



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
PERNAMBUCO – *CAMPUS* BARREIROS  
DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL**

**CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

JESSICA RAYANE GOMES DE OLIVEIRA

**PROPOSTA DE MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAÇÃO DE CO<sub>2</sub>  
UTILIZANDO O SENSOR MQ-135**

Barreiros/PE  
2021

JESSICA RAYANE GOMES DE OLIVEIRA

**PROPOSTA DE MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAÇÃO DE CO<sub>2</sub>  
UTILIZANDO O SENSOR MQ-135**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal de Educação, de Ciência e Tecnologia de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientador: Me. Cirus Caio Nóbrega Barbosa

Barreiros/PE

2021

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFPE (SIBI/IFPE) – Biblioteca do *Campus* Barreiros  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

O48p Oliveira, Jessica Rayane Gomes de.  
Proposta de modelo matemático para determinação de CO2 utilizando o sensor MQ-135 / Jessica Rayane Gomes de Oliveira. – 2021.  
56 f. : il.

Orientador: Prof. Me. Cirus Caio Nóbrega Barbosa.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, *Campus* Barreiros, 2021.

1. Laboratório – Técnicas. 2. Qualidade do ar - Análises. 3. Sensores de gás. 4. Dióxido de carbono. 5. Monitorização ambiental. 6. Arduino (Controlador programável). I. Barbosa, Cirus Caio Nóbrega, orientador.  
II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.  
III. Título.

CDD 542



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL  
INSTITUTO FEDERAL DE PERNAMBUCO  
COORDENAÇÃO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

JÉSSICA RAYANE GOMES DE OLIVEIRA

Proposta de Modelo Matemático para Determinação de CO<sub>2</sub>, utilizando o Sensor MQ-135

Banca examinadora:

---

Me. Cirus Caio Nóbrega Barbosa - Orientador  
(UNINASSAU)

---

Dr. Jonh Anderson Macêdo Santos  
Avaliador interno ao curso (IFPE-Campus Barreiros)

---

Esp. Frederico Cezar da Silva Rocha  
Avaliador Externo ao curso - (UNINASSAU / SENAI)

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: **30 de dezembro de 2021.**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, por estar ao meu lado, e me dado forças para término dessa jornada.

Ao Prof. Cirus Caio Nobrega Barbosa, por sua disponibilidade em ajudar-me no desenvolvimento dessa pesquisa, pelo apoio e incentivo para a conclusão desse curso.

A minha família que sempre me apoiou nesse percurso, que sempre estiveram ao meu lado.

Agradeço à equipe de professores do Instituto Federal de Pernambuco-Campus Barreiros, não só do meu curso, mas dos demais, por contribuírem nessa jornada, sem esquecer dos técnicos de laboratórios, grata pela experiência vivenciada

Agradeço ao departamento de Iniciação científica pela disponibilização do material necessário para as pesquisas técnicas

Agradeço aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão desse curso.

## RESUMO

A qualidade do ar que se respira é um tema relevante e de grande importância para a saúde humana. Quando se refere a avaliação da concentração de gases, é muito comum os equipamentos calibrados serem menos acessíveis, normalmente não medem todos os gases, não mede todas as concentrações possíveis, são de complexa utilização e interpretação. Este trabalho teve como objetivo criar um modelo matemático com experimentos relativamente mais simples e acessíveis, utilizando o sensor de gases tóxicos (MQ-135) na quantificação do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) colocado em uma atmosfera controlada e seu comportamento conforme a umidade e temperatura (sensor DHT22), através da utilização da plataforma Arduino, recursos de linguagem de programação C++ que foi utilizada para processar as medições e enviá-las, para um computador. A investigação ocorreu visando testar a resposta do sensor quando em contato com o  $\text{CO}_2$ , onde foi possível apresentar resultados satisfatórios, graficamente e matematicamente o comportamento do mesmo. O conjunto proposto resultou num modelo matemático logarítmico (neperiano), com índice de determinação de 96,34%. É possível encontrar outros trabalhos com o sensor MQ-135, com alguns pontos em comum com os resultados dessa pesquisa. Neste trabalho e no de ARAUJO *et al.* (2019), que é o atual estado da arte, o súbito aumento das concentrações de  $\text{CO}_2$  no MQ-135 fez o sensor perder precisão, porém as semelhanças dos trabalhos se resumem a isto. Pelo apresentado, o presente trabalho, traz inovação ao campo de determinação de gás carbônico e qualidade do ar.

Palavras-chaves: qualidade do ar; gás carbônico; Arduino; sensores de gás.

## ABSTRACT

The quality of the air we breathe is a relevant issue of great importance to human health. When it comes to evaluating the concentration of gases, it is very common for calibrated equipment to be less accessible, normally they do not measure all gases, do not measure all possible concentrations, are complex to use and interpret. This work aimed to create a mathematical model with relatively simpler and more accessible experiments, using the toxic gas sensor (MQ-135) to quantify carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) placed in a controlled atmosphere and its behavior according to humidity and temperature (DHT22 sensor), using the Arduino platform, C++ programming language resources that were used to process the measurements and send them to a computer. The investigation took place in order to test the sensor response when in contact with CO<sub>2</sub>, where it was possible to present satisfactory results, graphically and mathematically, its behavior. The proposed set resulted in a logarithmic mathematical model (Neperian), with a determination index of 96.34%. It is possible to find other works with the MQ-135 sensor, with some points in common with the results of this research. In this work and in that of ARAUJO *et al.* (2019), which is the current state of the art, the sudden increase in CO<sub>2</sub> concentrations in the MQ-135 made the sensor lose precision, but the similarities of the works boil down to this. For the presented, the present work brings innovation to the field of determination of carbon dioxide and air quality.

Keywords: air quality; carbon dioxide; Arduino; gas sensors.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Sensor de Gás Catalítico MQ-135 .....	16
<b>Figura 2</b> - Sensor DHT22 pinos .....	17
<b>Figura 3</b> - Equação Química que representa a Fotossíntese .....	19
<b>Figura 4</b> - Unidade Sensora .....	22
<b>Figura 5</b> - Exemplo tupla de dados da US, armazenada no SD Card .....	22
<b>Figura 6</b> - Câmara de expansão .....	23
<b>Figura 7</b> - Fluxograma-dinâmica do experimento .....	24
<b>Figura 8</b> - Fluxograma-dinâmica do experimento .....	25
<b>Figura 9</b> - Testes de estanqueidade .....	26
<b>Figura 10</b> - Gráfico de dispersão dos 100 resultados do experimento de aquisição do Branco de Fundo .....	30
<b>Figura 11</b> - Gráfico de dispersão dos 100 resultados do experimento de saturação do sensor MQ-135.....	31
<b>Figura 12</b> - Gráfico de dispersão dos 100 resultados do experimento 01.....	31
<b>Figura 13</b> - Gráfico da média dos 10 últimos resultados das séries dos experimentos x resistividade do MQ-135.....	33



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Resultados da Determinação do Volume da CEG .....	27
<b>Tabela 2</b> - Volumes dos Subitens da US .....	28
<b>Tabela 3</b> - Resumo dos Cem Experimentos do Branco de Fundo .....	29
<b>Tabela 4</b> - Resumo dos Cem Experimentos de Saturação do Sensor .....	30
<b>Tabela 5</b> - Resumo Geral dos experimentos: massa de CO <sub>2</sub> X resistividade dos últimos 10 resultados .....	32

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1	Contextualização geográfica e histórica .....	10
1.2	Problema .....	10
1.3	Hipóteses .....	11
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
2.1	Objetivo Geral.....	12
2.2	Objetivos Específicos .....	12
2.3	Classificação da pesquisa .....	12
2.4	Quanto à Natureza.....	12
2.5	Quanto à Abordagem do Problema .....	13
2.6	Quanto aos Objetivos .....	13
2.7	Quanto aos Procedimentos Técnicos .....	13
2.8	Organização do trabalho .....	13
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>14</b>
3.1	Métodos analíticos para gases .....	14
3.2	Sensores de gás.....	15
3.3	Sensor MQ-135 .....	16
3.4	Sensor DHT22.....	16
3.5	Arduino.....	17
3.6	Sistemas Embarcados .....	18
3.7	CO <sub>2</sub> .....	18
3.8	Dióxido de carbono e o meio ambiente .....	19
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>21</b>
4.1	Cilindro de CO <sub>2</sub> .....	21
4.2	Balão Elastomérico .....	21
4.3	Unidade Sensora .....	21
4.4	Câmara de Expansão de Gases .....	23
4.5	Experimentos .....	24
4.6	Algoritmo (Marcha Experimental).....	25
4.7	Apresentação dos Resultados.....	25

<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>26</b>
5.1	Calibração da Câmara de Expansão de Gases (CEG)	26
5.2	Determinação do Volume da Unidade Sensora	27
5.3	Volume Útil do CEG	29
5.4	Determinação do Branco de Fundo	29
5.5	Determinação do Ponto de Saturação do Sensor	30
5.6	Determinação da Resistividade em Cada Balão	31
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>34</b>
6.1	Trabalhos Futuros	34
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>35</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>37</b>
	<b>APÊNDICE A - Dados do Branco de Fundo</b>	<b>37</b>
	<b>APÊNDICE B - Dados do Ponto de Saturação do Sensor MQ-135</b>	<b>38</b>
	<b>APÊNDICE C - Dados dos Experimentos</b>	<b>39</b>
	<b>APÊNDICE D - Resumo dos Experimentos</b>	<b>49</b>
	<b>APÊNDICE E - Gráficos dos Experimentos</b>	<b>52</b>
	<b>ANEXO</b>	<b>56</b>
	<b>ANEXO A- Laudo do CO<sub>2</sub></b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Existe um trinômio nas análises químicas de gases sendo o custo do método, a disponibilidade/acessibilidade e a sensibilidade. Muitas vezes, quando um método é sensível ele é caro e pouco disponível. Quando disponível e barato, também é pouco sensível. Ou seja, existe espaço para novas propostas de métodos analíticos de gases (CARDOSO, 2018).

Neste sentido, muitos criam sensores baratos e eficazes para análise de gases. Por exemplo, os sensores das famílias: 40XV, MH, SGX, MP, GS, SEC, MC, FIGARO, MQA família de sensores mais popular é a MQ, pois seus preços são baixos e, segundo os fabricantes, a seletividade e sensibilidade são altas (HANWEI, 2021).

Apesar do informado pelos fabricantes do MQ na ficha de dados (Datasheet's) dos sensores, não existem estudos apresentados pelos mesmos nem por terceiros que comprovem as informações disponibilizadas. Neste sentido, este trabalho se dedica a propor um modelo matemático para detecção de gás CO<sub>2</sub>, utilizando o sensor MQ-135 da companhia chinesa Hanwei.

Para além disso, a qualidade do ar que é um tema relevante e de grande importância para a saúde humana e do ambiente. Toda iniciativa em criar modelos, sistemas, métodos e equipamentos é bem-vinda a compor as novas iniciativas em benesse do planeta.

### 1.1 Contextualização geográfica e histórica

Esta pesquisa se passa no município de Recife, estado de Pernambuco, Brasil. Realizada nos laboratórios da Indústria de Bebidas RÄYE Ltda, sob a orientação do Drndo. Me. Caio Barbosa. E sua parte prática foi realizada entre as datas de 01 de março de 2021 e 16 de maio do mesmo ano.

### 1.2 Problema

O MQ-135 possui Datasheet com boas informações sobre seu projeto físico, elétrico e eletrônico. Porém, sua parte química que é a que será usada na pesquisa carece de fontes externas. Além disso, são sensíveis os seguintes aspectos:

O modelo proposto pelo fabricante exige prévia calibração que envolve o  $\text{NH}_3$  em condições muito rígidas de temperatura, umidade e concentração de  $\text{O}_2$ , para determinar uma razão entre a resistência elétrica observada nos terminais do sensor, durante medições, e a resistência observada na calibração. O fabricante não prevê em seu modelo alteração da temperatura e do  $\text{O}_2$  que deve ter concentração específica no ambiente de 21%. O fabricante realizou apenas três experimentos (10, 100 e 200PPM) para determinar a curva de resposta da concentração dos gases que o MQ-135 pode detectar.

### **1.3 Hipóteses**

É possível determinar um modelo matemático que equacione diretamente a resistência elétrica observada nos terminais do MQ-135, para uma dada temperatura e umidade.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Propor um modelo matemático para determinar o nível de CO<sub>2</sub> em uma atmosfera controlada, utilizando o sensor MQ-135, dado certa temperatura e umidade.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Definir um sistema para obter dados do MQ-135;
- Definir um método experimental que possa analisar o CO<sub>2</sub>;
- Definir um modelo matemático para determinação do nível de CO<sub>2</sub>, dada a resistência elétrica nos terminais do MQ-135.

### 2.3 Classificação da pesquisa

De forma a tornar claro o escopo e a aplicação da pesquisa, esta seção apresenta classificadores tradicionalmente utilizados.

### 2.4 Quanto à Natureza

Adotada a classificação por JUNG (2003), podemos dizer que esta pesquisa é:

**De escopo positivo:** uma *pesquisa aplicada*, pois visa gerar novos conhecimentos e processos, para uma a solução imediata de problemas determinados e específicos, com objetivo prático, usando a pesquisa básica como suporte.

**De escopo negativo:** uma *pesquisa tecnológica*, pois não tem por objetivo a materialização tecnológica, ou seja, gerar um protótipo ou criar um produto, mesmo que para chegar o resultado tenha sido criado um protótipo.

## 2.5 Quanto à Abordagem do Problema

Adotada a classificação descrita pelo JUNG (2003), esta pesquisa é *quantitativa*, pois utiliza-se de parâmetros estatísticos, para analisar os dados. Tudo é transformado em números.

## 2.6 Quanto aos Objetivos

Adotada a classificação descrita por SILVA (2014), temos que esta pesquisa é *descritiva*, pois visa identificar e descrever as características e relações entre variáveis, na observação de um dado fenômeno.

## 2.7 Quanto aos Procedimentos Técnicos

Adotada a combinação de classificadores de JUNG (2004), esta pesquisa pode ser classificada por *experimental*, pois está relacionada a experimentar, gerar inovações, testar materiais e protótipos, coletando dados e manipulando variáveis.

Quanto ao Local de Realização

Adotada a classificação do JUNG (2004), esta pesquisa é *de laboratório*, pois usa condições artificiais totalmente manipuladas pelo pesquisador.

## 2.8 Organização do trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

Capítulo 1 – Introdução

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica

Capítulo 3 - Materiais e Métodos

Capítulo 4 - Resultados e Discussão

Capítulo 5 – Conclusão

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Métodos analíticos para gases

A cada ano que se passa é possível perceber que a qualidade do ar vem decaindo gradativamente, principalmente nos centros urbanos, com isso despertando nos cientistas o interesse pelo estudo de métodos analíticos desses gases. O aumento emissões provenientes de fontes móveis (frota veicular) devido ao aumento do número de veículos que circulam, é hoje mais expressiva do que aquela procedente das atividades industriais. Com isso fazendo com que a emissão de alguns poluentes atmosféricos, sejam frequentemente excedidos (SCHIRMER; GAUER, 2012).

