

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE MINAS GERAIS - *CAMPUS* AVANÇADO ARCOS  
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Breno Avelar Mendonça

**PROJETO DE UM DISPOSITIVO PARA DETECÇÃO DE ÁLCOOL  
COMBUSTÍVEL ADULTERADO EM MOTORES DE COMBUSTÃO  
INTERNA**

Arcos

2021

BRENO AVELAR MENDONÇA

**PROJETO DE UM DISPOSITIVO PARA DETECÇÃO DE ÁLCOOL  
COMBUSTÍVEL ADULTERADO EM MOTORES DE COMBUSTÃO  
INTERNA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica  
do Instituto Federal de Minas Gerais -  
*Campus* Avançado Arcos para obtenção do  
grau de bacharel em Engenharia Mecânica.  
Orientador: Marcos Paulo Gonçalves Pedroso

Arcos  
2021

REDE DE BIBLIOTECAS

FICHA CATALOGRÁFICA PARA TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

---

M539p Mendonça, Avelar Breno.  
Projeto de um dispositivo para detecção de álcool combustível adulterado em motores de combustão interna. / Breno Avelar Mendonça – 2021.  
49f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Paulo Gonçalves Pedroso.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus Arcos*, 2021.

1. Combustíveis. 2. Adulterados. 3. Dispositivo detector.  
4. Condutividade elétrica. I. Mendonça, Avelar Breno. III. Título.

CDD 660

---

Catálogo: Rejane Valéria Santos - CRB-6/2907



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**  
**Campus Avançado Arcos**  
**Diretoria de Ensino**  
**Docentes Área Técnica**  
Av. Juscelino Kubitschek, 485 - Bairro Brasília - CEP 35588000 - Arcos - MG  
3733515173 - www.ifmg.edu.br

### **Ata de Avaliação de Defesa de TCC**

Aos dezessete dias do mês de novembro de dois mil e vinte e um, às nove horas, se reuniu por meio de webconferência na plataforma Google Meet a banca composta pelo **Prof. Dr. Marcos Paulo Gonçalves Pedroso** (orientador), Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Avançado Arcos; **Prof. Me. Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana**, Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Avançado Arcos; **Prof. Dr. Marcos Gonçalves Júnior**, Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Avançado Arcos; para avaliar o trabalho intitulado **“PROJETO DE UM DISPOSITIVO PARA DETECÇÃO DE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL ADULTERADO EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA”**, apresentado pelo aluno **Breno Avelar Mendonça**, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Engenheiro Mecânico. Após apresentação e arguição, emitiu-se o parecer **“APROVADO”**, sendo a verificação das modificações sugeridas de responsabilidade do orientador. Para fins de registro na disciplina Trabalho Acadêmico Integrador X, a banca avaliadora emite, em consenso, o conceito final 90. Nada mais havendo a tratar a defesa foi encerrada às dez horas e vinte minutos e eu, Marcos Paulo Gonçalves Pedroso, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada, foi assinada por todos os avaliadores.

Arcos, 19 de novembro de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Paulo Gonçalves Pedroso, Professor**, em 19/11/2021, às 09:39, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana, Coordenador(a) do curso Superior de Bacharelado em Engenharia Mecânica**, em 19/11/2021, às 13:26, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Gonçalves Junior, Professor Substituto**, em 19/11/2021, às 15:32, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1012751** e o código CRC **51CAA440**.

# AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso.

Aos meus pais, por acreditarem em mim, e que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Aos professores do IFMG - *Campus* Avançado Arcos, em especial ao meu orientador, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

Ao Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* Avançado Arcos, pelo apoio financeiro, através do edital "Internacionaliza 052/2018", para realização de intercâmbio no exterior, o qual contribuiu para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto, pela calorosa hospitalidade e por disponibilizarem os laboratórios e professores para auxiliarem nesta pesquisa.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

# RESUMO

No Brasil, embora ocorra fiscalização dos postos de abastecimento de combustíveis pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), ainda persistem casos de adulterações em combustíveis. Isto pode causar danos mecânicos aos motores dos automóveis, a queima incompleta dos combustíveis e a emissão de gases comburentes prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana. Neste contexto, o presente trabalho acadêmico projetou um sistema para identificação de adulterações em combustíveis. Para tanto, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre trabalhos acadêmicos semelhantes ao tema, bem como da avaliação da qualidade de combustíveis automotivos ofertados no Brasil, das influências do combustível adulterado nos motores de combustão interna e de sensores. Além disso, realizou-se uma busca de mercado sobre os componentes que irão definir o circuito eletrônico do sensor; escreveu-se os códigos de programações do sensor e foram feitas simulações computacionais no *software* Tinkercad para validação dos códigos. Diante deste contexto, foi possível entender que o principal resultado deste projeto consistiu no fato de que o segundo código foi aprimorado, uma vez que ele leva em consideração o cálculo da média dos valores que são medidos pelo sensor. Dessa forma, a cada 10 valores de condutividade que são medidos pelo sensor, o programa gera a média desses valores, a fim de que este sensor adquira maior estabilidade das medidas em seus resultados quando comparado ao primeiro código. Por fim, após a realização de vários testes, foi possível construir o protótipo do sensor. Além do mais, concluiu-se que é factível a construção de um dispositivo que seja integrado a um sistema *on board* dos veículos para identificar adulterações em combustíveis com base em medições da condutividade elétrica. A pesquisa desenvolvida contribui com a literatura e a aplicação prática na identificação de fraudes em combustíveis.

