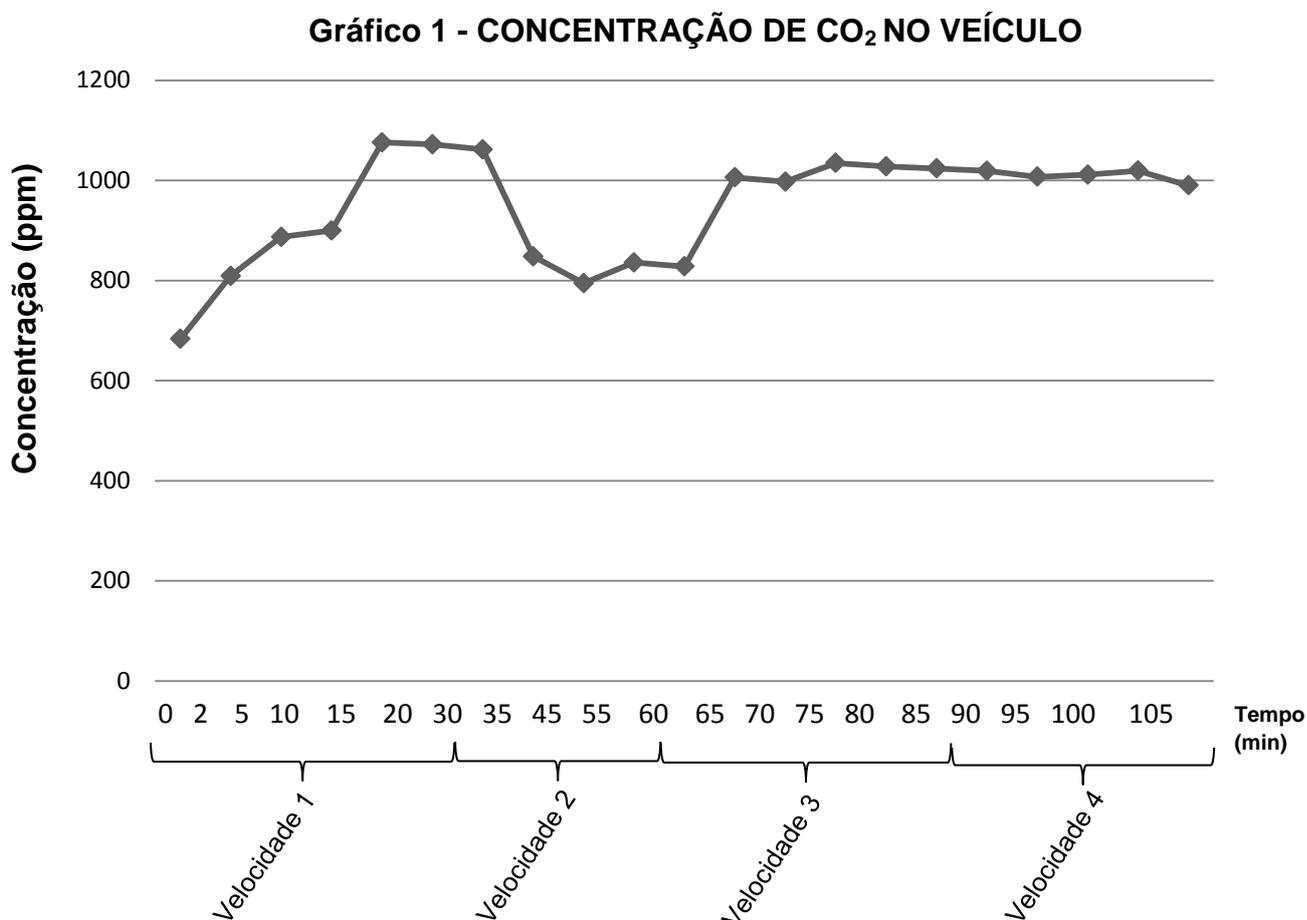
Figura 28 – Posicionamento do sensor



Fonte: Próprio autor

Com todos os componentes em seus devidos lugares e o sistema conectado a um notebook (para a concentração lida ser mostrada na tela), iniciou-se o teste,

onde as quatro velocidades do ar-condicionado foram colocadas – continuamente, ou seja, sem parar o teste, e sequencialmente – por durante trinta minutos cada. Os dados de concentração foram coletados a cada cinco minutos, e são mostrados no gráfico a seguir. Importante ressaltar que o teste foi realizado com três ocupantes e em ambiente coberto, ou seja, sem a incidência de raios solares.