Diversos métodos analíticos têm sido desenvolvidos para a avaliação desses gases poluentes na atmosfera, sensores analíticos e alguns mais usuais como, métodos cromatográficos, espectrofotométricos e fluorimétricos. A maioria deles, atualmente, opera com etapas de separação e pré-concentração anteriores à detecção para atingir informações qualitativas e quantitativas (CRUZ; CAMPOS, 2008). Cada um desses métodos tem suas especificidades, o cromatográfico é, antes de tudo, um procedimento físico-químico de análise empregado tanto na separação de compostos químicos como na identificação quantitativa e qualitativa das espécies separadas (NASCIMENTO *et al.*, 2018). Já espectroscopia fundamenta-se na interatividade entre a energia e a matéria, analisando a informação obtida através dessa interação (radiação eletromagnética). Essa energia envolvida no processo pode ser tanto emitida quanto absorvida pelas moléculas. Através da análise espectroscópica da energia envolvida, é possível determinar a concentração de diferentes espécies químicas (SKOOG; WEST; HOLLER, 2009).

Já o sensoriamento de gás, tornou-se de grande importância por sua aplicação em várias áreas, industrial, automotiva, médica entre outros. Essa significância deu-se por sua tecnologia inteligente de detecção de gás. Para que o desempenho desses procedimentos seja adequado e garanta bons resultados é necessário considerar vários indicadores: sensibilidade, seletividade, tempo de resposta, consome de energia, reversibilidade, capacidade adsortiva, custo de fabricação, tendo em vista que existem vários fatores que influenciam na instabilidade do sensor de gás. Dessa forma eles devem apresentar estabilidade e um bom funcionamento (LIU *et al.*, 2012).



### 3.2 Sensores de gás

Cada vez mais tem crescido o interesse por dispositivos de detecção de gases principalmente para a indústria da saúde, monitoração ambiental e controle de processos (LIU *et al.*, 2012).

Um dos principais dispositivos são os sensores de gás, que podem converter o analito em um sinal elétrico que pode ser eletronicamente analisado. Os sensores são fundamentais de um sistema de detecção de gases, um depende do outro para que a análise seja precisa, desta forma ambos têm que ser do mesmo nível em relação ao seu desempenho. Para atender esta demanda, novas pesquisas têm sido desenvolvidas em novos sensores, e novas melhorias nos domínios da sensibilidade, seletividade e estabilidade dos sensores dos dispositivos convencionais, assim como os sensores de óxidos metálicos. Os sensores sólidos de óxido metálico têm uma representatividade significativa no mercado de sensores em 1988 representou \$ 1,5 bilhão em todo o mundo, foi realizada uma projeção que até 2010 esse valor passar a \$ 2,5 bilhões. Mesmo como novos sensores, esses dispositivos ainda continuam sendo uma escolha amplamente usada, pois oferecem baixo custo e relativa simplicidade (HOOKER *et al.*, 2002).

Mesmo com as vantagens mencionadas os óxidos metálicos apresentam várias desvantagens, como por exemplo, as altas temperaturas de operação, extensos períodos de recuperação após um uso único e a baixa seletividade (LIU *et al.*, 2012).

Existem outros que são usualmente utilizados nas análises de gases e são também adequados e largamente usados, sendo eles: eletroquímicos; catalíticos de gases combustíveis; de fotoionização. Os sensores eletroquímicos quando em contato com o gás detectado reagem resultando a um sinal elétrico correspondente à concentração do gás. Os sensores catalíticos são compostos de elementos muito simples, analisam a energia emitida durante o processo de oxidação de gases. Utilizados na detecção de gases combustíveis. Por fim, os sensores de gás por fotoionização utilizam a luz ultravioleta para ionização das moléculas do gás (CHOU, 2000). Todos os sensores mencionados são muito importantes para os dias atuais, pois podem detectar uma variedade gases como o dióxido e o monóxido de carbono, GLP, metano, vapores de álcool, ou seja, gases que hoje contribuem para a poluição da atmosfera e aumento do efeito estufa em nosso planeta.

### 3.3 Sensor MQ-135

O Sensor de Gás MQ-135 (Figura 1) é um módulo capaz de detectar diversas categorias de gases tóxicos como amônia ( $\text{NH}_3$ ), dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), benzeno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), dióxido de enxofre ( $\text{H}_2\text{S}$ ), e fumaça e outros gases no ar (GESSAL; LUMENTA; SUGIARSO, 2019).

**Figura 1** - Sensor de Gás Catalítico MQ-135



Fonte: Hanwei (2008)

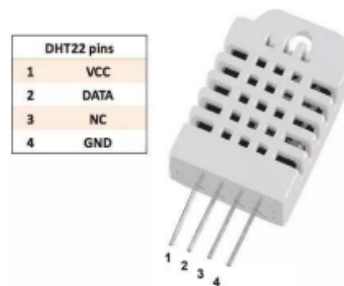
O módulo MQ-135, pode reconhecer concentrações entre as faixas de 100 a 10.000ppm, podendo possuir uma variável de tensão de 0 - 5V. O sensor do MQ135 pode ser operado na faixa de temperatura de -10 a 70°C, consumindo uma corrente aproximada de 150mA. A curva de sensibilidade de cada gás se diferencia entre um e outro, garantindo um bom desempenho nas análises individual dos gases. Como grande maioria dos sensores, o MQ135 tem uma resposta ao ambiente dependente de temperatura e umidade local (JESUS, 2017).

### 3.4 Sensor DHT22

O DHT22 (Figura 2) é um sensor para temperatura e umidade relativa do ar, de fabricação chinesa, portuguesa e tailandesa. O sensor tem seu funcionamento ativado quando operado com 3 a 6 VDC (Volts em Corrente Contínua), sua temperatura entre 40 a 80 °C e de 0-100%, para a umidade relativa do ar (UR), apesar dessas especificidades sua imprecisão é de  $\pm 0,2$  °C na faixa de -20 a 60 °C para a temperatura do ar e para outras faixas de  $\pm 0,5$  °C. Para a umidade relativa do ar possui incerteza de  $\pm 2$  %. (SPARKFUN, 2017). O DHT22 é composto 4 pinos que

são chamados de terminais, quando operado utiliza apenas 3 pinos, o de alimentação (Vcc), o de envio e terra (GND - ground) (MORAIS JUNIOR, 2017).

**Figura 2 - Sensor DHT22 pinos**



Fonte: Liu (2018)

O DHT22 possui uma saída de sinal digital calibrado. Para a coleta de sinal digital de umidade é utilizado uma técnica exclusiva, com isso assegurando sua confiabilidade e estabilidade. O sensor conta com as seguintes especificações;

- Fonte de alimentação de 3.3-6 v;
- Sinal de saída digital e via barramento único;
- Elemento de detecção é um capacitor de polímero;
- Faixa de umidade operacional é de 0-100% RH e temperatura entre -40~80 °C;
- Umidade tem pressão de  $\pm 2\%$  RH (Max  $+5\%$  RH) e temperatura de  $<\pm 0.1$  °C;
- Resolução e sensibilidade: umidade de 0.1% RH e Temperatura 0.1 °C;
- Repetibilidade com umidade de  $\pm 1\%$  RH e temperatura  $\pm 0.2$  °C ;
- Histerese de umidade de  $\pm 0.3\%$  RH;
- Estabilidade de longa duração de  $+0.5\%$  RH/anos;
- De detecção: 2s, com dimensões de 14 x18 x 5,5 mm; 22 x 28 x 5 mm. (LIU, Thomas,2018).

### 3.5 Arduino

Desde 2005, onde se deu início a utilização do Arduino, cada vez mais cresce os números referentes à utilização desse tipo de placa no mundo inteiro, foram vendidas mais de um milhão de placas de Arduino e suas variantes, somando as

placas-clones oficiais e não oficiais. Esse número expressivo se dá devido ao seu grande potencial open source e sua grande capacidade de criar projetos de forma rápida, fácil e sua grande facilidade de utilização. Permitindo que pessoas que não tenham uma formação técnica possam ter aptidão em utilizá-lo (MCROBERTS, 2018)

O Arduino pode ser comparado a um minicomputador para processar e programar por entradas e saídas entre um dispositivo externo, ambos conectados, mais conhecidas popularmente como uma plataforma de embarcada. O Arduino pode ser usado no desenvolvimento de objetos interativo independente ou trabalhar na recuperação, processamento e interpretação de dados enviados quando conectados a um dispositivo, rede ou internet, por fim, podendo se conectar a variados dispositivos (MCROBERTS, 2018).

### **3.6 Sistemas Embarcados**

Os sistemas embarcados estão cada vez mais presentes no cotidiano das pessoas, atuando principalmente na redução de custos do produto e sua produção, alguns desses sistemas são; sistemas automotivos, operacionais de eletrodomésticos, sistema de comunicação, robótica, sistemas aeroespaciais, no controle de processos entre outros. O sistema embarcado é um sistema computacional que quando operado utiliza apenas um dispositivo ou programa controlado realizando tarefas pré-definidas e específicas e otimizando essas atividades, além disso, possuem também uma alta interação com sensores e atuadores, tem um baixo consumo de energia, confiabilidade e alto desempenho. Dessa forma esses sistemas trazem conforto, rapidez, segurança, comodidade dentre outros benefícios para as tarefas pretendidas (DENARDIN; BARRIQUELLO, 2019).

### **3.7 CO<sub>2</sub>**

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é um composto químico fundamental para a manutenção da vida na Terra, pois é um gás essencial para o processo fotossintético, está presente no ciclo do carbono. Em contrapartida, o excesso de dióxido de carbono na atmosfera é prejudicial ao planeta e aos seres vivos, pois ele é um dos principais poluentes contribui para o aumento do efeito estufa. O CO<sub>2</sub> é

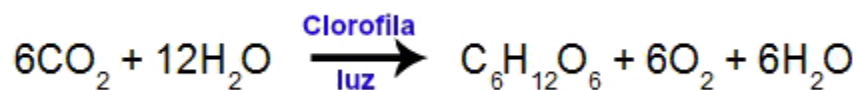
uma substância com grande utilização para fins comerciais, como por exemplo, para produção de algumas bebidas (refrigerantes) e em extintores de incêndio. Sua fórmula molecular apresenta um átomo de carbono e dois de oxigênio (DUQUE, 2019). É um gás caracterizado por ser liquefeito, incolor, inodoro, não é inflamável, levemente ácido, sendo mais pesado que o ar e é solúvel em água. O gás carbônico compõe apenas 0,03% do ar atmosférico. Ele aparece como resultado da respiração dos seres vivos e da combustão. E é a partir do CO<sub>2</sub> e da água que as plantas produzem açúcares no processo da fotossíntese (DIAS, 2018).

### 3.8 Dióxido de carbono e o meio ambiente

O fenômeno físico, Efeito Estufa, pelo qual o planeta Terra mantém-se aquecido. De fato, o planeta é uma grande estufa natural, pois detém em seu interior uma quantidade de calor suficiente para haver vida na terra (DIAS, 2018).

O CO<sub>2</sub> como outros gases atmosféricos apresentam a capacidade de absorver parte da radiação infravermelha proveniente do sol após ser refletida pela superfície do nosso planeta. Mediante a absorção dessa radiação, os gases liberam essa energia na forma de calor para o interior do planeta, caracterizando o efeito estufa. Já o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e a água reagem no interior do cloroplasto (organela celular), quando na presença de luz, captada por uma substância denominada clorofila. A equação química que representada abaixo (Figura 3), apresenta esse processo (NEVES, 2019):

**Figura 3** - Equação Química que representa a Fotossíntese



Fonte: DIAS (2021)

Após a reação os produtos gerados são carboidrato (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>), gás oxigênio (O<sub>2</sub>) e água (H<sub>2</sub>O). O gás é liberado para a atmosfera, e o carboidrato é utilizado para a produção de energia para a célula vegetal (NEVES, 2019).

Ao longo dos anos, grandes prejuízos têm sido provocados pelo excesso de CO<sub>2</sub> produzidos, grande parte derivados das diversas ações do ser humano, levando a um

consequente aumento da concentração de dióxido de carbono e outros gases-estufa na atmosfera. As Queimadas excessivas em locais diversos; indústrias que realizam combustão (queima) de materiais; agropecuária; a queima de combustíveis fósseis (gasolina, querosene e óleo diesel) e não fósseis (biodiesel e etanol), entre outras, lideram o ranking de produção mais de dióxido de carbono no meio ambiente gerando as seguintes consequências:

- Aumento do efeito estufa;
- Aumento de chuvas ácidas;
- Modificação da composição química da água do mar (favorece o aumento da quantidade de ácido na água do mar);
- Variações climáticas em todo o planeta (tempestades, ondas de calor, furacões, tornados etc.);
- Elevação do nível dos mares, em virtude do derretimento de calotas polares (NEVES, 2019).

Essas consequências não têm previsão de diminuir e sim gradativamente agravar. Dessa forma, cada vez mais se torna importante às pesquisas que vem se expandindo nessa área de gases nocivos (NEVES, 2019).

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

Para atingir os objetivos deste trabalho, foram elaborados experimentos que envolvem o uso de um conjunto artesanal de câmara de expansão e unidade sensora.

Sintaticamente a unidade sensora faz medições sucessivas na câmara de expansão de gases hermeticamente fechada, armazenando os dados num cartão do tipo SD Card, após o estouro do balão contendo CO<sub>2</sub>, por uma agulha contida no interior da câmara.

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Química da Indústria de Bebidas Raye Ltda., localizada na Av. Beberibe, nº 1584, Arruda, Recife-PE, CEP 52.120-000, sob a orientação do Professor e Responsável Técnico Me. Caio Barbosa.

### **4.1 Cilindro de CO<sub>2</sub>**

Como fonte confiável de CO<sub>2</sub>, foi utilizado um cilindro para enchimento dos balões, de marca Linde, fornecido pela empresa MARCELA ELISA S. R. CAMPOS GASES E EQUIPAMENTOS, CNPJ 21.058.568/0001-33 com pureza 99,99%, segundo laudo constante no ANEXO A.

### **4.2 Balão Elastomérico**

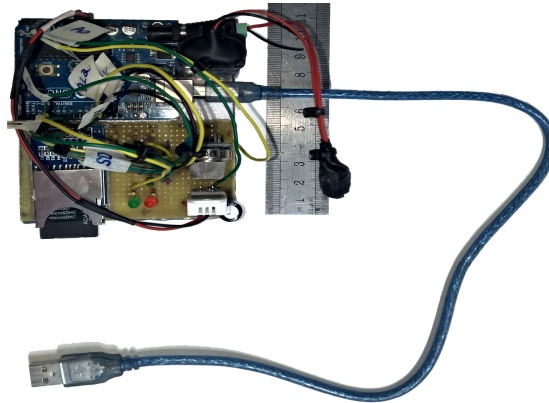
Com finalidade de conter o CO<sub>2</sub>, para que se definisse a massa do mesmo em cada experimento, foram utilizados balões de latex.

Para cada experimento, um balão foi pesado totalmente vazio em uma balança de precisão de três casas decimal e anotada sua massa. Logo em seguida, acoplado no cilindro de CO<sub>2</sub>, preenchido com o gás, amarrado e pesado novamente. Subtraindo-se às massas antes e depois é possível determinar a massa do gás contido no balão.