**Palavras-chave:** Combustíveis. Adulterado. Dispositivo detector. Condutividade elétrica.

# ABSTRACT

In Brazil, although there is inspection of the fuel filling stations by the National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP), cases of fuel adulteration still persist. This can cause mechanical damage to automobile engines, the incomplete burning of fuels, and the emission of combustion gases that are harmful to the environment and to human health. In this context, the present academic work aims to design a system to identify adulteration in fuels. To do so, a bibliographical revision of academic works similar to the theme was done, as well as the evaluation of the quality of automotive fuels offered in Brazil, the influences of adulterated fuel on internal combustion engines, and sensors. In addition, a market search was conducted for the components that will define the sensor's electronic circuit; the sensor's programming codes were written, and computer simulations were performed on the Tinkercad software to validate the codes. In this context, it was possible to understand that the main result of this project consists in the fact that the second code was improved, since it takes into account the calculation of the average of the values that are measured by the sensor. Thus, for every 10 values of conductivity that are measured by the sensor, the program generates the average of these values, so that this sensor acquires greater stability of the measurements in its results when compared to the first code. Finally, after several tests, it was possible to build the prototype sensor. Furthermore, it was concluded that it is feasible to build a device that can be integrated into an on board vehicle system to identify adulteration in fuels based on electrical conductivity measurements. The research developed contributes to the literature and to the practical application in the identification of frauds in fuels.

**Keywords:** Fuels. Adulterated. Detection device. Electrical conductivity.

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1	Distribuição percentual das irregularidades verificadas no etanol hidratado	10
2	Protótipos de sensores desenvolvidos por Mendonça (2008)	12
3	Sensor em seu suporte desenvolvido por Lacerda (2010)	13
4	Protótipo em fase de testes desenvolvido por Martins (2018)	14
5	Combustões Anormais	17
6	Pistão derretido devido ao fenômeno <i>Knock</i>	18
7	Pistão derretido (vista lateral) devido ao fenômeno <i>Knock</i>	19
8	Sensor de condutividade	20
9	Arduino UNO - Visão geral	21
10	Saídas obtidas	22
11	Kit Sensor Condutividade K 0.1	25
12	Fluxograma do primeiro código de programação do sensor	27
13	Fluxograma do segundo código de programação do sensor	28
14	Simulação do circuito no <i>software</i> Tinkercad	29
15	Diagrama de conexão do sensor de condutividade elétrica com o arduino	30
16	Suporte para o sensor (reservatório secundário)	31
17	Esquema de ligação dos componentes	32
18	Esquema de ligação dos componentes	32
19	Pontos de solda do projeto	33
20	Local de aplicação do colarinho flangeado no projeto	35
21	Colarinho em PEAD para Flange	36
22	Vista interna do suporte do sensor	37
23	Gráfico dos resultados observados na execução do segundo código	39
24	Protótipo desenvolvido	40
25	Arranjo dos componentes no automóvel	41
26	Esquema dos componentes no automóvel	41
27	Primeiro código de programação do sensor	45
28	Segundo código de programação do sensor - cálculo da média incluído	46
29	Desenho técnico do suporte para o sensor	48



# LISTA DE TABELAS

1	Especificações do etanol anidro combustível (EAC) e o etanol hidratado combustível (EHC) . . . . .	15
2	Aspectos técnicos . . . . .	21
3	Propriedade Físicas de alguns Polietilenos . . . . .	23
4	Recomendação para soldagem de termoplástico (chapa ou tubo) . . . .	34

# SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b>	9
2	<b>JUSTIFICATIVA</b>	10
3	<b>OBJETIVOS</b>	11
3.1	Objetivo geral	11
3.2	Objetivos específicos	11
4	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	12
4.1	<b>Análise de trabalhos acadêmicos semelhantes</b>	12
4.2	<b>Avaliação da qualidade de combustíveis automotivos no Brasil</b>	14
4.2.1	<i>Análise da condutividade elétrica</i>	15
4.3	<b>Influências do combustível adulterado nos motores de combustão interna</b>	16
4.4	<b>Sensores</b>	19
4.5	<b>Arduino</b>	20
4.6	<b>Pesquisa do material do suporte do sensor</b>	23
5	<b>METODOLOGIA</b>	24
5.1	<b>Resolução do sensor</b>	24
5.2	<b>Pesquisa de mercado</b>	24
5.2.1	<i>Sensor escolhido</i>	24
5.3	<b>Lista geral de componentes necessários</b>	26
5.4	<b>Programação</b>	26
5.4.1	<i>Fluxograma do primeiro código de programação do sensor</i>	27
5.4.2	<i>Fluxograma do segundo código de programação do sensor - versão do programa com o cálculo da média incluído</i>	28
5.5	<b>Simulação</b>	29
5.6	<b>Esquema de adaptação do sensor ao veículo</b>	30
5.6.1	<i>Escolha e definição do material do suporte do sensor</i>	33
5.6.2	<i>Conexões utilizadas no suporte do sensor</i>	33

5.6.3	<i>Posicionamento do sensor</i> . . . . .	36
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> . . . . .	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> . . . . .	<b>42</b>
<b>7.1</b>	<b>Sugestões para trabalhos futuros</b> . . . . .	<b>42</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>43</b>
	<b>APÊNDICE A – PROGRAMAÇÕES</b> . . . . .	<b>45</b>
	<b>APÊNDICE B – FOLHA DE PROJETO</b> . . . . .	<b>48</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Vários tipos de combustíveis são comercializados em todo mundo, sendo a gasolina e o etanol as principais fontes de energia para o abastecimento de veículos leves. No Brasil, embora a fiscalização dos postos de abastecimento pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) seja frequente, ainda existem casos de adulterações nos combustíveis.

A prática de adulteração acarreta danos socioeconômicos, pela prática de atos ilícitos e fraudulentos ao consumidor; danos mecânicos severos aos motores de combustão interna, tais como falhas nos bicos injetores e velas do motor, entupimento da bomba de combustível, corrosão do sistema de injeção eletrônica e acúmulo de resíduos na parte interna do motor (GUERRA, 2016); e também ambientais, através da queima incompleta desses combustíveis, lançando assim, gases mais tóxicos ao meio ambiente (ANP, 2020).