A concentração inicial dentro do habitáculo era de aproximadamente 430 ppm. Nos primeiros minutos do ar-condicionado com o reciclo ligado, essa concentração já passou para 680ppm. E a partir deste momento só foi aumentando. A primeira queda significativa foi durante a velocidade 2 e nos primeiros minutos da velocidade 3. Isso porque a velocidade do ar que passa pelo sensor pode interferir na precisão da leitura. No final do teste, a concentração se encontrou estável, na casa de 1000ppm.

A temperatura do ar na saída do difusor lido pelo termômetro digital estava entre 2 e 3°C durante todo o teste. Após quase duas horas de reciclo ligado, a umidade relativa que era inicialmente 40%, passou a ser apenas 12%.

Com o funcionamento e leitura do sensor testados, foi acrescentado na programação, o servo-motor (Apêndice 2) – para que o sensor mande o valor lido do gás no habitáculo para o servo-motor controlar o ângulo de abertura da portinhola do reciclo conforme a concentração de dióxido de carbono aumenta.

Na programação foram colocadas várias etapas de leitura o qual influencia o grau de abertura da portinhola. Foi considerada a seguinte lógica, sabendo-se que, em relação ao dispositivo feito para melhor ilustrar o movimento, o servo motor abre no sentido anti-horário:

- Para valores de concentração maiores que 1000ppm, o servo-motor deverá abrir a portinhola do reciclo em 170° (Figura 29).

Figura 29 – Servo-motor aberto em 170°



Fonte: Próprio autor

- Para valores maiores que 900ppm, a portinhola deverá ser aberta em 120° (Figura 30).

Figura 30 – servo-motor aberto em 120°



Fonte: Próprio autor

- Para valores maiores que 800ppm, o servo-motor deverá abrir a portinhola em 90° (Figura 31).

Figura 31 – servo-motor aberto em 90°.



Fonte: Próprio autor

- Para valores de concentração maiores que 600ppm, o servo-motor deverá abrir a portinhola em 45° (Figura 32).

Figura 32 – servo-motor aberto em 45°.



Fonte: Próprio autor

Desta maneira, assim que uma destas concentração forem lidas pelo sensor de dióxido de carbono, o servo-motor abrirá a portinhola do reciclo na sua respectiva angulação por alguns segundos até que a concentração abaixe novamente. Contudo, deverá ser feita uma interpolação para a angulação de abertura do servo-motor (até 180°) corresponder à abertura da portinhola (até 90°).

Para melhor entendimento, a lógica de programação do sistema de monitoramento de dióxido de carbono no veículo quando o reciclo estiver ligado está sendo ilustrado no Apêndice 3.

## 5. CONCLUSÕES

Com os testes realizados e os dados obtidos, concluiu-se que a concentração de CO<sub>2</sub> aumenta significativamente após uma hora de reciclo ligado, onde os efeitos na saúde já começam a ser percebidos pelos ocupantes do veículo – como dor de cabeça, vias respiratórias irritadas e incômodo nos olhos. Um agravante é a baixa umidade, já que o ar-condicionado deixa o ar seco.

O sistema de abertura da portinhola funcionou como planejado na programação feita, a qual previa que quanto maior a concentração maior deveria ser a abertura dela.

Portanto, ambos os objetivos do trabalho foram alcançados: renovar o ar dentro do habitáculo quando o reciclo estiver ligado por muito tempo e as concentração de dióxido de carbono começarem a aumentar, passando do limite ideal para conforto e segurança dos ocupantes; e baratear o sistema já existente em veículos *top* de linha, utilizando componentes simples e funcionais.