### **4.3 Unidade Sensora**

A Unidade Sensora (US) (Figura 4) foi utilizada uma plataforma Arduino UNO previamente preparada com: um barramento para sensores da família MQ; um barramento para sensor DHT 22, para detecção de umidade e temperatura do ar; um barramento para módulo de leitura e gravação de SD Card.

**Figura 4 - Unidade Sensora**



Fonte: autoria própria (2021)

A US realiza mecanicamente dez medições a cada 500ms e apresenta o resultado como uma média que deve ser entendida como o resultado venal válido para o dado intervalo de tempo. As medidas são tomadas até que se tenham 100 resultados perfeitos.

Esta técnica de assumir uma média, num dado tempo, como um valor pontual é necessária e usual, pois existem oscilações inerentes à eletrônica utilizada. Estas oscilações são decorrência do conversor analógico-digital interno do Arduino que possui resolução de 10bits.

Às variáveis capturadas pela US são:

- Umidade Relativa do Ar, %.
- Temperatura do Ar, °C.
- Resistividade Elétrica interna do MQ-135 dada o Ar, ohms.

A US armazena os dados no SD Card, num arquivo do tipo TXT usando a estrutura da tupla de dados como se vê na Figura 5.

**Figura 5- Exemplo tupla de dados da US, armazenada no SD Card**

```
[26;0;71.30;31.20;141.00]
[26;1;71.30;31.20;141.00]
[26;2;71.30;31.20;141.00]
[26;3;71.30;31.20;148.00]
[26;4;73.00;31.20;146.00]
[26;5;73.00;31.20;143.00]
[26;6;73.00;31.20;140.00]
[26;7;73.00;31.20;138.00]
[26;8;73.00;31.20;135.00]
[26;9;73.00;31.20;132.00]
[26;10;72.90;31.20;131.00]
[26;11;72.90;31.20;131.00]
[26;12;72.90;31.20;130.00]
[26;13;72.90;31.20;125.00]
[26;14;72.80;31.20;120.00]
```

Fonte: autoria própria (2021)



A US é dotada de dois sinais luminosos: um verde, para indicar às tomadas sucessivas de resultados, que só inicia após 1 minuto depois de ligar o equipamento; um vermelho, para sinalizar o fim das 100 tomadas de resultados.

A US foi submetida à calibração, para se remover o branco dos valores da resistividade, uma vez que a atmosfera possui  $\text{CO}_2$ .

#### 4.4 Câmara de Expansão de Gases

A Câmara de Expansão de Gases (CEG) (Figura 6) foi feita com um balde alimentar hermético de alta vedação. Este tipo de balde normalmente é utilizado pela indústria de alimentos por ter alta resistência e vedação, aguentando normalmente 30Kg de massa e pressão interna de até  $2,0 \text{ kgf/cm}^2$ . O que torna um excelente vaso para expansão de gases a baixas pressões.

Apesar do volume do balde alimentar ser declarado pelo fabricante como 16L de capacidade, foi realizado um experimento para determinar com maior precisão o volume e também determinar o erro associado à esta medição.

**Figura 6** - Câmara de expansão



Fonte: autoria própria (2021)

A CEG comporta plenamente a US e ainda um balão elastômero, com quantidade de massa de  $\text{CO}_2$  controlada adicionada para realizar os testes.

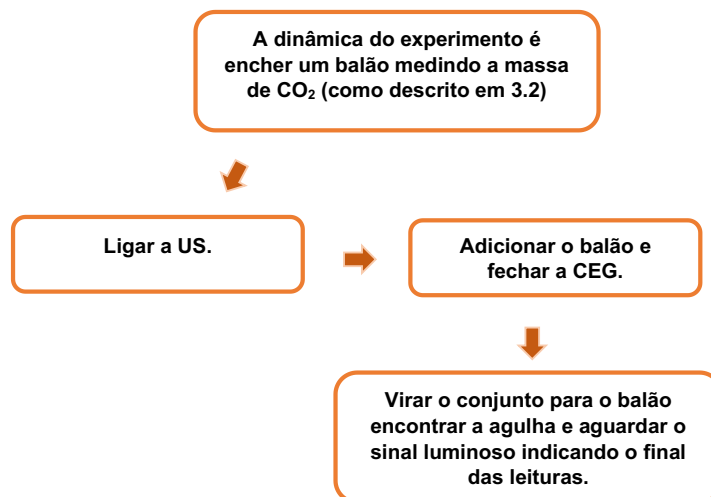
Adicionalmente o CEG contém uma agulha fixada internamente na sua tampa, para perfurar o balão.

A CEG foi testada quanto a sua estanqueidade, quanto o seu volume real e o real útil.

#### 4.5 Experimentos

A CEG foi montada com a US no seu interior e fixada com fita dupla-face. Na parte interior da tampa, foi fixada uma agulha (tipo tachinha), usando fita crepe. A dinâmica do experimento foi de acordo com o fluxograma contido na Figura 7:

**Figura 7 - Dinâmica do experimento**



Fonte: autoria própria (2021)

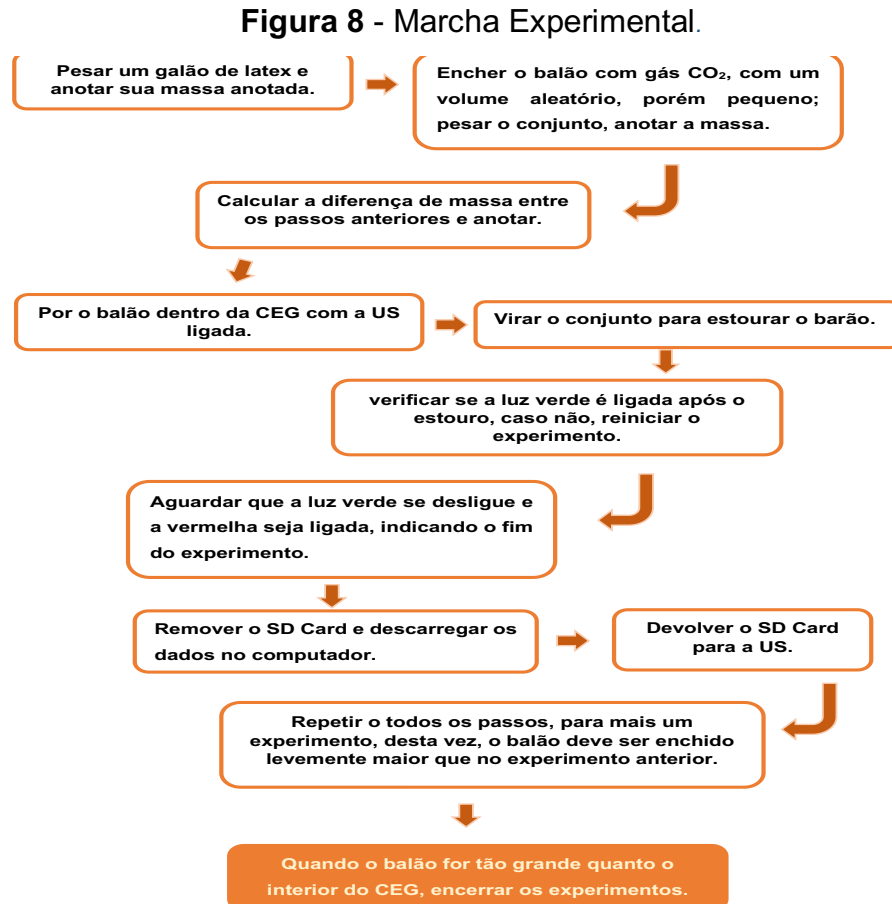
O experimento é repetido tantas vezes quanto possível, sempre enchendo o próximo balão um pouco mais do que o anterior, até que o último não caiba no interior da CEG.

Então, o SD Card era retirado do equipamento e descarregado no computador para análise.

Adicionalmente, a mesma dinâmica foi repetida para calibrar o branco de fundo, como mencionado em 4.1 e para determinar a saturação máxima. Ou seja, o mesmo experimento foi executado: sem o balão para determinar o branco de fundo, para excluir a excitação do sensor dado o CO<sub>2</sub> presente no ar; sem o balão e preenchendo toda câmara com CO<sub>2</sub> e expulsando o ar, para determinar o ponto de saturação máxima.

## 4.6 Algoritmo (Marcha Experimental)

A dinâmica Marcha Experimental foi de acordo com o fluxograma contido na Figura 8:



Fonte: autoria própria (2021)

## 4.7 Apresentação dos Resultados

De forma indexada:

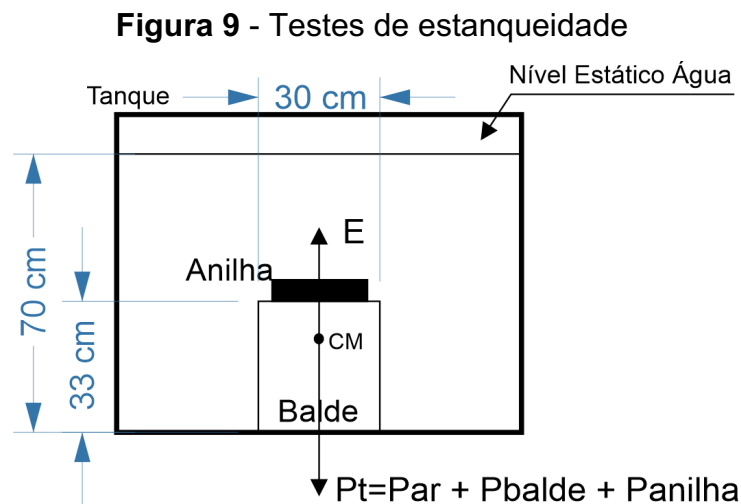
- Será calculado o volume útil da CEG, subtraindo o volume medido do vaso do CEG e o volume estimado da US;
- Será apresentada a média das medidas do branco de fundo e da saturação do sensor e sua distribuição de pontos;
- Será apresentada a média dos resultados dos experimentos e sua distribuição de pontos;
- Os volumes dos balões serão usados para calcular a concentração de CO<sub>2</sub> em mg/L (PPM) dentro da CEG;
- As médias dos experimentos serão resumidas em um gráfico vs. a concentração de CO<sub>2</sub> e gerando a linha de tendência e o índice de determinação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Calibração da Câmara de Expansão de Gases (CEG)

A câmara, que se trata de um balde alimentar hermético, foi testada quanto a sua estanqueidade e quanto ao seu volume real.

Para o teste de estanqueidade, a câmara foi fechada e afundada 70 cm dentro de um tanque de água, com auxílio de anilhas de aço, por 10 minutos como se vê na Figura 9. Após o referido tempo o balde foi retirado do tanque de água e completamente seco por fora. Então foi aberto e analisado o seu conteúdo que era apenas de ar sem vestígios de água.



Calculando a pressão máxima (no fundo) do tanque:

Pelo princípio de Steven  $P = \rho gh$ , sendo  $\rho$  (densidade, massa específica) da água  $1\,000,0\text{ kg/m}^3$ ,  $g$  (gravidade)  $9,81\text{ m/s}^2$ ,  $h$  (altura manométrica)  $0,70\text{ m}$ , temos que a pressão é de  $6\,860,0\text{ N/m}^2$  ( $0,069\text{ kgf/cm}^2$  ou  $0,068\text{ atm}$ ). Sendo a pressão absoluta de  $1,068\text{ atm}$ .

Sendo a pressão exercida no balde durante a calibração, maior do que nos testes e o tempo da aplicação desta pressão ser o dobro que nos testes, podemos afirmar que o balde mantém a estanqueidade de forma satisfatória.

O volume real do vaso também foi tomado medindo-se o volume interno ocupado pelo balde, procedendo da seguinte forma: o balde foi cheio até transbordar e tapado, observado a presença de bolhas, com uso de uma lanterna. O procedimento foi até que não se observaram bolhas no interior. Então o vaso foi

aberto cuidadosamente, para não haver perda de matéria, e medido o seu volume com auxílio de uma proveta graduada de 500 ml com precisão igual à  $\pm 2,0\text{mL}$ .

Então, foram realizadas as seguintes medições:

**Tabela 1- Resultados da Determinação do Volume da CEG**

#	Medições	Total	Erro Total
1	32 x 500,0 ml + 1 x 70,0 ml	16070,0 ml	66,0 ml
2	32 x 500,0 ml + 1 x 72,0 ml	16072,0 ml	66,0 ml
3	32 x 500,0 ml + 1 x 71,0 ml	16071,0 ml	66,0 ml
<b>MÉDIA</b>		<b>16071,0 ml</b>	<b>66,0 ml</b>

Fonte: autoria própria (2021)

Apesar de determinar o volume da CEG, este valor não é o volume aplicável aos cálculos de diluição do  $\text{CO}_2$ , pois existe o volume ocupado da US que deve ser descontado para uma maior precisão.

## 5.2 Determinação do Volume da Unidade Sensora

O volume da US foi estimado aferido a dimensão da maioria dos seus elementos e calculando o seu volume. Algumas considerações foram necessárias, por exemplo: que a geometria de fios e capacitores eletrolíticos fossem perfeitamente cilíndricas; que as placas tivessem geometria perfeita de um paralelepípedo.

Todas as dimensões foram tomadas com paquímetro de exatidão igual à  $\pm 0,05\text{mm}$ . Todos os valores podem ser vistos na Tabela 02.