Uma adulteração comum é comercializar, no lugar do etanol hidratado (combustível correto), uma mistura de álcool etílico anidro combustível (AEAC) com água acima do máximo permitido por lei, para vendê-lo como álcool etílico hidratado combustível (AEHC), o chamado "álcool molhado" (GUERRA, 2016). Essa prática de adulteração possui como finalidade a sonegação de impostos, pois é mais lucrativo para o comerciante comprar o álcool etílico anidro combustível (AEAC) pagando impostos reduzidos e adicionar água do que comprar o álcool etílico hidratado combustível (AEHC) verdadeiro e pagar tributos mais altos (DIAS, 2007).

Diante deste contexto, o estudo desenvolvido neste trabalho acadêmico busca o projeto de um dispositivo para detecção de álcool combustível adulterado em motores de combustão interna. Para tanto, o projeto utilizou resultados obtidos em Mendonça (2019).

O funcionamento deste dispositivo tem como finalidade identificar adulterações a partir do parâmetro físico-químico condutividade elétrica, o qual, segundo Mendonça (2019), é relevante na detecção da adulteração do álcool etílico anidro combustível (AEAC) com água acima do máximo permitido por lei, para vendê-lo como se fosse álcool etílico hidratado combustível (AEHC).

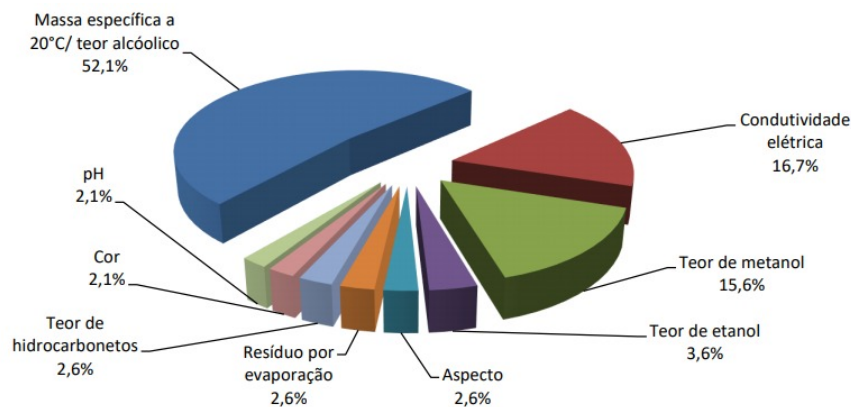
## 2 JUSTIFICATIVA

O balanço anual de 2020 sobre a fiscalização do abastecimento no Brasil, controlado pela ANP (ANP, 2020), afirma que:

O combustível com o maior número de irregularidades no período analisado foi o etanol hidratado, sendo que, entre as não conformidades detectadas pela fiscalização, a infração por teor alcoólico/massa específica a 20° abaixo da especificação técnica e o teor de condutividade elétrica acima do permitido, foram os que tiveram maior destaque, sendo 52,1% e 16,7% respectivamente. (ANP, 2020. p. 26).

A Figura 1 ilustra a distribuição percentual das irregularidades verificadas nas amostras de etanol hidratado não conformes com a especificação.

Figura 1 – Distribuição percentual das irregularidades verificadas no etanol hidratado



Fonte: Boletim de Fiscalização do Abastecimento da ANP. Elaboração: SIGAF em 02/02/2021

Outro fator depreciativo nesse contexto, trata-se dos elevados impostos que recaem sobre o preço dos combustíveis quando comparado às substâncias adicionadas para a fraude. Esse fato gera colapso em todos os setores do país, como por exemplo, a greve dos caminhoneiros em 2018 e os recentes protestos sobre o atual preço dos combustíveis.

Além disso, nota-se que quando os combustíveis são submetidos às substâncias adulterantes, os mesmos realizam a queima incompleta, o que não ocorre quando encontra-se inalterado. Desse processo resultam gases mais tóxicos que são prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana (ANP, 2020).

Nesse contexto, o presente estudo realizado se justifica pela necessidade de que seja ampliada a fiscalização dos postos de abastecimentos, visto que embora haja fiscalização pela ANP, ainda persistem casos de proprietários de postos de combustíveis que utilizam de práticas ilícitas para benefícios lucrativos.

## 3 OBJETIVOS

### 3.1 Objetivo geral

Desenvolver o projeto de um dispositivo para detecção de álcool combustível adulterado utilizados em motores de combustão interna. Para tanto, o projeto utilizou resultados obtidos em Mendonça (2019).

### 3.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre trabalhos acadêmicos semelhantes ao tema, sobre a avaliação da qualidade de combustíveis automotivos, das influências do combustível adulterado nos motores de combustão interna e de sensores;
- Realizar uma busca de mercado sobre os componentes que irão definir o circuito eletrônico do sensor;
- Escrever o código de programação do sensor;
- Realizar simulações computacionais no *software* Tinkercad para validação do código;
- Definir o tipo de material que será fabricado o suporte onde o sensor irá se posicionar;
- Definir os tipos de conexões que serão utilizadas no tubo de admissão de combustível;
- Desenhar em *software* computacional o arranjo do sensor (disposição física dos elementos que o compõe) em um automóvel.

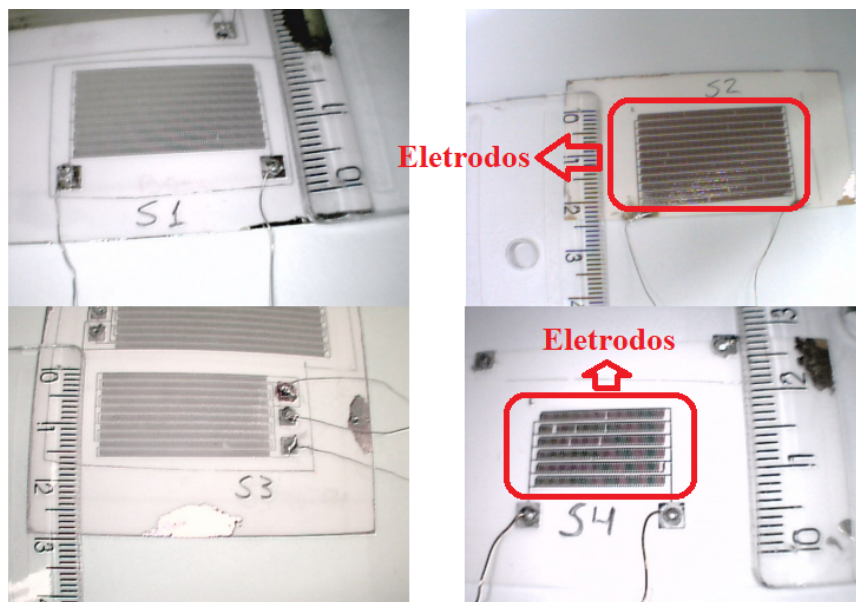
## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Análise de trabalhos acadêmicos semelhantes