## 6. TRABALHOS FUTUROS

O sensor utilizado (MQ135) faz a leitura de vários gases, isto é, ele não é exclusivo para dióxido de carbono. Contudo, um sensor específico para este gás é muito caro – o que vai contra um dos objetivos do trabalho. Por isso, sugere-se que seja feito um sensor apenas de CO<sub>2</sub> mas com componentes que ainda permita que o sistema seja barato.

Como foi verificado nos dados coletados no teste de funcionamento do sensor, a velocidade do ar pode ter influência na leitura do sensor. Portanto, um estudo da melhor maneira e do melhor lugar para colocar o sensor pode ajudar na precisão de leitura, acrescentando uma barreira para o ar ou então algum dispositivo que diminua sua velocidade.

Poderia ser acrescentado nesse sistema de monitoramento de gás um sensor de monóxido de carbono – ele estaria localizado fora do veículo (na entrada de ar externo) e quando lida alguma concentração deste gás tóxico, a portinhola seria fechada, impedindo a entrada de monóxido de carbono no habitáculo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANVISA, Resolução nº 9/2003. Disponível em: <[http://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/RES\\_RE\\_09.pdf](http://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/RES_RE_09.pdf)>. Acesso em: 12 mai.2018.

BAÚ DA ELETRÔNICA. Datasheet servo-motor MG90S. Disponível em: <<http://www.baudaeletronica.com.br/micro-servo-mg90-towerpro-engrenagens-de-metal.html>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

BAÚ DA ELETRÔNICA. Datasheet sensor MQ135. Disponível em: <<http://www.baudaeletronica.com.br/sensor-de-gas-mq-135-para-gases-toxicos.html>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

BAÚ DA ELETRÔNICA. Datasheet Placa Arduino UNO. Disponível em: <<http://www.baudaeletronica.com.br/arduino-uno-r3.html>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

BRICKUS, Leila; AQUINO NETO, Francisco. A qualidade no ar de interiores e a química. In: LADETEC – Instituto de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1998, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v22n1/1140>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

CANARIOPRESS (2013). Recirculação no ar condicionado. In: Meu Automóvel. Disponível em: <<https://bit.ly/2IMIFc8>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

DA SILVA, Mábia; SILVA, Milleny; DUARTE, Thainá. Efeitos do dióxido de carbono na saúde e no meio ambiente. In: Faculdade Alfredo Nasser – Instituto de Ciências da Saúde. Disponível em: <[http://www.faculdadealfredonasser.edu.br/files/Pesquisar\\_5/21-11-2016-21.34.56.pdf](http://www.faculdadealfredonasser.edu.br/files/Pesquisar_5/21-11-2016-21.34.56.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2018.

DIAS, Luis. Como funciona o sistema de ar condicionado. Paraná Refrigeração, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2GqffLJ>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE MEDICINA E SEGURANÇA DO TRABALHO (FUNDACENTRO). Educação em Segurança e Saúde no Trabalho- Orientações para Produção de Materiais Impressos com Fins Educativos. São Paulo, 2018.

GAUK MOTORS. William Groves Willians, 2016. Disponível em: <<http://gaukmotors.co.uk/post/william-grover-williams>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

GRUPO K2. Elementos que compõem o ar condicionado. K2 Centro Automotivo, 2016. Disponível em: <<https://k2centroautomotivo.com.br/2016/12/28/elementos-que-compoe-o-ar-condicionado-automotivo/>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

HELLA. Air Conditioning. Disponível em: < <https://www.behrhellaservice.com/behr-hella-service/en/Air-conditioning-5070.html>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

MADUREIRA, Joana. Impacte de uma grande linha de tráfego urbano na qualidade do ar e na saúde. In: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/11025/2/Texto%20integral.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