Tabela 2 - Volumes dos Subitens da US

Item	Geometria	Dimensões	Volume	Erro Total
Placa de Fenolite integrada ao Arduino	Paralelepípedo	6,2mm <sup>a</sup> 92,7mm <sup>c</sup> 160,2mm <sup>l</sup>	92073,4mm <sup>3</sup>	0,125mm <sup>3</sup>
Bateria	Paralelepípedo	25,5mm <sup>a</sup> 17,0mm <sup>c</sup> 45,0mm <sup>l</sup>	17212,5mm <sup>3</sup>	0,125mm <sup>3</sup>
Capacitor 1000uF	Cilindro	10,0mm <sup>d</sup> 16,0mm <sup>a</sup>	400,0mm <sup>3</sup>	0,25mm <sup>3</sup>
Capacitor 47uF #1	Cilindro	5,5mm <sup>d</sup> 4,5mm <sup>a</sup>	106,9mm <sup>3</sup>	0,25mm <sup>3</sup>
Capacitor 47uF #2	Cilindro	5,5mm <sup>d</sup> 4,5mm <sup>a</sup>	106,9mm <sup>3</sup>	0,25mm <sup>3</sup>
Sensor MQ135	Tronco de Cone	19,0mm <sup>b+</sup> 13,0mm <sup>b-</sup> 17,2mm <sup>a</sup> 20,5mm <sup>a</sup>	13988,1mm <sup>3</sup>	0,125mm <sup>3</sup>
Conector Jack Macho	Paralelepípedo	13,3mm <sup>c</sup> 13,3mm <sup>l</sup> 8,5mm <sup>a</sup>	326,2mm <sup>3</sup>	0,125mm <sup>3</sup>
Conector Jack Fêmea	Paralelepípedo	18,0mm <sup>c</sup> 10,0mm <sup>l</sup> 12,0mm <sup>a</sup>	1530,0mm <sup>3</sup>	0,125mm <sup>3</sup>
Conector USB Fêmea	Paralelepípedo	12,0mm <sup>c</sup> 15,5mm <sup>l</sup> 21,0mm <sup>a</sup>	2232,0mm <sup>3</sup>	0,125mm <sup>3</sup>
Sensor DHT22	Paralelepípedo	7,5mm <sup>c</sup> 15,0mm <sup>l</sup> 5,0mm <sup>a</sup>	2362,5mm <sup>3</sup>	0,125mm <sup>3</sup>
Controlador	Paralelepípedo	7,0mm <sup>c</sup> 3,5mm <sup>l</sup> 5,0mm <sup>d</sup>	784,0mm <sup>3</sup>	0,125mm <sup>3</sup>
LED #1	Cilindro	7,8mm <sup>a</sup> 5,0mm <sup>d</sup>	151,1mm <sup>3</sup>	0,25mm <sup>3</sup>
LED #2	Cilindro	7,8mm <sup>a</sup> 5,0mm <sup>d</sup>	151,1mm <sup>3</sup>	0,25mm <sup>3</sup>
SD	Paralelepípedo	35,0mm <sup>a</sup> 48,0mm <sup>c</sup> 4,0mm <sup>l</sup>	6720,0mm <sup>3</sup>	0,125mm <sup>3</sup>
Botão	Paralelepípedo	9,0mm <sup>a</sup> 9,0mm <sup>c</sup> 13,5mm <sup>l</sup>	1093,5mm <sup>3</sup>	0,125mm <sup>3</sup>
Reforço da Base #1	Paralelepípedo	95,0mm <sup>a</sup> 26,0mm <sup>c</sup> 2,0mm <sup>l</sup>	4940,0mm <sup>2</sup>	0,125mm <sup>3</sup>
Reforço da Base #2	Paralelepípedo	95,0mm <sup>a</sup> 26,0mm <sup>c</sup> 2,0mm <sup>l</sup>	4940,0mm <sup>2</sup>	0,125mm <sup>3</sup>
Fiação (total 267cm)	Cilindro	1,0mm <sup>d</sup> 267cm <sup>a</sup>	2096,0mm <sup>3</sup>	0,25mm <sup>3</sup>
VOLUME TOTAL			151214,1mm <sup>3</sup>	3,0 mm <sup>3</sup>

a = altura, c = comprimento, l = largura, d = diâmetro; b+ = base maior; b- = base menor

Fonte: autoria própria (2021)

Pelo visto na Tabela 02, o volume aproximado da US é de  $151214,1 \pm 3,0\text{mm}^3$  ( $151,214 \pm 0,003\text{mL}$ ).

### 5.3 Volume Útil do CEG

Sabendo o volume do vaso do CEG e o ocupado pela US é possível determinar o volume útil da CEG, que é a diferença entre os dois volumes anteriores.

Algebricamente:

$$\text{Vol. Útil}_{\text{CEG}} = (\text{Vol. Vaso}_{\text{CEG}}) - (\text{Vol. US})$$

$$\text{Vol. Útil}_{\text{CEG}} = (16.071,0 \pm 66,0) - (151,214 \pm 0,003) [\text{mL}] \therefore$$

$$\text{Vol. Útil}_{\text{CEG}} = 15.919,8 \pm 66,0 \text{ mL (Equação 01)}$$

### 5.4 Determinação do Branco de Fundo

Para determinar o branco de fundo, como descrito em 4.5, o esquema experimental foi montado e a US forneceu os dados constantes em APÊNDICE I e resumidos na Tabela 03.

**Tabela 3 - Resumo dos Cem Experimentos do Branco de Fundo**

Item	Umidade [%]	Temperatura [°C]	MQ 135 [ohm]
MÉDIA ARITMÉTICA	73,9	30,4	59,4
MÁXIMO	74,2	30,5	66,0
MÍNIMO	72,3	30,3	53,0
<b>DESVIO PADRÃO POPULACIONAL</b>	<b>0,344</b>	<b>0,087</b>	<b>2,549</b>

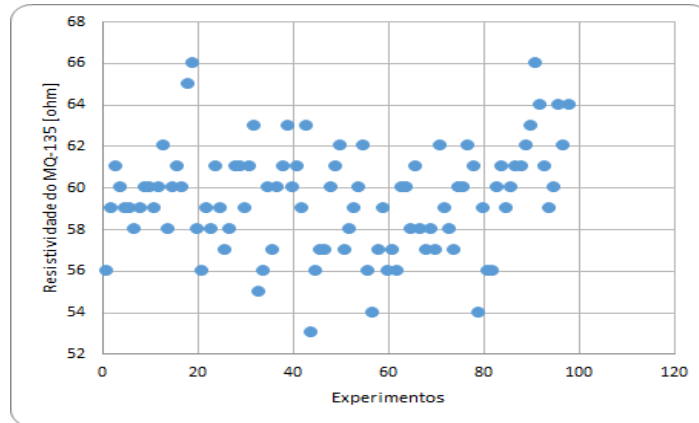
Fonte: autoria própria (2021)

É possível afirmar que a umidade e temperatura possuem médias bem representadas, pois o Desvio Padrão Populacional (DPP) é muito menor que 3 Desvios Padrão (DPs) . Por outro lado, a resistividade variou bastante, porém ainda abaixo de 3DPs.

Podemos assumir a média como nosso branco, ou seja, o patamar mais baixo de excitação do nosso modelo, devido ao  $\text{CO}_2$  presente no ar.

É possível acompanhar a distribuição dos pontos (100 experimentos) variando de cota ao longo do eixo ordenado, no gráfico contido na Figura 10.

**Figura 10** - Gráfico de dispersão dos 100 resultados do experimento de aquisição do Branco de Fundo



Fonte: autoria própria (2021)

### 5.5 Determinação do Ponto de Saturação do Sensor

O ponto de saturação do sensor foi determinado, como descrito em 4.5. Os dados são constantes em APÊNDICE II e resumidos na Tabela 04.

**Tabela 4** - Resumo dos Cem Experimentos de Saturação do Sensor

Item	Umidade [%]	Temperatura [°C]	MQ 135 [ohm]
MÉDIA ARITMÉTICA	68,4	28,0	267,8
MÁXIMO	69,7	28,1	291,0
MÍNIMO	67,4	28,0	237,0
DESVIO PADRÃO POPULACIONAL	0,888	0,048	15,253

Fonte: autoria própria (2021)

Observando a Tabela 04 é possível afirmar que a umidade e temperatura possuem médias bem representadas com baixo DDP, o que não se verifica com a resistividade do sensor com 15,253DDPs.

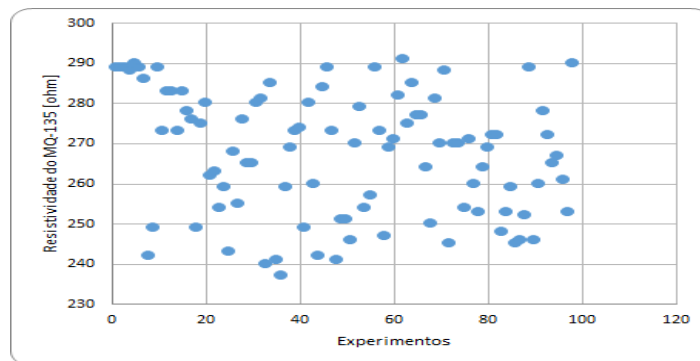
Provavelmente, o fato de saturar o sensor com  $\text{CO}_2$  pode ocasionar em desvios tão altos. O fenômeno em si deve ter relação com a engenharia do MQ-135,



mas este é um ponto sensível ainda em aberto. Entretanto é crível que desvios altos são característicos deste sensor. Observando a situação simétrica, ou seja, o branco de fundo apresenta um desvio surpreendentemente alto e longe da saturação - porém, ainda abaixo do 3DPs.

É possível acompanhar a distribuição dos pontos (100 experimentos) variando de cota ao longo do eixo ordenado, no gráfico contido na Figura 11.

**Figura 11-** Gráfico de dispersão dos 100 resultados do experimento de saturação do sensor MQ-135

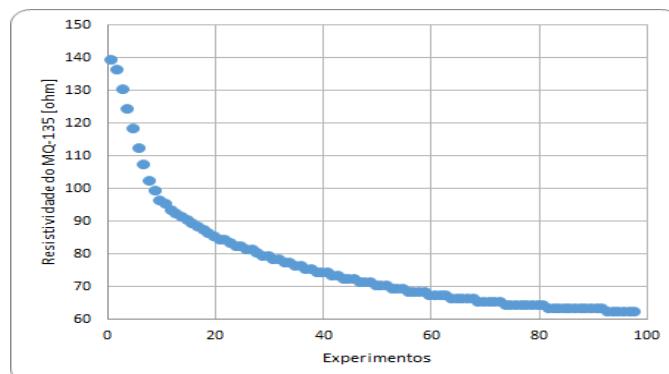


Fonte: autoria própria (2021)

## 5.6 Determinação da Resistividade em Cada Balão

Todos os experimentos constantes em 4.5 foram executados. E após a obtenção dos dados dos primeiros resultados foi percebido que, diferentemente dos experimentos para o Branco de Fundo e Saturação, os valores variam com o tempo. É possível observar a variação, por exemplo, no gráfico da Figura 12 que corresponde ao Experimento 01 (massa  $\text{CO}_2$  de 0,32g).

**Figura 12 -** Gráfico de dispersão dos 100 resultados do experimento 01



Fonte: autoria própria (2021)

Em virtude da natureza do experimento, onde um balão explode ao ser perfurado, e a conseguinte dispersão do CO<sub>2</sub> na CEG até a completa homogeneização, é plausível que:

- O início da curva descendente apresenta maiores resistividades, pois o sensor é brevemente saturado até que a atmosfera da câmara fique homogênea;
- O fim da curva apresenta uma tendência de estabilização da resistividade, uma vez que assintota o eixo da abscissa;
- A média das últimas 10 ocorrências representa o valor estável da resistividade para o experimento.

Este comportamento se repete em todos os experimentos, como se pode ver nos valores tabelados do APÊNDICE A, nos resumos do APÊNDICE D e nos gráficos do APÊNDICE E.

A Tabela 05 resume a média dos 10 últimos valores da série da resistividade do MQ-135, já descontado o Branco de Fundo, além de apresentar os desvios padrão populacionais. Os desvios são todos aceitáveis e menores do que 1DPs.

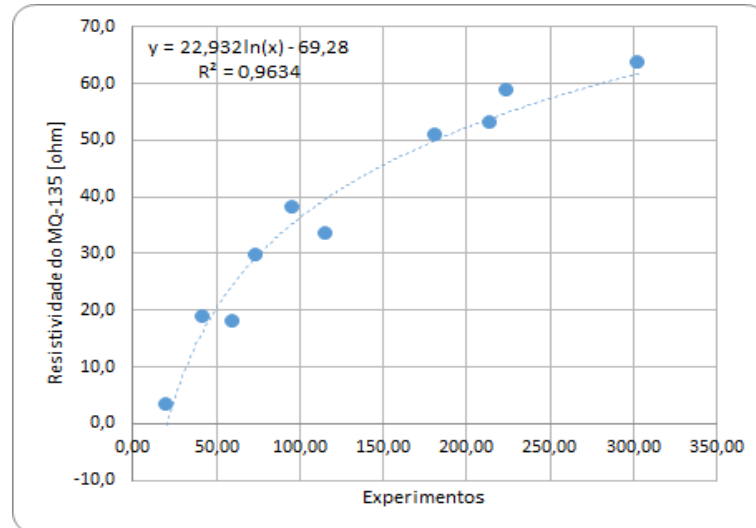
**Tabela 5 -** Resumo Geral dos experimentos: massa de CO<sub>2</sub> X resistividade dos últimos 10 resultados

#	Massa CO <sub>2</sub> na Bexiga [g]	Concentração do CO <sub>2</sub> na CEG [mg/L, PPM]	Resistividade dos 10 últimos resultados, descontado o Branco de Fundo [ohm]	Desvio Padrão Populacional da resistividade dos 10 últimos resultados [adm]
1	0,32	20,10	3,1	0,498
2	0,68	42,71	18,6	0,000
3	0,96	60,30	19,2	0,386
4	1,18	74,12	29,6	0,000
5	1,53	96,11	37,9	0,445
6	1,84	115,58	33,3	0,481
7	2,89	181,53	50,7	0,996
8	3,42	214,83	52,9	0,617
9	3,58	224,88	58,6	0,000
10	4,82	302,77	63,6	0,000

Fonte: autoria própria (2021)

Cruzando os valores da concentração de CO<sub>2</sub> na CEG e da resistividade constantes na Tabela 05, chegamos ao gráfico da Figura 13.

**Figura 13** - Gráfico da média dos 10 últimos resultados das séries dos experimentos x resistividade do MQ-135



Fonte: autoria própria (2021)

Com auxílio da computacional, é possível determinar a linha de tendência e o índice de determinação. Noutras palavras, com 96,34% de certeza, podemos determinar a Equação 02 como a curva característica do MQ-135, de forma logarítmica.

$$f(x) = 22,932 \ln(x) - 69,28 \quad (\text{Equação 02})$$

É importante perceber que, de forma corroborativa, a curva se encontra abaixo da média de saturação do sensor. Ou seja, abaixo de 267,8ohms ou 208,4ohms se descontarmos o branco de fundo. Esta última comparação reafirma também a premissa de que o sensor, assim que o balão é estourado, é brevemente saturado e, em seguida, a resistividade é estabilizada.

## **6 CONCLUSÃO**

De acordo com os dados apresentados, o modelo matemático desenvolvido no presente trabalho utilizando o sensor MQ-135 apresenta alto potencial de aplicabilidade na determinação do CO<sub>2</sub> em uma atmosfera controlada de acordo com o método experimental desenvolvido, após análises dos experimentos e dados adquiridos foi possível chegar a equação de forma logarítmica. Porém por se tratar de um sistema muito sensível e volátil, foi identificado que de forma corroborativa, a curva se encontra abaixo da média de saturação do sensor, pois assim que o balão é estourado, é brevemente saturado e, mas logo em seguida verificou-se sua estabilidade.

### **6.1 Trabalhos Futuros**

Pretende-se aprimorar o modelo matemático, operando com outros sensores de gás, de preferência os que medem concentrações de poluentes definidos como o MQ-131 (gás ozônio) e 2SH12 (gás dióxido de enxofre), com a realização de testes em ambientes abertos.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Jean Marcel Milaré *et al.* Utilização de sensor mq-135 na quantificação de gás carbônico proveniente de decomposição de palhada de soja. *In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA*, 11., 2019. **Anais eletrônico [...]**. Maringá, PR: UNICESUMAR, 2019. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/epcc2019/186356-utilizacao-de-sensor-mq-135-na-quantificacao-de-gas-carbonico-proveniente-de-decomposicao-de-palhada-de-soja/>. Acesso em: 1 jun. 2021.

CARDOSO, Eliton Ricardo *et al.* **Nanotubos de carbono decorados com óxido de ferro aplicados a sensores de gás**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

CHOU, Jack. **Hazardous gas monitors: a practical guide to selection, operation and applications**. New York: McGraw-Hill Professional Publishing, 2000.