Para embasar o estudo deste trabalho acadêmico, primeiramente foi realizado uma revisão bibliográfica acerca de outros trabalhos com temas semelhantes. Para tanto, o intuito desta seção é fazer uma breve análise sobre esses trabalhos, bem como compará-los, destacando o diferencial deste projeto.

No trabalho intitulado "Micro-Sensor Capacitivo para Avaliação da Qualidade de Combustíveis Automotivos", do autor Mendonça (2008), foi apresentada uma metodologia de desenvolvimento de um sensor capacitivo que analisa a qualidade de combustíveis automotivos. Para tanto, neste trabalho foi proposto um sensor capacitivo que utiliza o combustível a ser analisado como o seu dielétrico. Dessa forma, variações na mistura do combustível resultam em variações na capacitância do sensor. A Figura 2 ilustra os protótipos de sensores desenvolvidos por Mendonça (2008), os quais apresentam diferentes espaçamentos entre eletrodos e diferentes quantidades de capacitores.

Figura 2 – Protótipos de sensores desenvolvidos por Mendonça (2008)



Fonte: Adaptado de: MENDONÇA, 2008

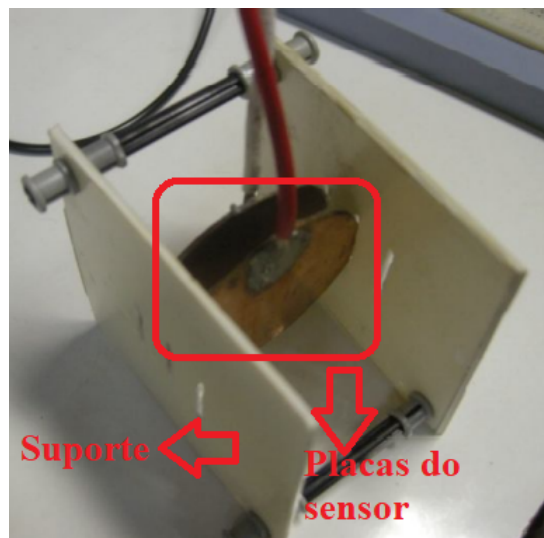
Segundo Helerbrock (2017a, p.1): "[...] capacitância pode ser definida como uma grandeza física escalar que mede a quantidade de cargas que pode ser armazenada em um capacitor para uma determinada diferença de potencial elétrico". Ou seja, quanto mais cargas um capacitor puder armazenar, maior será sua capacitância. De outra forma, ainda

de acordo com Helerbrock (2017b, p.1): "[...] condutividade é um termo que pode ser usado para definir a capacidade de algum meio material de realizar o transporte de energia ou partículas nas formas de calor, cargas elétricas ou matéria".

A partir do que fora descrito nos parágrafos acima, pode-se afirmar que o trabalho de Mendonça (2008) contribuiu de forma significativa para esta pesquisa no que tange ao método de coletas de dados para realização de testes em combustíveis adulterados.

Outro trabalho acadêmico semelhante ao de Mendonça (2008) trata-se do projeto intitulado "Estudo de um Sensor Capacitivo para medição de Adulteração de Álcool Combustível", do autor Lacerda (2010), o qual desenvolveu a montagem de um sensor capacitivo para medição de adulterações de álcool combustível. O projeto de Lacerda (2010) se diferencia do de Mendonça (2008) quanto à metodologia empregada para a construção do sensor e também na escolha da propriedade físico-química para identificar as adulterações, sendo que Lacerda (2010) escolheu a permissividade elétrica. De acordo com Stroski (2018, p. 16): "[...] é uma grandeza que determina a capacidade de uma substância para resistir ao campo elétrico de uma carga induzida". A Figura 3 mostra o sensor em seu suporte desenvolvido por Lacerda (2010).

Figura 3 – Sensor em seu suporte desenvolvido por Lacerda (2010)



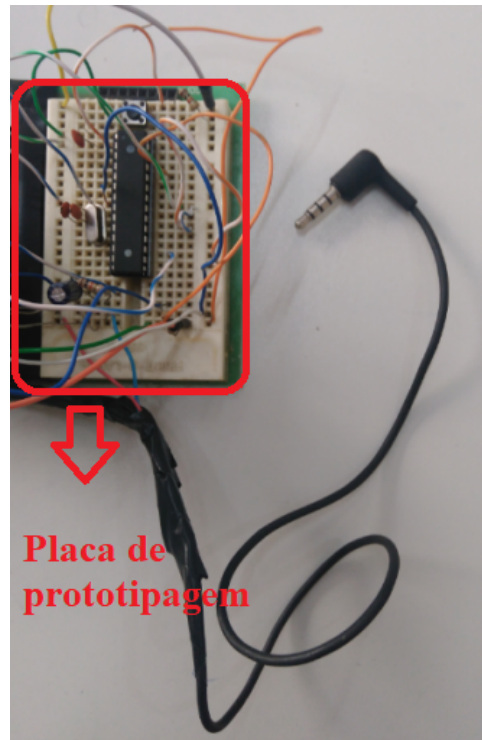
Fonte: Adaptado de: LACERDA, 2010

Além disso, o trabalho intitulado "Sistema de Telemetria IoT Aplicado à Detecção de adulteração de gasolina", do autor Martins (2018), desenvolveu um dispositivo eletrônico capaz de identificar níveis muito altos de gasolina adulterada com base na transmitância da luz nas amostras. Para tanto, as análises de seus resultados foram feitas por meio de identificações de padrões por uma Rede Neural Artificial. Dessa forma, o trabalho citado também gerou significativa contribuição nesse estudo, uma vez que a proposta de sua tecnologia utiliza uma arquitetura semelhante ao do microcontrolador Arduino,