MARAN, Melsin. Estratégias para diagnósticos rápidos no sistema de ar condicionado, 2016. Disponível em: <<https://www.oficinabrasil.com.br/noticia/tecnicas/estrategias-para-diagnosticos-rapidos-no-sistema-de-ar-condicionado-automotivo>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

MESQUITA, Mayra; ARAÚJO, Flora. Diagnóstico da qualidade do ar interno das edificações do campus da Unifor. In: Universidade de Fortaleza, 2006. Disponível em: < <http://periodicos.unifor.br/tec/article/viewFile/78/4446>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

O ESTADO DE S. PAULO. Concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera em 2017 foi a maior da História. Disponível em: <<https://bit.ly/2OTGrbo>>. Acesso em: 21 dez. 2018.

QUADROS, Marina; MOREIRA, Isabel; DE CAMPOS, Priscila; SCHIRMER, Waldir; LISBOA, Henrique. Qualidade do ar interno em veículos automotivos e ônibus de transporte público em termos da concentração de dióxido de carbono. In: Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, 2008. Disponível em: <<https://bit.ly/2lqjyZm>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

VIEIRA, José Luiz. A história do automóvel – A evolução da modernidade. Disponível em: <<https://www.ecomotores.com.br/dicas-e-noticias/1571>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

WEB AR-CONDICIONADO. A história do ar-condicionado automotivo. Disponível em: <<http://www.webarcondicionado.com.br/a-historia-do-ar-condicionado-automotivo>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

WIKIHOW. Como fazer CO<sub>2</sub>. Disponível em: <<https://pt.wikihow.com/Fazer-CO%E2%82%82>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

## APÊNCICE

- Apêndice 1 – programação inicial para testar o funcionamento do sensor.

```
#define MQ_analog A2
#define MQ_dig 7

int valor_analog;
int valor_dig;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  //pinMode(MQ_analog, INPUT);
  pinMode(MQ_dig, INPUT);
}

void loop() {

  valor_dig = digitalRead(MQ_dig);
  valor_analog = analogRead(0);
  long RL = 20000;
  float Vout = valor_analog;
  float Rs;
  Rs = RL * (2750 - Vout) / Vout;
  float PPM_CO2 = 135*(Rs/RL) + 10;
  Serial.print(valor_analog);
  Serial.print(" || ");
  if(valor_dig == 0)
    Serial.println("GAS DETECTADO !!!");
  else
    Serial.println("GAS AUSENTE !!!");
  Serial.print("Concentracao: ");
  Serial.println(PPM_CO2);
  delay(500);
}
```

➤ Apêndice 2 – servo-motor incluído na programação anterior

```

#include <Servo.h>

#define MQ_analog A2
#define MQ_dig 7

int valor_analog;
int valor_dig;
Servo servo;

void setup() {
  Serial.begin(19200);
  //pinMode(MQ_analog, INPUT);
  pinMode(MQ_dig, INPUT);
  servo.attach(9);
}

void loop() {

  valor_dig = digitalRead(MQ_dig);
  valor_analog = analogRead(0);
  long RL = 20000;
  float Vout = valor_analog;
  float Rs;
  Rs = RL * (4500 - Vout) / Vout;
  float PPM_CO2 = 135*(Rs/RL) + 10;
  Serial.print(valor_analog);
  Serial.print(" || ");
  if(PPM_CO2 > 1000){
    Serial.println("GAS DETECTADO !!!");
    servo.write(170);

  }
  else if (PPM_CO2 > 900){
    servo.write(120);
  }

  else if (PPM_CO2 > 800){
    servo.write(90);
  }

  else if (PPM_CO2 > 600){
    servo.write(45);
  }

  else {
    Serial.println("GAS AUSENTE !!!");
    servo.write(0);
  }
  Serial.print("Concentracao: ");
  Serial.println(PPM_CO2);
  delay(500);
}

```

- Apêndice 3 – Fluxograma: lógica da programação do sistema de monitoramento de dióxido de carbono no veículo quando o reciclo estiver ligado.