CRUZ, Lícia PS; CAMPOS, Vânia P. Métodos de amostragem e análise para compostos reduzidos de enxofre atmosférico. **Química Nova**, Salvador, BA, v. 31, p. 1180-1189, 2008.

DENARDIN, Gustavo Weber; BARRIQUELLO, Carlos Henrique. **Sistemas operacionais de tempo real e sua aplicação em sistemas embarcados**. São Paulo-SP: Blucher, 2019.

DIAS, Diogo Lopes. **Dióxido de carbono: manual da química**. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-ambiental/dioxido-carbono.htm/>. Acesso em: 25 jul. 2021.

DUQUE, Nathalia. **Gás carbônico**. Disponível em: <http://www.estudopratico.com.br/gas-carbonico/>. Acesso em: 7 jan. 2022.

GESSAL, Costantien IY; LUMENTA, Arie S. M.; SUGIARSO, Brave A. Kolaborasi aplikasi Android dengan sensor MQ-135 melahirkan detektor polutan udara. **Jurnal Teknik Informatika**, Sam Ratulangi Manado, v. 14, n. 1, p. 109-120, 2019.

HANWEI. **Datasheet: technical data MQ-135 gas sensor**. [s. l.], 2008.

HANWEI. **Products**. Disponível em: <https://www.hwsensor.com/>. Acesso em: 1 jun. 2021.

HOLLER, F. James; SKOOG, Douglas A.; CROUCH, Stanley R. **Princípios de análise instrumental**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HOOKER, Stephanie A. *et al.* Nanotechnology advantages applied to gas sensor development. *In: THE NANOPARTICLES 2002 CONFERENCE PROCEEDINGS. Business Communications Co., Inc.*, Norwalk, p. 1-7, 2002.

JESUS, Gradimilo Cândido. **Desenvolvimento de uma plataforma de monitoramento do ambiente via wireless para o biotério da UFOP**. 2017. 52 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

JUNG, Carlos Fernando; ENG, M. Metodologia científica. **Ênfase em pesquisa tecnológica**, São Paulo, v. 3, n. 41, p. 41, 2003.

LIU, Thomas. **Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named, China), 2021**. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132459/ETC2/DHT22.html/>. Acesso em: 14 jul. 2021.

LIU, Xiao *et al.* A survey on gas sensing technology. **Sensors**, v. 12, n. 7, p. 9635-9665, 2012.

MCROBERTS, Michael. **Arduino básico**. São Paulo: Novatec, 2018.

MEDEIROS, Eliton S. *et al.* Uso de polímeros condutores em sensores: parte 2: aplicações em sensores. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, São Carlos, SP, v. 7, n. 3, p. 144–158, 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/182970/1/UsodePolimerosCondutoresemSensores.-Parte-2....pdf>. Acesso em: 1 jun. 2021.

MORAIS JUNIOR, Amauri Marcos Costa de. **Sistema de monitoramento de temperatura e umidade relativa do ar – simtu-ar: (uma contribuição para a sala de máquinas da ressonância magnética do huol)**, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Biomédica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do *et al.* **Cromatografia gasosa: aspectos teóricos e práticos**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2018.

NEVES, Juliete. Dióxido de carbono. **Educa Mais Brasil**. [Brasília, DF], 5 jun. 2019. Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/dioxido-de-carbono/>. Acesso em: 24 jul. 2021.

SCHIRMER, Waldir Nagel; GAUER, Mayara Ananda. Os biocombustíveis no Brasil: panorama atual, emissões gasosas e os métodos analíticos de monitoramento da qualidade do ar referente a gases de natureza orgânica. **Ambiência**, Guarapuava, PR, v. 8, n. 1, p. 139-157, 2012.

SILVA, Antônio João Hocayen da. **Metodologia de pesquisa: conceitos gerais**. 2014. Disponível em: <http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/177444>. Acesso em: 24 jul. 2021.

SPARKFUN humidity and temperature sensor. Disponível em: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/si7021-humidity-and-temperature-sensor-hookup-guide/all/>. Acesso em: 14 jul. 2021.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A - Dados do Branco de Fundo

#	H.%	T [°C]	MQ135	#	H.%	T [°C]	MQ135
1	72	30,3	55	51	74	30,5	61
2	72	30,3	58	52	74	30,5	62
3	72	30,3	56	53	74	30,5	57
4	74	30,3	59	54	74	30,5	58
5	74	30,3	61	55	74	30,5	59
6	74	30,3	60	56	74	30,5	60
7	74	30,3	59	57	74	30,5	62
8	74	30,3	59	58	74	30,5	56
9	74	30,3	58	59	74	30,5	54
10	74	30,3	59	60	74	30,5	57
11	74	30,3	60	61	74	30,5	59
12	74	30,3	60	62	74	30,5	56
13	74	30,3	59	63	74	30,5	57
14	74	30,3	60	64	74	30,5	56
15	74	30,3	62	65	74	30,5	60
16	74	30,3	58	66	74	30,5	60
17	74	30,3	60	67	74	30,5	58
18	74	30,3	61	68	74	30,5	61
19	74	30,3	60	69	74	30,5	58
20	74	30,3	65	70	74	30,5	57
21	74	30,3	66	71	74	30,5	58
22	74	30,3	58	72	74	30,5	57
23	74	30,3	56	73	74	30,5	62
24	74	30,3	59	74	74	30,5	59
25	74	30,3	58	75	74	30,5	58
26	74	30,3	61	76	74	30,5	57
27	74	30,3	59	77	74	30,5	60
28	74	30,4	57	78	74	30,5	60
29	74	30,4	58	79	74	30,5	62
30	74	30,3	61	80	74	30,5	61
31	74	30,3	61	81	74	30,5	54
32	74	30,4	59	82	74	30,5	59
33	74	30,4	61	83	74	30,5	56
34	74	30,4	63	84	74	30,5	56
35	74	30,4	55	85	74	30,5	60
36	74	30,4	56	86	74	30,5	61
37	74	30,4	60	87	74	30,5	59
38	74	30,4	57	88	74	30,5	60
39	74	30,4	60	89	74	30,5	61
40	74	30,4	61	90	74	30,5	61
41	74	30,4	63	91	74	30,5	62
42	74	30,4	60	92	74	30,5	63
43	74	30,4	61	93	74	30,5	66
44	74	30,4	59	94	74	30,5	64
45	74	30,4	63	95	74	30,5	61
46	74	30,4	53	96	74	30,5	59
47	74	30,4	56	97	74	30,5	60
48	74	30,4	57	98	73	30,5	64
49	74	30,4	57	99	73	30,5	62
50	74	30,5	60	100	73	30,5	64

### APÊNDICE B - Dados do Ponto de Saturação do Sensor MQ-135

#	H.%	T [°C]	MQ135	#	H.%	T [°C]	MQ135
1	67,4	28,0	287	51	69,7	28,1	251
2	67,4	28,0	288	52	69,7	28,0	251
3	67,4	28,0	289	53	69,7	28,0	246
4	68,8	28,0	289	54	69,7	28,1	270
5	68,8	28,0	289	55	69,7	28,1	279
6	67,8	28,0	288	56	69,7	28,1	254
7	67,8	28,0	290	57	69,7	28,1	257
8	67,8	28,0	289	58	69,7	28,1	289
9	67,8	28,0	286	59	69,7	28,1	273
10	67,8	28,0	242	60	69,7	28,0	247
11	67,8	28,0	249	61	69,7	28,0	269
12	67,8	28,0	289	62	69,7	28,0	271
13	68,0	28,0	273	63	69,7	28,0	282
14	68,0	28,0	283	64	69,7	28,0	291
15	68,0	28,0	283	65	67,7	28,0	275
16	68,0	28,0	273	66	67,7	28,0	285
17	68,0	28,0	283	67	67,7	28,0	277
18	68,0	28,0	278	68	67,7	28,0	277
19	68,0	28,0	276	69	67,7	28,0	264
20	68,0	28,0	249	70	67,7	28,0	250
21	68,0	28,0	275	71	67,7	28,0	281
22	68,0	28,0	280	72	67,7	28,1	270
23	68,0	28,0	262	73	67,7	28,1	288
24	68,0	28,0	263	74	67,7	28,1	245
25	68,0	28,0	254	75	67,7	28,1	270
26	68,0	28,0	259	76	67,7	28,1	270
27	69,7	28,0	243	77	67,7	28,1	254
28	69,7	28,0	268	78	67,7	28,1	271
29	69,7	28,0	255	79	67,7	28,1	260
30	69,7	28,0	276	80	67,7	28,1	253
31	69,7	28,0	265	81	67,7	28,1	264
32	69,7	28,0	265	82	67,7	28,1	269
33	69,7	28,0	280	83	67,7	28,1	272
34	69,7	28,0	281	84	67,7	28,1	272
35	69,7	28,0	240	85	67,7	28,1	248
36	69,7	28,0	285	86	67,7	28,1	253
37	68,0	28,0	241	87	67,7	28,1	259
38	68,0	28,0	237	88	67,7	28,1	245
39	68,0	28,0	259	89	67,7	28,1	246
40	68,0	28,0	269	90	67,7	28,1	252
41	68,0	28,0	273	91	67,7	28,1	289
42	68,0	28,0	274	92	67,7	28,1	246
43	68,0	28,0	249	93	67,7	28,1	260
44	69,7	28,0	280	94	67,7	28,1	278
45	69,7	28,0	260	95	67,7	28,1	272
46	69,7	28,0	242	96	67,7	28,1	265
47	69,7	28,0	284	97	67,7	28,1	267
48	69,7	28,0	289	98	67,7	28,1	261
49	69,7	28,0	273	99	67,7	28,1	253
50	69,7	28,1	241	100	68,0	28,1	290

Fonte: autoria própria (2021)



## APÊNDICE C - Dados dos Experimentos

- **Dados do Experimento 01**

#	H.%	T [°C]	MQ135	#	H.%	T [°C]	MQ135
1	71	31,5	125	51	71	31,5	71
2	71	31,5	136	52	70	31,5	70
3	71	31,5	139	53	70	31,5	70
4	73	31,5	136	54	70	31,5	70
5	73	31,5	130	55	70	31,5	69
6	73	31,5	124	56	70	31,5	69
7	73	31,5	118	57	70	31,5	69
8	73	31,5	112	58	70	31,5	68
9	73	31,5	107	59	70	31,5	68
10	73	31,5	102	60	70	31,5	68
11	73	31,5	99	61	70	31,5	68
12	72	31,5	96	62	70	31,5	67
13	72	31,5	95	63	70	31,5	67
14	72	31,5	93	64	70	31,5	67
15	72	31,5	92	65	70	31,5	67
16	72	31,5	91	66	70	31,6	66
17	72	31,5	90	67	70	31,6	66
18	71	31,5	89	68	70	31,5	66
19	71	31,5	88	69	70	31,5	66
20	71	31,5	87	70	70	31,5	66
21	71	31,5	86	71	70	31,5	65
22	71	31,5	85	72	70	31,5	65
23	71	31,5	84	73	70	31,5	65
24	71	31,5	84	74	70	31,6	65
25	71	31,5	83	75	70	31,6	65
26	71	31,5	82	76	70	31,6	64
27	71	31,5	82	77	70	31,6	64
28	71	31,5	81	78	70	31,6	64
29	71	31,5	81	79	70	31,6	64
30	71	31,5	80	80	70	31,6	64
31	71	31,5	79	81	70	31,6	64
32	71	31,5	79	82	70	31,6	64
33	71	31,5	78	83	70	31,6	64
34	71	31,5	78	84	70	31,6	63
35	71	31,5	77	85	70	31,6	63
36	71	31,5	77	86	70	31,6	63
37	71	31,5	76	87	70	31,6	63
38	71	31,5	76	88	70	31,6	63
39	71	31,5	75	89	70	31,6	63
40	71	31,5	75	90	70	31,6	63
41	71	31,5	74	91	70	31,6	63
42	71	31,5	74	92	70	31,6	63
43	71	31,5	74	93	70	31,6	63
44	71	31,5	73	94	70	31,6	63
45	71	31,5	73	95	70	31,6	62
46	71	31,5	72	96	70	31,6	62
47	71	31,5	72	97	70	31,6	62
48	71	31,5	72	98	70	31,6	62
49	71	31,5	71	99	70	31,6	62
50	71	31,5	71	100	70	31,6	62

- **Dados do Experimento 02**

#	H.%	T [°C]	MQ135	#	H.%	T [°C]	MQ135
1	72	31,6	131	51	70	31,6	81
2	72	31,6	133	52	70	31,6	81
3	72	31,6	134	53	70	31,6	81
4	74	31,7	131	54	70	31,6	81
5	74	31,7	127	55	70	31,6	81
6	74	31,7	121	56	70	31,6	81
7	74	31,7	114	57	70	31,6	81
8	72	31,7	108	58	70	31,6	81
9	72	31,7	103	59	70	31,6	81
10	72	31,7	98	60	70	31,6	81
11	72	31,7	95	61	70	31,6	80
12	71	31,7	93	62	70	31,6	80
13	71	31,7	91	63	70	31,6	80
14	71	31,6	89	64	70	31,6	80
15	71	31,6	88	65	70	31,6	80
16	71	31,6	88	66	70	31,6	80
17	71	31,6	87	67	70	31,6	80
18	71	31,6	86	68	70	31,6	80
19	71	31,6	86	69	70	31,6	80
20	71	31,6	86	70	70	31,6	80
21	71	31,6	85	71	70	31,6	79
22	70	31,6	85	72	70	31,6	79
23	70	31,6	85	73	70	31,6	79
24	70	31,6	85	74	70	31,6	79
25	70	31,6	85	75	70	31,6	79
26	70	31,6	84	76	70	31,6	79
27	70	31,6	84	77	70	31,6	79
28	70	31,6	84	78	70	31,7	79
29	70	31,6	84	79	70	31,7	79
30	70	31,6	84	80	70	31,7	79
31	70	31,6	84	81	70	31,7	79
32	70	31,6	84	82	70	31,7	79
33	70	31,6	84	83	70	31,7	78
34	70	31,6	84	84	70	31,7	78
35	70	31,6	84	85	70	31,7	78
36	70	31,6	83	86	70	31,7	78
37	70	31,6	83	87	70	31,7	78
38	70	31,6	83	88	70	31,7	78
39	70	31,6	83	89	70	31,7	78
40	70	31,6	83	90	70	31,7	78
41	70	31,6	83	91	70	31,7	78
42	70	31,6	83	92	70	31,7	78
43	70	31,6	83	93	70	31,7	78
44	70	31,5	82	94	70	31,7	78
45	70	31,5	82	95	70	31,7	78
46	70	31,6	82	96	70	31,6	78
47	70	31,6	82	97	70	31,6	78
48	70	31,6	82	98	70	31,7	78
49	70	31,6	82	99	70	31,7	78
50	70	31,6	82	100	70	31,7	78

Fonte: autoria própria (2021)