porém se diferencia por não se tratar de um dispositivo *onboard* de um veículo, mas sim sua tecnologia seria empregada nas bombas dos postos de abastecimentos. Além do mais, a proposta do trabalho de Martins (2018) consiste em uma lógica de interpretação da qualidade de uma amostra, onde fora implementada uma rede neural artificial que consulta um banco de dados hospedados em um serviço na nuvem. A Figura 4 ilustra o protótipo em fase de testes desenvolvido por Martins (2018).

Figura 4 – Protótipo em fase de testes desenvolvido por Martins (2018)



Fonte: Adaptado de: MARTINS, 2018

Por fim, trabalhos como Takeshita (2006) e o de Mendes (2012), contribuíram de forma significativa para este projeto no que tange à metodologia de coleta e tratamento dos parâmetros físico-químicos, além de proporcionar embasamento teórico suficiente para interpretação e simulação de adulterações nos combustíveis.

## 4.2 Avaliação da qualidade de combustíveis automotivos no Brasil

A fiscalização do abastecimento no Brasil é feita pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). O Regulamento Técnico ANP nº 3/2011, anexo da Resolução ANP nº 7 de 09 de fevereiro de 2011, aplica-se ao etanol anidro combustível e ao etanol hidratado combustível, nacional ou importado, e estabelece suas especificações. Na Tabela 1 estão dispostas as especificações do etanol anidro combustível e do etanol hidratado combustível.

Tabela 1 – Especificações do etanol anidro combustível (EAC) e o etanol hidratado combustível (EHC)

Característica	Unidade	Limite - EHC	Método - NBR
Aspecto	-	Límpido e Isento de Impurezas (LII)	Visual
Cor	-	(3)	Visual
Acidez total, máx. (em miligramas de ácido acético)	mg/L	30	9866
Conductividade elétrica, máx.	$\mu S/m$	350	10547
Massa específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	807,6 a 811,0	5992 e 15639
Teor alcoólico	% volume	95,1 a 96,0	5992 e 15639
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	6,0 a 8,0	10891
Teor de etanol, mín.	% volume	94,5	-
Teor de água, máx.	% volume	4,9	15531 e 15888
Teor de metanol, máx.	% volume	1	cromatografia
Resíduo por evaporação, máx.	mg/100mL	5	8644
Goma Lavada	mg/100mL	5	-
Teor de hidrocarbonetos, máx.	% volume	3	13993
Teor de cloreto, máx.	mg/kg	1	10894
Teor de sulfato, máx.	mg/kg	4	10894
Teor de ferro, máx.	mg/kg	5	11331
Teor de sódio, máx.	mg/kg	2	10422
Teor de cobre, máx.	mg/kg	-	11331

Fonte: ANP, elaboração anexo do Regulamento Técnico ANP nº 3/2011. Acesso em 09/05/2021.

Segundo os dados dessa tabela, é possível notar que o teor máximo de água (em volume) do AEHC, permitido por lei, é de 4,9% (v/v). Além disso, é possível notar também que o limite máximo para a condutividade elétrica do AEHC a 25° C é de 350  $\mu S/m$ .

#### 4.2.1 Análise da condutividade elétrica

No trabalho elaborado por Mendonça (2019), o qual o presente trabalho visa dar continuidade, ficou constatado que a condutividade elétrica é o parâmetro capaz de identificar adulterações no álcool etílico hidratado combustível (AEHC). Assim, torna-se importante realizar uma breve revisão bibliográfica desse contexto.

A condutividade elétrica trata-se da capacidade de um material conduzir a corrente elétrica por íons presentes em solução (ABNT, 2016). Uma das características das soluções é a sua maior ou menor capacidade de condução da corrente elétrica. Ainda segundo Villas *et al.* (2017, p.15):

No caso do etanol ( $C_2H_5OH$ ) e água ( $H_2O$ ), são substâncias formadas por ligação covalente entre seus átomos, portanto, não apresentam íons quando puros. A ligação O-H do álcool é polarizada, mas não haverá íons

suficiente para alterar a condutividade elétrica da solução ao se misturar com água deionizada. (Villas *et al*, 2017. p.15)

O conceito de água deionizada citado acima está relacionado com a isenção de outros componentes que não seja  $H_2O$ . Assim, a condutividade é praticamente nula, o que indica que este tipo de água é um isolante elétrico. Por outro lado, no tipo de fraude que esta pesquisa avalia, normalmente é utilizada água da torneira ou até mesmo da chuva, o que leva a valores de condutividade muito maiores do que os especificados por lei para o AEHC verdadeiro. Assim, pode-se afirmar que o alvo de análise contra as adulterações feitas ao AEHC, são as impurezas que possam existir no álcool, provenientes de águas sem nenhum tratamento prévio.

#### 4.2.1.1 Normalização

A norma brasileira, regida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que verifica o valor máximo para a condutividade elétrica do AEHC é a ABNT NBR 10547 de 2016. Essa norma é seguida pelo Regulamento Técnico ANP nº 3/2011. Assim, o limite máximo para a condutividade elétrica do AEHC a 25° C é de 350  $\mu S/m$  (Tabela 1). A máxima concentração de água, permitida por lei, na mistura é de 4,9% (v/v).

Além disso, no trabalho de Mendonça (2019), a amostra com 3,2% apresentou-se abaixo do limite máximo, enquanto que a amostra com 5,2% apresentou-se acima desse limite, o que levou a acreditar que este parâmetro é eficiente e preciso para detectar adulterações desse gênero.