- **Dados do Experimento 03**

#	H.%	T [°C]	MQ135	#	H.%	T [°C]	MQ135
1	71	31,2	150	51	72	31,3	89
2	71	31,2	157	52	72	31,3	88
3	71	31,2	155	53	72	31,3	88
4	73	31,2	152	54	72	31,3	87
5	73	31,2	149	55	72	31,3	87
6	73	31,2	147	56	72	31,3	86
7	73	31,2	144	57	72	31,3	86
8	73	31,2	141	58	72	31,3	85
9	73	31,2	140	59	72	31,3	85
10	73	31,2	140	60	72	31,3	85
11	73	31,2	139	61	72	31,3	84
12	73	31,2	134	62	72	31,3	84
13	73	31,2	129	63	72	31,3	83
14	73	31,2	125	64	72	31,3	83
15	73	31,2	122	65	72	31,3	83
16	73	31,2	120	66	72	31,3	82
17	73	31,2	119	67	72	31,3	82
18	73	31,2	118	68	72	31,3	82
19	73	31,2	117	69	72	31,3	82
20	73	31,2	116	70	72	31,3	81
21	73	31,2	114	71	72	31,3	81
22	73	31,2	113	72	72	31,3	81
23	73	31,2	112	73	72	31,3	80
24	73	31,2	111	74	72	31,3	80
25	73	31,2	110	75	72	31,3	80
26	73	31,2	109	76	72	31,3	80
27	73	31,2	108	77	72	31,3	80
28	72	31,2	107	78	72	31,3	79
29	72	31,2	106	79	72	31,3	79
30	72	31,2	105	80	72	31,4	79
31	72	31,2	104	81	72	31,4	79
32	72	31,2	103	82	72	31,4	79
33	72	31,2	102	83	72	31,4	79
34	72	31,2	101	84	72	31,4	78
35	72	31,2	100	85	72	31,4	78
36	72	31,2	99	86	72	31,4	78
37	72	31,2	98	87	72	31,4	78
38	72	31,2	97	88	72	31,4	78
39	72	31,2	97	89	72	31,4	78
40	72	31,2	96	90	72	31,4	78
41	72	31,2	95	91	72	31,4	78
42	72	31,2	94	92	72	31,4	77
43	72	31,2	94	93	72	31,4	77
44	72	31,2	93	94	72	31,4	77
45	72	31,2	92	95	72	31,4	77
46	72	31,2	92	96	72	31,4	77
47	72	31,2	91	97	72	31,4	77
48	72	31,3	90	98	72	31,4	77
49	72	31,3	90	99	72	31,4	77
50	72	31,3	89	100	72	31,4	77

Fonte: autoria própria (2021)

- **Dados do Experimento 04**

#	H.%	T [°C]	MQ135	#	H.%	T [°C]	MQ135
1	70	31,7	127	51	68	31,7	92
2	70	31,7	130	52	68	31,7	92
3	70	31,7	136	53	68	31,7	92
4	72	31,7	135	54	68	31,7	92
5	72	31,7	132	55	68	31,7	91
6	72	31,7	129	56	68	31,7	91
7	72	31,7	123	57	68	31,7	91
8	71	31,7	117	58	68	31,7	91
9	71	31,7	112	59	68	31,7	91
10	70	31,7	108	60	68	31,7	91
11	70	31,7	104	61	68	31,7	91
12	70	31,7	101	62	67	31,7	91
13	70	31,7	99	63	67	31,7	91
14	69	31,7	98	64	67	31,7	91
15	69	31,7	96	65	67	31,7	91
16	69	31,7	96	66	67	31,7	91
17	69	31,7	95	67	67	31,7	91
18	68	31,7	95	68	67	31,7	91
19	68	31,7	94	69	67	31,7	91
20	68	31,7	94	70	67	31,7	90
21	68	31,7	94	71	67	31,7	90
22	68	31,7	94	72	67	31,7	90
23	68	31,7	94	73	67	31,7	90
24	68	31,7	94	74	67	31,7	90
25	68	31,7	94	75	67	31,7	90
26	68	31,7	94	76	67	31,7	90
27	68	31,7	94	77	67	31,7	90
28	68	31,7	93	78	67	31,7	90
29	68	31,7	93	79	67	31,7	90
30	68	31,7	93	80	67	31,7	90
31	68	31,7	93	81	67	31,7	90
32	68	31,7	93	82	67	31,7	90
33	68	31,7	93	83	67	31,7	90
34	68	31,7	93	84	67	31,7	90
35	68	31,7	93	85	67	31,7	90
36	68	31,7	93	86	67	31,7	90
37	68	31,7	93	87	67	31,7	89
38	68	31,7	93	88	67	31,7	89
39	68	31,7	93	89	67	31,7	89
40	68	31,7	93	90	67	31,7	89
41	68	31,7	93	91	67	31,7	89
42	68	31,7	93	92	67	31,7	89
43	68	31,7	93	93	67	31,7	89
44	68	31,7	92	94	67	31,8	89
45	68	31,7	92	95	67	31,8	89
46	68	31,7	92	96	67	31,7	89
47	68	31,7	92	97	67	31,7	89
48	68	31,7	92	98	67	31,8	89
49	68	31,7	92	99	67	31,8	89
50	68	31,7	92	100	67	31,8	89

Fonte: autoria própria (2021)

- **Dados do Experimento 05**

#	H.%	T [°C]	MQ135	#	H.%	T [°C]	MQ135
1	68	31,5	119	51	64	31,5	97
2	68	31,5	122	52	64	31,5	97
3	68	31,5	132	53	64	31,5	97
4	70	31,5	133	54	64	31,5	97
5	70	31,5	132	55	64	31,5	97
6	71	31,5	129	56	64	31,5	97
7	71	31,5	124	57	64	31,5	97
8	68	31,5	119	58	64	31,5	97
9	68	31,5	114	59	64	31,5	97
10	67	31,5	109	60	64	31,5	97
11	67	31,5	106	61	64	31,5	97
12	67	31,5	103	62	64	31,5	97
13	67	31,5	100	63	64	31,5	97
14	66	31,5	99	64	64	31,5	97
15	66	31,5	98	65	64	31,5	97
16	65	31,5	97	66	64	31,5	97
17	65	31,5	96	67	64	31,5	97
18	65	31,5	95	68	64	31,5	97
19	65	31,5	95	69	64	31,5	97
20	65	31,5	95	70	64	31,5	97
21	65	31,5	95	71	64	31,5	97
22	65	31,5	95	72	64	31,5	97
23	65	31,5	94	73	64	31,5	97
24	64	31,5	95	74	64	31,5	97
25	64	31,5	95	75	64	31,5	97
26	64	31,5	95	76	64	31,5	97
27	64	31,5	95	77	64	31,5	97
28	64	31,5	95	78	64	31,5	97
29	64	31,5	95	79	64	31,5	97
30	64	31,5	95	80	64	31,5	97
31	64	31,5	95	81	64	31,5	97
32	64	31,5	95	82	64	31,5	97
33	64	31,5	95	83	64	31,5	97
34	64	31,5	95	84	64	31,5	97
35	64	31,5	96	85	64	31,5	97
36	64	31,5	96	86	64	31,5	97
37	64	31,5	96	87	64	31,5	97
38	64	31,5	96	88	64	31,5	97
39	64	31,5	96	89	64	31,5	97
40	64	31,5	96	90	64	31,5	97
41	64	31,5	96	91	64	31,5	97
42	64	31,5	96	92	64	31,5	97
43	64	31,5	96	93	64	31,5	97
44	64	31,5	96	94	64	31,5	97
45	64	31,5	96	95	64	31,5	97
46	64	31,5	96	96	64	31,5	97
47	64	31,5	96	97	64	31,5	97
48	64	31,5	96	98	64	31,5	98
49	64	31,5	97	99	64	31,5	98
50	64	31,5	97	100	64	31,5	98

Fonte: autoria própria (2021)

- **Dados do Experimento 06**

#	H.%	T [°C]	MQ135	#	H.%	T [°C]	MQ135
1	70	31,7	170	51	66	31,6	99
2	70	31,7	179	52	66	31,6	99
3	70	31,7	181	53	66	31,6	99
4	72	31,7	169	54	66	31,6	98
5	72	31,7	160	55	66	31,6	98
6	72	31,7	150	56	65	31,5	98
7	72	31,7	141	57	65	31,5	98
8	70	31,7	133	58	65	31,6	98
9	70	31,7	126	59	65	31,6	98
10	69	31,7	120	60	65	31,6	98
11	69	31,7	116	61	65	31,6	97
12	68	31,7	114	62	65	31,5	97
13	68	31,7	111	63	65	31,5	97
14	67	31,7	110	64	65	31,6	97
15	67	31,7	108	65	65	31,6	97
16	67	31,7	107	66	65	31,6	97
17	67	31,7	106	67	65	31,6	96
18	67	31,7	106	68	65	31,6	96
19	67	31,7	105	69	65	31,6	96
20	66	31,6	104	70	65	31,5	96
21	66	31,6	104	71	65	31,5	96
22	66	31,7	103	72	65	31,5	96
23	66	31,7	103	73	65	31,5	96
24	66	31,7	103	74	65	31,5	95
25	66	31,7	102	75	65	31,5	95
26	66	31,7	102	76	65	31,6	95
27	66	31,7	102	77	65	31,6	95
28	66	31,7	102	78	65	31,5	95
29	66	31,7	102	79	65	31,5	95
30	66	31,7	102	80	65	31,5	95
31	66	31,7	101	81	65	31,5	94
32	66	31,7	101	82	65	31,5	94
33	66	31,7	101	83	65	31,5	94
34	66	31,7	101	84	65	31,6	94
35	66	31,7	101	85	65	31,6	94
36	66	31,6	101	86	65	31,5	94
37	66	31,6	101	87	65	31,5	94
38	66	31,6	101	88	65	31,5	93
39	66	31,6	100	89	65	31,5	93
40	66	31,6	100	90	65	31,5	93
41	66	31,6	100	91	65	31,5	93
42	66	31,6	100	92	65	31,5	93
43	66	31,6	100	93	65	31,5	93
44	66	31,6	100	94	65	31,5	93
45	66	31,6	100	95	65	31,5	93
46	66	31,6	100	96	65	31,5	93
47	66	31,6	99	97	65	31,5	92
48	66	31,6	99	98	65	31,5	92
49	66	31,6	99	99	65	31,5	92
50	66	31,6	99	100	65	31,5	92

Fonte: autoria própria (2021)

- **Dados do Experimento 07**

#	H.%	T [°C]	MQ135	#	H.%	T [°C]	MQ135
1	72	31,6	156	51	72	31,6	144
2	72	31,6	158	52	72	31,6	143
3	72	31,6	167	53	72	31,6	142
4	73	31,6	167	54	72	31,6	140
5	73	31,6	166	55	72	31,6	139
6	73	31,6	164	56	72	31,6	138
7	73	31,6	162	57	72	31,6	137
8	73	31,6	160	58	72	31,6	136
9	73	31,6	159	59	72	31,6	135
10	73	31,6	157	60	72	31,6	134
11	73	31,6	156	61	72	31,6	133
12	72	31,6	155	62	72	31,6	132
13	72	31,6	154	63	72	31,6	131
14	72	31,6	153	64	72	31,6	130
15	72	31,6	153	65	72	31,6	129
16	72	31,6	153	66	72	31,6	128
17	72	31,6	153	67	72	31,6	127
18	72	31,6	154	68	72	31,6	126
19	72	31,6	154	69	72	31,6	125
20	72	31,6	155	70	72	31,6	124
21	72	31,6	155	71	72	31,6	123
22	72	31,6	156	72	72	31,6	123
23	72	31,6	157	73	72	31,6	122
24	72	31,6	158	74	72	31,6	121
25	72	31,6	159	75	72	31,6	120
26	72	31,6	160	76	72	31,6	120
27	72	31,6	161	77	72	31,6	119
28	72	31,6	162	78	72	31,6	118
29	72	31,6	163	79	72	31,6	118
30	72	31,6	164	80	72	31,6	117
31	72	31,6	164	81	72	31,6	116
32	72	31,6	165	82	72	31,7	116
33	72	31,6	166	83	72	31,7	115
34	72	31,6	166	84	72	31,7	115
35	72	31,6	167	85	72	31,7	114
36	72	31,6	168	86	72	31,7	114
37	72	31,6	168	87	72	31,7	113
38	72	31,6	169	88	72	31,7	113
39	72	31,6	170	89	72	31,7	112
40	72	31,6	170	90	71	31,7	112
41	72	31,6	171	91	71	31,7	111
42	72	31,6	170	92	71	31,7	111
43	72	31,6	166	93	71	31,7	111
44	72	31,6	165	94	71	31,7	110
45	72	31,6	160	95	71	31,7	110
46	72	31,6	155	96	71	31,7	110
47	72	31,6	151	97	71	31,7	109
48	72	31,6	148	98	71	31,7	109
49	72	31,6	146	99	71	31,7	109
50	72	31,6	145	100	71	31,7	109

Fonte: autoria própria (2021)

- **Dados do Experimento 08**

#	H.%	T [°C]	MQ135	#	H.%	T [°C]	MQ135
1	71	31,6	219	51	71	31,5	128
2	71	31,6	229	52	71	31,5	127
3	71	31,6	227	53	71	31,5	126
4	73	31,6	217	54	71	31,5	126
5	73	31,6	207	55	71	31,5	125
6	73	31,6	198	56	71	31,5	125
7	73	31,6	190	57	71	31,5	124
8	73	31,6	183	58	71	31,5	124
9	73	31,6	177	59	71	31,5	123
10	73	31,6	173	60	71	31,5	123
11	73	31,6	170	61	71	31,5	122
12	73	31,6	169	62	71	31,5	122
13	73	31,6	167	63	71	31,5	121
14	73	31,6	165	64	71	31,5	121
15	73	31,6	164	65	71	31,5	120
16	72	31,6	163	66	71	31,5	120
17	72	31,6	161	67	71	31,5	120
18	72	31,6	160	68	71	31,5	119
19	72	31,6	159	69	71	31,5	119
20	71	31,5	157	70	71	31,5	118
21	71	31,5	156	71	71	31,5	118
22	71	31,5	155	72	71	31,5	118
23	71	31,5	153	73	71	31,5	117
24	71	31,5	152	74	71	31,5	117
25	71	31,5	151	75	71	31,5	117
26	71	31,5	150	76	71	31,5	116
27	71	31,5	149	77	71	31,5	116
28	71	31,5	147	78	71	31,5	116
29	71	31,5	146	79	71	31,5	116
30	71	31,5	145	80	71	31,5	115
31	71	31,5	144	81	71	31,5	115
32	71	31,5	143	82	71	31,5	115
33	71	31,5	142	83	71	31,5	115
34	71	31,5	141	84	71	31,5	114
35	71	31,5	140	85	71	31,5	114
36	71	31,5	139	86	71	31,5	114
37	71	31,5	138	87	71	31,5	114
38	71	31,5	137	88	71	31,5	114
39	71	31,5	137	89	71	31,5	113
40	71	31,5	136	90	71	31,5	113
41	71	31,5	135	91	71	31,5	113
42	71	31,5	134	92	71	31,5	113
43	71	31,5	133	93	71	31,5	113
44	71	31,5	132	94	71	31,5	112
45	71	31,5	132	95	71	31,5	112
46	71	31,5	131	96	71	31,5	112
47	71	31,5	130	97	71	31,5	112
48	71	31,5	130	98	71	31,5	112
49	71	31,5	129	99	71	31,5	112
50	71	31,5	128	100	71	31,5	111