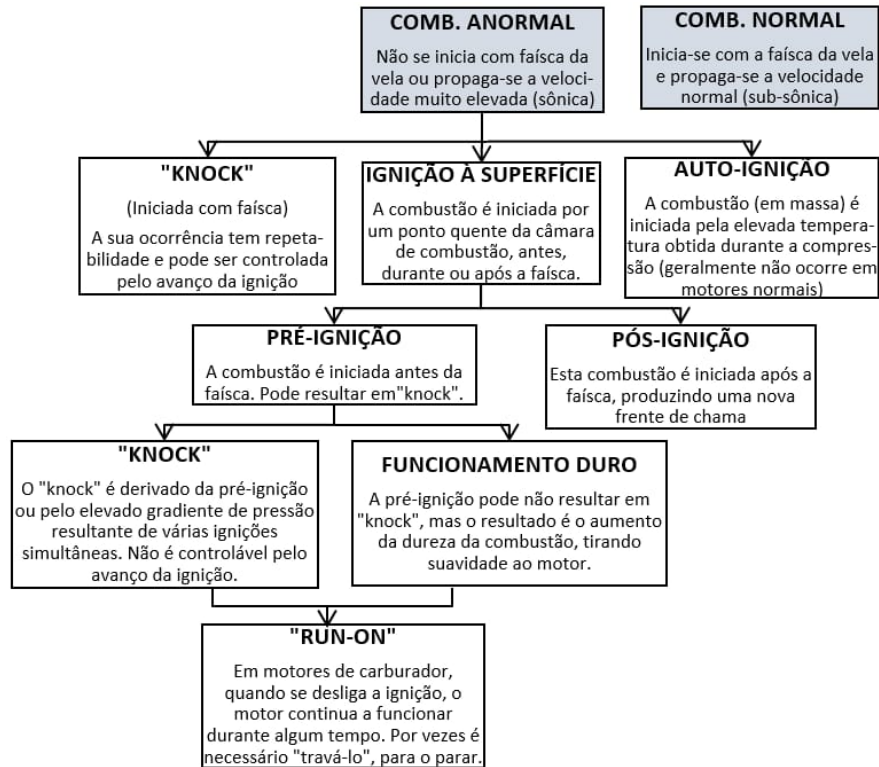
Por fim, para confirmar se este parâmetro é realmente relevante nesse contexto, foi medido em laboratório a condutividade elétrica de uma amostra de AEHC com 4,9% de água. Esta última amostra apresentou um valor de condutividade de 348  $\mu S/m$ , ou seja, bem próximo do máximo previsto pela lei (350  $\mu S/m$ ). Dessa forma, pôde-se concluir que este parâmetro tem altíssimo potencial para detectar esse tipo de adulteração com precisão.

### 4.3 Influências do combustível adulterado nos motores de combustão interna

Segundo Martins (2006, p.255): “Existem três tipos de combustão anormal nos motores de ignição por faísca: a pré-ignição ou ignição à superfície, a autoignição e o “*knock*”, também conhecido por “grilar” ou por “detonação” [...]” - (Figura 5). A pré-ignição trata-se de uma ignição ocorrida em um ponto suficientemente quente da câmara de combustão, tais como a válvula de escape ou a vela. A autoignição caracteriza-se por uma ignição

instantânea de toda a mistura, geralmente causada por alta taxa de compressão ou paredes muito quentes.

Figura 5 – Combustões Anormais



Fonte: MARTINS, 2006

O “*knock*” é uma forma de combustão por autoignição, porém se difere por se tratar de uma ignição de apenas uma parte da mistura, na qual as condições de temperatura são superiores às de ignição instantânea do combustível (MARTINS, 2006). Esse fenômeno é caracterizado por velocidades de propagação de chama elevadas e por um ruído metálico (“grilar”).

Dentre os tipos de combustão anormal citados anteriormente, o “*knock*” se destaca nesse contexto, uma vez que o combustível terá que ter bastante resistência à detonação. Em outras palavras, a detonação é basicamente uma combustão irregular e descontrolada que pode ocorrer na câmara de combustão após a emissão da centelha, que pode até danificar completamente o motor. A detonação é causada por alguns fatores dentre os quais encontram-se o combustível inadequado (ou adulterado). Daí a importância de usar um combustível capaz de resistir às altas pressões e temperaturas formadas dentro da câmara de combustão.

A vibração e o barulho são característicos da manifestação da presença do “*knock*”, estas não são as características perigosas deste tipo de combustão. Segundo Martins (2006):

Com o grande aumento de pressão, a temperatura aumenta excessivamente, pondo em risco os materiais, principalmente os pistões. Estes, como são de alumínio, não aguentam altas temperaturas continuamente, podendo a sua coroa ser fundida e abrir um buraco, ou os segumentos ficarem presos. As válvulas de escape poderão também sofrer com o “*knock*”, pois a temperatura dos gases de escape elevar-se-á. (MARTINS, 2006. p.267).

O fenómeno descrito anteriormente pode ser evitado (ou minimizado) pelas seguintes ações:

1. Redução da taxa de compressão;
2. **Melhoria do tipo de combustível;**
3. Arrefecimento da mistura;
4. Atraso da ignição (pouco eficaz em motores de elevada taxa de compressão).

As Figuras 6 e 7 ilustram algumas consequências devido ao fenómeno *Knock*.

Figura 6 – Pistão derretido devido ao fenómeno *Knock*



Fonte: Próprio autor. Foto retirada no laboratório Automóvel – Sala Toyota. Toyota Educational Room (ISEP) em 26/03/2019.

Figura 7 – Pistão derretido (vista lateral) devido ao fenômeno *Knock*



Fonte: Próprio autor. Foto retirada no laboratório Automóvel – Sala Toyota. Toyota Educational Room (ISEP) em 26/03/2019.

## 4.4 Sensores

Sensor trata-se de um dispositivo que recebe um sinal de determinado tipo, designado por estímulo e responde através de um sinal elétrico. Entende-se assim, como estímulo a quantidade, propriedade ou condição que é detectada e convertida em sinal elétrico (SOUSA *et al.*, 2015).

Para Fraden (1996, p.168): “Um sensor pode ser definido como um sistema que ao receber um sinal ou estímulo físico responde com outro sinal, geralmente elétrico, e o transmite a um controlador”.

Os sensores são divididos em Sensores Ativos e Sensores Passivos. Para Mendonça (2008, p. 47): "Os sensores ativos não geram uma tensão. [...] sensores passivos geram um sinal elétrico em resposta a um estímulo".

Sensores necessitam de condicionamento de sinal para que o dispositivo de aquisição de dados efetue a medição de forma eficaz e precisa. As principais tecnologias de condicionamento de sinal fornecem melhorias distintas tanto no que diz respeito ao desempenho quanto à exatidão de sistemas de aquisição de dados (NATIONAL INSTRUMENTS, 2019).

Diante deste contexto, a metodologia de construção de um sensor para detectar combustíveis adulterados, tem como base a detecção de um estímulo externo (condutividade elétrica do combustível), a fim de gerar um sinal elétrico, por meio de um sensor passivo. Alguns exemplos de sensores passivos são: termopar, sensor de PH, sensor piezoelétrico, como também o sensor de condutividade (Figura 8).



Figura 8 – Sensor de condutividade



Fonte: Próprio autor. Foto retirada no Laboratório de Tecnologia do ISEP em 15/05/2019.

## 4.5 Arduino

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica, criada por Massimo Banzi e David Cuartielles, em 2005, com objetivo de permitir o desenvolvimento de controle de sistemas interativos, de baixo custo e acessível (ARDUINO PORTUGAL, 2019).

Atualmente há no mercado diversas empresas voltadas para a fabricação de "*hardwares* livres", inclusive com plataforma própria, que possibilitam a construção de diversas tarefas com processamento de sinais e aquisição de dados. A Arduino se destaca nesse mercado. O processamento de sinais já é uma necessidade não só na aferição de grandezas físicas para fins de estudos, mas também para a atuação e funcionamento de processos (EL-HERI, 2017).

Através do Arduino é possível enviar e receber informações de praticamente qualquer outro sistema eletrônico. Dessa forma, é possível construir por exemplo, um sistema de captação de dados de sensores, como temperatura, controle de iluminação, condutividade, processar e enviar esses dados para um sistema remoto, ou demonstrá-los num *ecrã*. Assim, para fins didáticos, a utilização deste tipo de placa foi proposta neste projeto de pesquisa.

Além do mais, a Arduino oferece uma gama de modelos de placas versáteis que já possuem microprocessadores e pinagens de acesso às entradas e saídas do mesmo. Em geral, são encontradas via de comunicação (USB), entrada de alimentação, pinos para entradas digitais e analógicas e pinos com saída de tensão (mais comumente 5V ou 3,3V). Este fato facilita a ação de embarcar o microprocessador no instrumento, o que facilita qualquer tipo de construção de módulos de aquisição. Assim, seu estudo e aprimoramento

facilitará a construção de um dispositivo integrado a um sistema *on board* de um veículo.

A Figura 9 mostra a placa "UNO R3" da Arduino.

Figura 9 – Arduino UNO - Visão geral



Fonte: Próprio autor, foto retirada em 04/05/2021.

Torna-se interessante apontar os aspectos técnicos desse tipo de placa, já que as especificações de seus componentes podem limitar ou impossibilitar a sua utilização para fins específicos. Assim, a Tabela 2 apresenta as características da placa com mais detalhes.

Tabela 2 – Aspectos técnicos

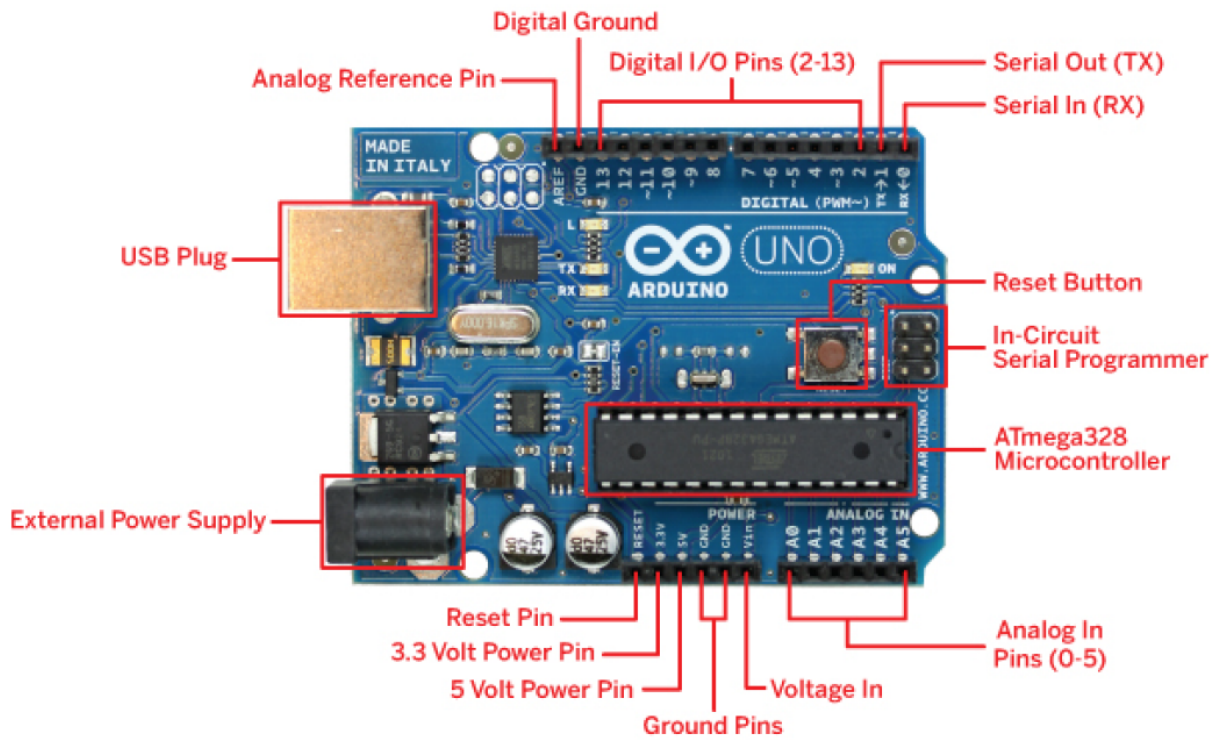
nº	Componente	Detalhes
1	Microcontrolador	ATmega328P
2	Tensão de Operação	5V
3	Input Voltage (recommended)	7-12V
4	Input Voltage (limit)	6-20V
5	Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
6	PWM Digital I/O Pins	6
7	Analog Input Pins	6
8	DC Current per I/O Pin	20 mA
9	DC Current for 3.3V Pin	50 mA
10	Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
11	SRAM	2 KB (ATmega328P)
12	EEPROM	1 KB (ATmega328P)
13	Clock Speed	16 MHz
14	LED-BUILTIN	13
15	Length	68.6 mm
16	Width	53.4 mm
17	Weight	25 g