Fonte: autoria própria (2021)



- **Dados do Experimento 09**

#	H.%	T [°C]	MQ135	#	H.%	T [°C]	MQ135
1	71	31,6	96	51	64	31,7	118
2	71	31,6	99	52	64	31,7	118
3	71	31,6	110	53	64	31,7	118
4	73	31,5	117	54	64	31,6	118
5	73	31,5	122	55	64	31,6	118
6	70	31,6	124	56	64	31,6	118
7	70	31,6	124	57	64	31,6	118
8	69	31,5	124	58	64	31,7	118
9	69	31,5	123	59	64	31,7	118
10	68	31,6	122	60	64	31,7	118
11	68	31,6	122	61	64	31,7	118
12	67	31,5	121	62	64	31,7	118
13	67	31,5	120	63	64	31,7	118
14	66	31,6	120	64	64	31,7	118
15	66	31,6	120	65	64	31,7	118
16	66	31,6	119	66	64	31,7	118
17	66	31,6	119	67	64	31,7	118
18	65	31,6	119	68	64	31,7	118
19	65	31,6	119	69	64	31,7	118
20	65	31,6	119	70	64	31,7	118
21	65	31,6	119	71	64	31,7	118
22	65	31,6	119	72	64	31,7	118
23	65	31,6	119	73	64	31,7	118
24	65	31,6	119	74	64	31,7	118
25	65	31,6	119	75	64	31,7	118
26	65	31,6	119	76	64	31,7	118
27	65	31,6	119	77	64	31,7	118
28	65	31,6	119	78	64	31,7	118
29	65	31,6	119	79	64	31,7	118
30	65	31,6	119	80	64	31,7	118
31	65	31,6	119	81	64	31,7	118
32	65	31,6	119	82	64	31,7	118
33	65	31,6	119	83	64	31,7	118
34	64	31,6	119	84	64	31,7	118
35	64	31,6	119	85	64	31,7	118
36	64	31,6	119	86	64	31,7	118
37	64	31,6	119	87	64	31,7	118
38	64	31,6	119	88	64	31,7	118
39	64	31,6	118	89	64	31,7	118
40	64	31,6	119	90	64	31,7	118
41	64	31,6	118	91	64	31,7	118
42	64	31,6	118	92	64	31,7	118
43	64	31,6	118	93	64	31,7	118
44	64	31,6	118	94	64	31,7	118
45	64	31,6	118	95	64	31,7	118
46	64	31,7	118	96	64	31,7	118
47	64	31,7	118	97	64	31,7	118
48	64	31,7	118	98	64	31,7	118
49	64	31,7	118	99	64	31,7	118
50	64	31,7	118	100	64	31,7	118

Fonte: autoria própria (2021)

- **Dados do Experimento 10**

#	H.%	T [°C]	MQ135	#	H.%	T [°C]	MQ135
1	70	31,8	151	51	62	31,6	120
2	70	31,8	154	52	62	31,6	121
3	70	31,8	167	53	62	31,6	121
4	72	31,8	164	54	62	31,7	121
5	72	31,8	160	55	62	31,7	121
6	72	31,8	156	56	62	31,7	121
7	72	31,8	150	57	62	31,7	121
8	71	31,8	145	58	62	31,6	121
9	71	31,8	139	59	62	31,6	121
10	68	31,7	134	60	62	31,6	121
11	68	31,7	130	61	62	31,6	121
12	66	31,7	127	62	62	31,7	122
13	66	31,7	124	63	62	31,7	122
14	65	31,7	123	64	62	31,7	122
15	65	31,7	121	65	62	31,7	122
16	65	31,7	120	66	62	31,6	122
17	65	31,7	119	67	62	31,6	122
18	64	31,7	118	68	62	31,7	122
19	64	31,7	118	69	62	31,7	122
20	64	31,7	117	70	62	31,7	122
21	64	31,7	117	71	62	31,7	122
22	63	31,7	117	72	62	31,6	122
23	63	31,7	116	73	62	31,6	122
24	63	31,7	116	74	62	31,7	122
25	63	31,7	116	75	62	31,7	122
26	63	31,7	116	76	62	31,7	122
27	63	31,7	116	77	62	31,7	122
28	63	31,7	117	78	62	31,6	122
29	63	31,7	117	79	62	31,6	122
30	63	31,7	117	80	62	31,7	123
31	63	31,7	117	81	62	31,7	123
32	63	31,7	117	82	62	31,6	123
33	63	31,7	117	83	62	31,6	123
34	63	31,6	118	84	62	31,7	123
35	63	31,6	118	85	62	31,7	123
36	63	31,7	118	86	62	31,6	123
37	63	31,7	118	87	62	31,6	123
38	63	31,6	118	88	62	31,7	123
39	63	31,6	119	89	62	31,7	123
40	62	31,6	119	90	62	31,6	123
41	62	31,6	119	91	62	31,6	123
42	62	31,6	119	92	62	31,7	123
43	62	31,6	119	93	62	31,7	123
44	63	31,7	120	94	62	31,7	123
45	63	31,7	120	95	62	31,7	123
46	62	31,6	120	96	62	31,7	123
47	62	31,6	120	97	62	31,7	123
48	62	31,7	120	98	62	31,7	123
49	62	31,7	120	99	62	31,7	123
50	62	31,6	120	100	62	31,7	123

Fonte: autoria própria (2021)

## APÊNDICE D - Resumo dos Experimentos

### Resumo dos resultados do experimento 01

Item	Umidade [%]	Temperatura [°C]	MQ 135 [ohm]
MÉDIA DOS 100 RESULT.	70,7	31,5	77,3
MÁXIMO DOS 100 RESULT	72,8	31,6	139,0
MÍNIMO DOS 100 RESULT	70,0	31,5	62,0
DESVIO PADRÃO POP. DOS 100 RESULT.	0,7	0,0	18,1
MÉDIA ARIT. DOS 10 RESULT. FIN.	70,1	31,6	62,5
DESV. PADRÃO DA POP. DOS 10 RESULT. FIN.	0,039	0,000	0,498

Fonte: autoria própria (2021)

### Resumo dos resultados do experimento 02

Item	Umidade [%]	Temperatura [°C]	MQ 135 [ohm]
MÉDIA DOS 100 RESULT.	70,3	31,6	85,5
MÁXIMO DOS 100 RESULT	73,6	31,7	134,0
MÍNIMO DOS 100 RESULT	69,7	31,5	78,0
DESVIO PADRÃO POP. DOS 100 RESULT.	0,9	0,0	12,6
MÉDIA ARIT. DOS 10 RESULT. FIN.	69,8	31,7	78,0
DESV. PADRÃO DA POP. DOS 10 RESULT. FIN.	0,050	0,039	0,000

Fonte: autoria própria (2021)

### Resumo dos resultados do experimento 03

Item	Umidade [%]	Temperatura [°C]	MQ 135 [ohm]
MÉDIA DOS 100 RESULT.	72,2	31,3	97,7
MÁXIMO DOS 100 RESULT	73,0	31,4	157,0
MÍNIMO DOS 100 RESULT	71,3	31,2	77,0
DESVIO PADRÃO POP. DOS 100 RESULT.	0,4	0,1	22,2
MÉDIA ARIT. DOS 10 RESULT. FIN.	71,7	31,4	77,2
DESV. PADRÃO DA POP. DOS 10 RESULT. FIN.	0,051	0,000	0,386

Fonte: autoria própria (2021)

---

**Resumo dos resultados do experimento 04**


---

<b>Item</b>	<b>Umidade [%]</b>	<b>Temperatura [°C]</b>	<b>MQ 135 [ohm]</b>
MÉDIA DOS 100 RESULT.	68,0	31,7	95,2
MÁXIMO DOS 100 RESULT	71,6	31,8	136,0
MÍNIMO DOS 100 RESULT	67,2	31,7	89,0
DESVIO PADRÃO POP. DOS 100 RESULT.	1,1	0,0	10,6
MÉDIA ARIT. DOS 10 RESULT. FIN.	67,2	31,7	89,0
DESV. PADRÃO DA POP. DOS 10 RESULT. FIN.	0,039	0,050	0,000

Fonte: autoria própria (2021)

---

**Resumo dos resultados do experimento 05**


---

<b>Item</b>	<b>Umidade [%]</b>	<b>Temperatura [°C]</b>	<b>MQ 135 [ohm]</b>
MÉDIA DOS 100 RESULT.	64,5	31,5	99,4
MÁXIMO DOS 100 RESULT	70,5	31,5	133,0
MÍNIMO DOS 100 RESULT	63,5	31,5	94,0
DESVIO PADRÃO POP. DOS 100 RESULT.	1,7	0,0	8,5
MÉDIA ARIT. DOS 10 RESULT. FIN.	63,5	31,5	97,3
DESV. PADRÃO DA POP. DOS 10 RESULT. FIN.	0,000	0,000	0,445

Fonte: autoria própria (2021)

---

**Resumo dos resultados do experimento 06**


---

<b>Item</b>	<b>Umidade [%]</b>	<b>Temperatura [°C]</b>	<b>MQ 135 [ohm]</b>
MÉDIA DOS 100 RESULT.	66,2	31,6	104,1
MÁXIMO DOS 100 RESULT	71,7	31,7	181,0
MÍNIMO DOS 100 RESULT	65,2	31,5	92,0
DESVIO PADRÃO POP. DOS 100 RESULT.	1,6	0,1	18,2
MÉDIA ARIT. DOS 10 RESULT. FIN.	65,2	31,5	92,6
DESV. PADRÃO DA POP. DOS 10 RESULT. FIN.	0,000	0,000	0,481

Fonte: autoria própria (2021)

---

**Resumo dos resultados do experimento 07**


---

<b>Item</b>	<b>Umidade [%]</b>	<b>Temperatura [°C]</b>	<b>MQ 135 [ohm]</b>
MÉDIA DOS 100 RESULT.	71,8	31,6	141,1
MÁXIMO DOS 100 RESULT	73,1	31,7	171,0
MÍNIMO DOS 100 RESULT	71,3	31,6	109,0
DESVIO PADRÃO POP. DOS 100 RESULT.	0,4	0,0	20,8
MÉDIA ARIT. DOS 10 RESULT. FIN.	71,4	31,7	110,1
DESV. PADRÃO DA POP. DOS 10 RESULT. FIN.	0,045	0,000	0,996

Fonte: autoria própria (2021)

---

**Resumo dos resultados do experimento 08**


---

<b>Item</b>	<b>Umidade [%]</b>	<b>Temperatura [°C]</b>	<b>MQ 135 [ohm]</b>
MÉDIA DOS 100 RESULT.	71,0	31,5	137,5
MÁXIMO DOS 100 RESULT	73,0	31,6	229,0
MÍNIMO DOS 100 RESULT	70,5	31,5	111,0
DESVIO PADRÃO POP. DOS 100 RESULT.	0,8	0,0	27,5
MÉDIA ARIT. DOS 10 RESULT. FIN.	70,5	31,5	112,3
DESV. PADRÃO DA POP. DOS 10 RESULT. FIN.	0,039	0,000	0,617

Fonte: autoria própria (2021)

---

**Resumo dos resultados do experimento 09**


---

<b>Item</b>	<b>Umidade [%]</b>	<b>Temperatura [°C]</b>	<b>MQ 135 [ohm]</b>
MÉDIA DOS 100 RESULT.	65,0	31,6	118,2
MÁXIMO DOS 100 RESULT	72,8	31,7	124,0
MÍNIMO DOS 100 RESULT	63,6	31,5	96,0
DESVIO PADRÃO POP. DOS 100 RESULT.	2,0	0,1	3,4
MÉDIA ARIT. DOS 10 RESULT. FIN.	63,7	31,7	118,0
DESV. PADRÃO DA POP. DOS 10 RESULT. FIN.	0,051	0,000	0,000

Fonte: autoria própria (2021)

---

**Resumo dos resultados do experimento 10**

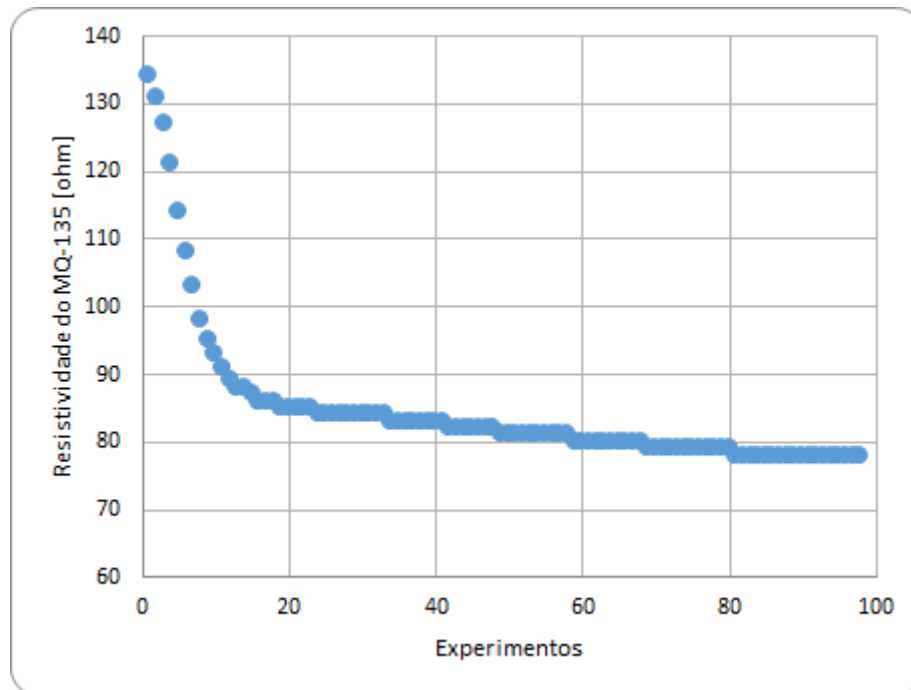

---

<b>Item</b>	<b>Umidade [%]</b>	<b>Temperatura [°C]</b>	<b>MQ 135 [ohm]</b>
MÉDIA DOS 100 RESULT.	63,5	31,7	123,9
MÁXIMO DOS 100 RESULT	71,8	31,8	167,0
MÍNIMO DOS 100 RESULT	62,2	31,6	116,0
DESVIO PADRÃO POP. DOS 100 RESULT.	2,6	0,1	10,2
MÉDIA ARIT. DOS 10 RESULT. FIN.	62,2	31,7	123,0
DESV. PADRÃO DA POP. DOS 10 RESULT. FIN.	0,039	0,039	0,000

Fonte: autoria própria (2021)

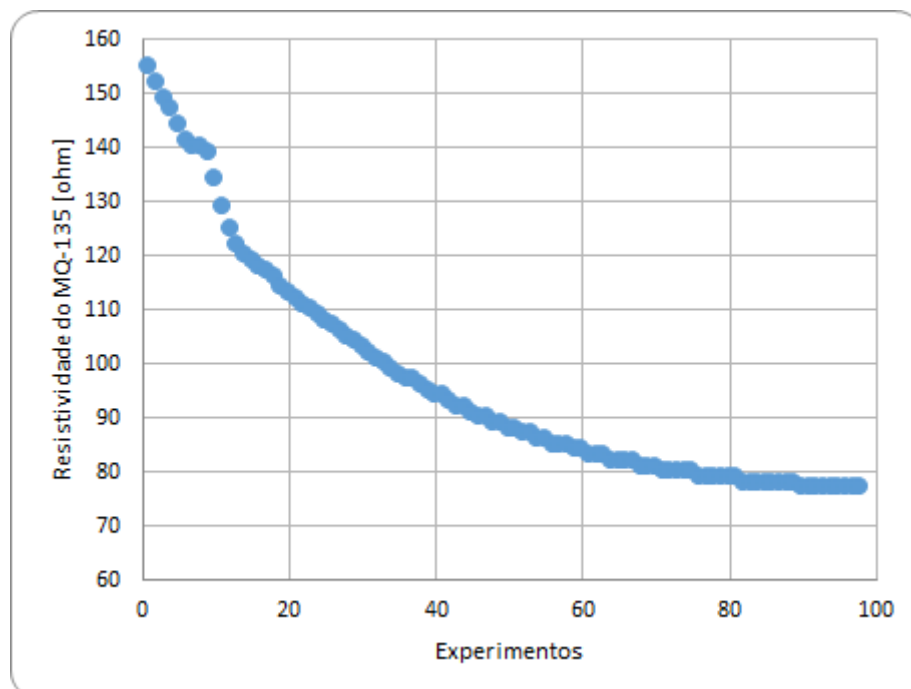
## APÊNDICE E - Gráficos dos Experimentos

**Figura** - Gráfico de dispersão dos 100 resultados do experimento 02



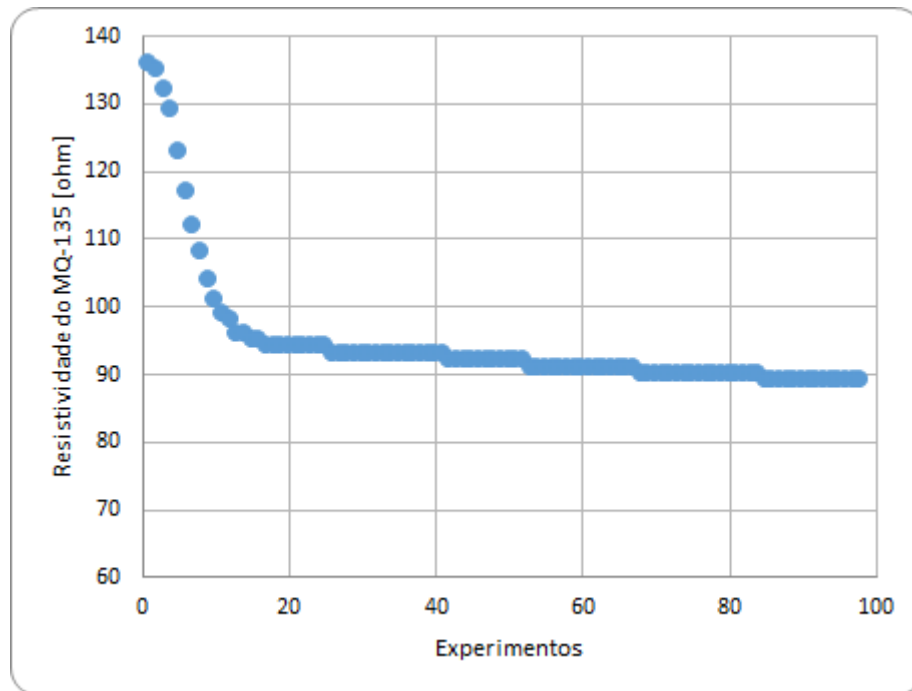
Fonte: autoria própria (2021)

**Figura** - Gráfico de dispersão dos 100 resultados do experimento 03



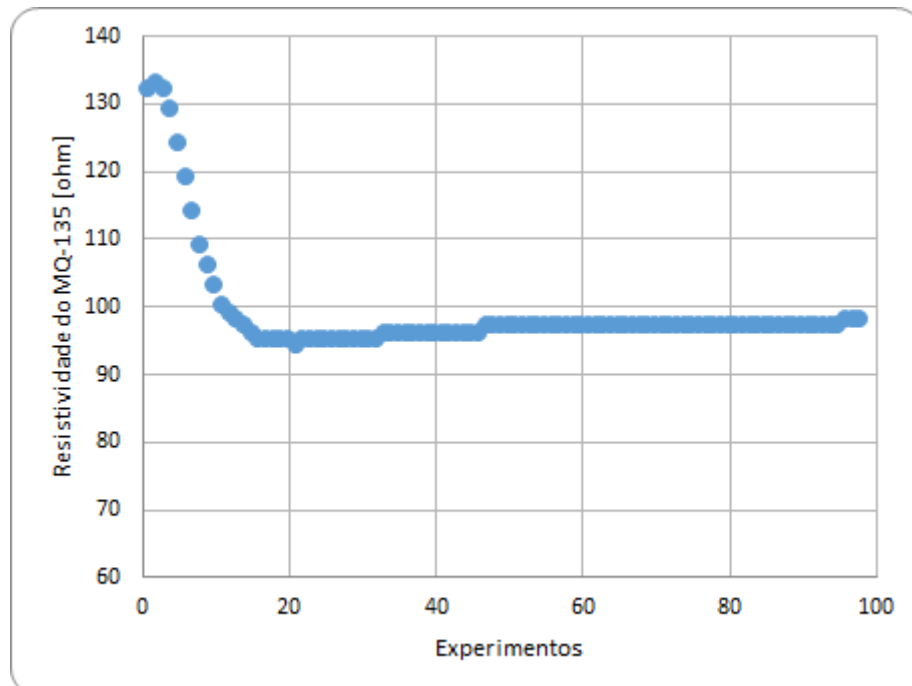
Fonte: autoria própria (2021)

**Figura** - Gráfico de dispersão dos 100 resultados do experimento 04



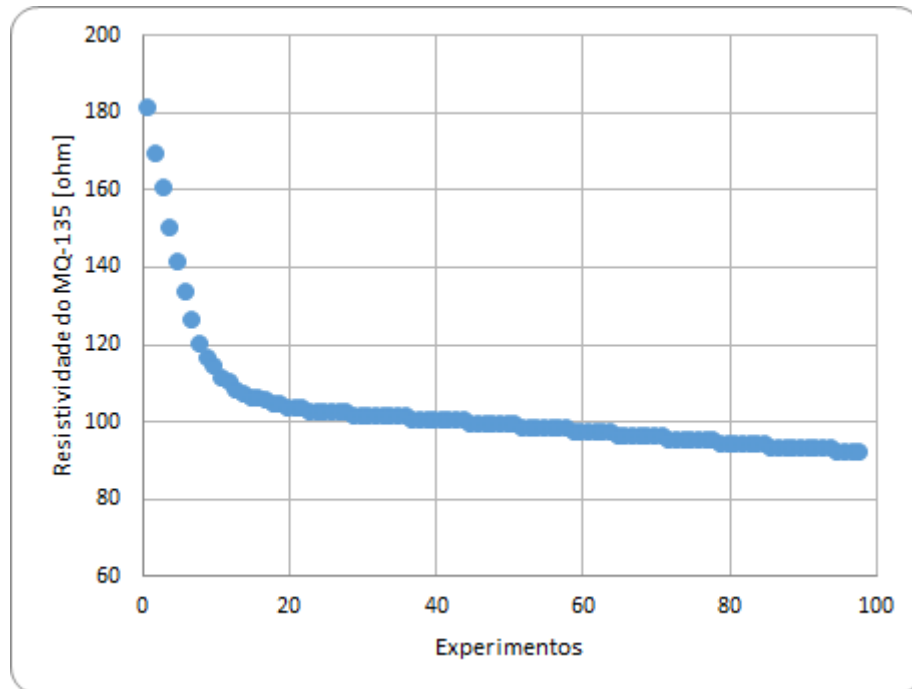
Fonte: autoria própria (2021)

**Figura** - Gráfico de dispersão dos 100 resultados do experimento 05



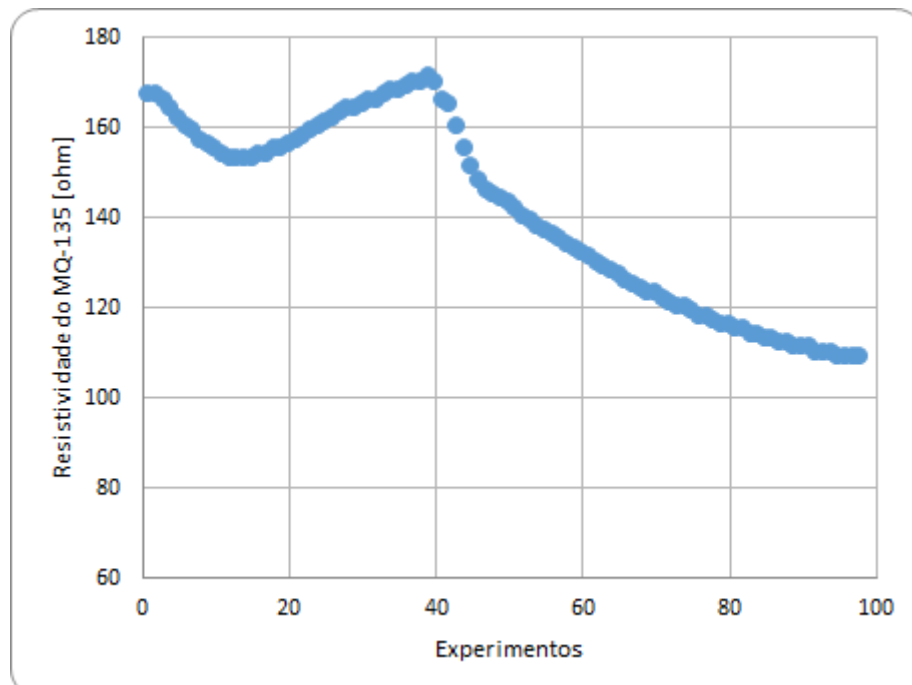
Fonte: autoria própria (2021)

**Figura** - Gráfico de dispersão dos 100 resultados do experimento 06



Fonte: autoria própria (2021)

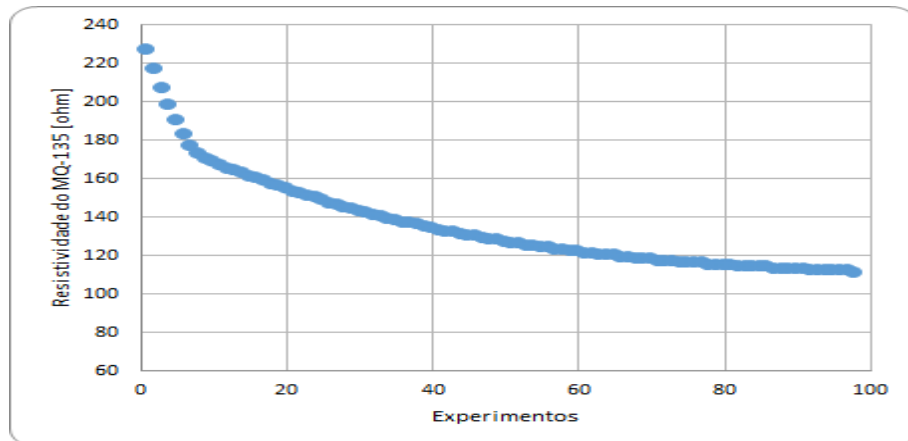
**Figura** - Gráfico de dispersão dos 100 resultados do experimento 07



Fonte: autoria própria (2021)

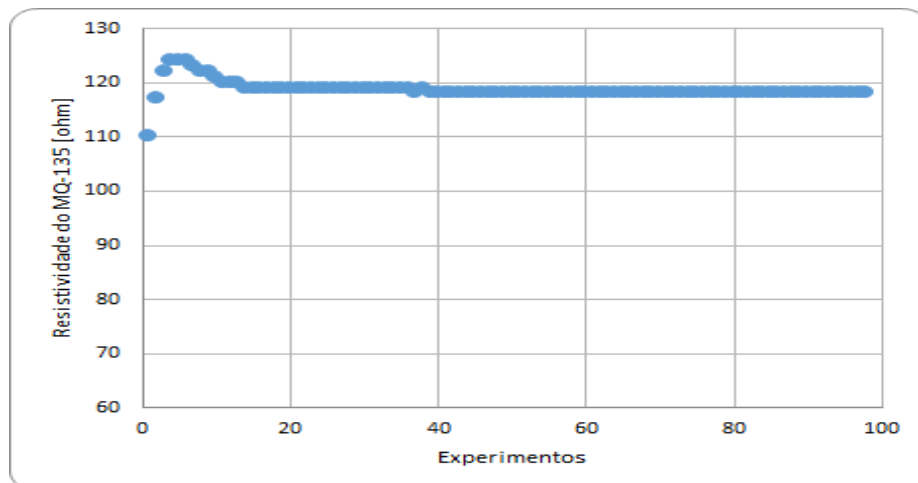


**Figura** - Gráfico de dispersão dos 100 resultados do experimento 08



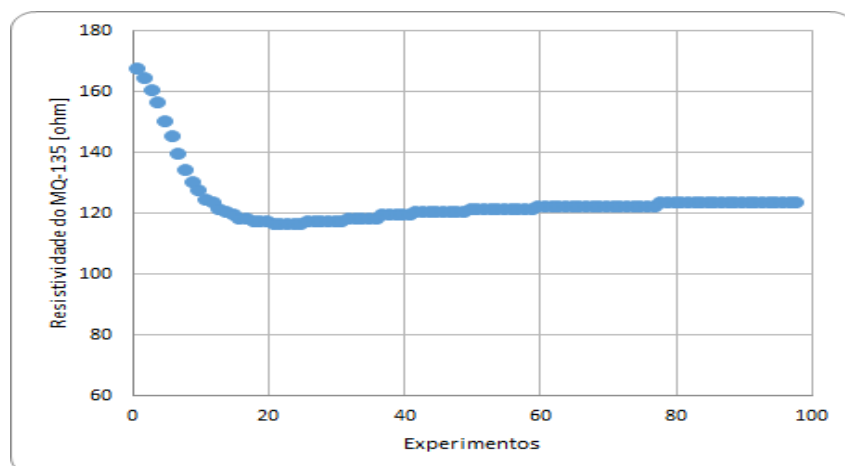
Fonte: autoria própria (2021)

**Figura** - Gráfico de dispersão dos 100 resultados do experimento 09



Fonte: autoria própria (2021)

**Figura** - Gráfico de dispersão dos 100 resultados do experimento 10



Fonte: autoria própria (2021)

**ANEXO****ANEXO A- Laudo do CO<sub>2</sub>**

## Resultados das Análises

<b>ANÁLISE DO PRODUTO</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES</b>	<b>MÉTODO ANALÍTICO</b>
CONCENTRAÇÃO (% v/v)	99,99	99,99	Bureta Gasométrica
TESTE DE GORDURA	<i>OK</i>	AUSENTE	-
ODOR ( inodoro)	<i>OK</i>	INODORO	Comparativo
PALADAR (insípido)	<i>OK</i>	INSÍPIDO	Comparativo

Fonte: autoria própria (2021)