Fonte: EL-HERI, 2017



A Figura 10 identifica os componentes mostrados na Tabela 2.

Figura 10 – Saídas obtidas



Fonte: EL-HERI, 2017

## 4.6 Pesquisa do material do suporte do sensor

Para adaptar o sensor ao veículo foi necessário projetar um suporte no qual o mesmo será colocado. De maneira geral, a ideia é que no momento em que o carro estiver sendo abastecido no posto de serviços, uma amostra do combustível será desviada para um reservatório secundário. Para os tubos e o reservatório secundário que serão adaptados ao veículo, foi escolhido o material "Polietileno de Alta Densidade (PEAD ou HDPE)". A determinação da escolha por este material se baseou em um estudo feito a materiais de fabricação de tanques de combustível para automóveis. Durante as pesquisas, percebeu-se que o aço seria mais barato, porém há mais liberdade ao se projetar com plásticos, uma vez que os tanques de plásticos são cerca de 30% mais leves e normalmente não apresentam costuras, ou seja, eles são menos propensos a se romper em um acidente (AD NORMAS, 2019). Além do mais, o plástico também não gera faíscas e é um pouco mais flexível que o aço. Quando um tanque de aço absorve energia de impacto, ele se deforma e muitas vezes explode nas costuras. O volume diminui e o combustível é ejetado sob pressão - o que é exatamente o que não se deseja, porque evapora rapidamente (COUTINHO, 2003). Diante dessas vantagens, o material escolhido para a fabricação foi o "Polietileno de Alta Densidade (PEAD ou HDPE)".

Segundo Callister (2007), há uma infinidade de polietilenos no mercado onde as principais características são: estrutura cristalina, grau de ramificação e densidade. A Tabela 3 compara as principais características do Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) e o Polietileno de Alta Densidade (PEAD).

Tabela 3 – Propriedade Físicas de alguns Polietilenos

<b>Características</b>	<b>PEBD</b>	<b>PEAD</b>
Densidade ( $g/cm^3$ )	0,917 a 0,932	0,952 a 0,965
Grau de Cristalinidade (%)	40 a 50	60 a 80
Temperatura de Fusão ( $^{\circ}C$ )	105 a 110	130 a 135
Temperatura Máxima Permissível ( $^{\circ}C$ )	80	100
Coefficiente de Expansão Linear ( $K^{-1}$ )	$1,7 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-4}$
Esforço de Ruptura (MPa)	8,0 a 10,0	20,0 a 30,0
Alongamento da fratura (%)	100 a 650	10 a 1200
Módulo Elástico E (MPa)	200	1000
Estabilidade Química	Boa	Excelente

Fonte: CALLISTER, 2007

O processo de fabricação do Polietileno de Alta Densidade é a moldagem por sopro (COUTINHO, 2003). Assim, os fabricantes sopram um tubo grosso e contínuo de várias camadas do polímero em um molde. Conseqüentemente, paredes mais espessas do tanque irão prevenir ainda mais a permeabilidade ao vapor e às emissões, proporcionando assim uma estrutura mais estável e bem mais leve que o aço.

## 5 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consiste na ideia de desenvolver um protótipo que seja capaz de integrar uma plataforma de prototipagem eletrônica simples (Arduino) a um sensor de condutividade elétrica. Dessa forma, com o objetivo de promover o desenvolvimento de um sistema para aquisição de dados, buscou-se elaborar um código de programação que permitisse a captação dos dados do sensor, seu processamento e o envio de tais dados para um *display ecrã*.

### 5.1 Resolução do sensor

A definição da resolução do sensor foi baseada nos resultados obtidos no trabalho de Mendonça (2019), o qual afirma que os valores de condutividade elétrica a 25° C obtidos através das amostras de AEHC foram:

1. Amostra 1 (3,2% de água): 180  $\mu S/m$
2. Amostra 2 (5,2% de água): 380  $\mu S/m$
3. Amostra 3 (8,2% de água): 420  $\mu S/m$
4. Amostra 4 (12,2% de água): 540  $\mu S/m$

Dessa forma, para realizar a pesquisa de mercado, partiu-se do princípio de que a resolução do sensor deveria atender às medidas listadas acima, ou seja, para esta aplicação, o sensor deveria obedecer necessariamente a esta faixa de detecção, uma vez que os resultados acima foram realizados em laboratório.

Uma observação importante neste contexto, trata-se do fato de que as normas que estipulam os limites de condutividade elétrica dos combustíveis são dadas em unidades de  $\mu S/m$ , enquanto que nos catálogos dos fornecedores de sensores, os valores de resoluções são fornecidos em  $\mu S/cm$ . Portanto, foi necessário realizar essa conversão, a saber:  
 $1 \mu S/cm = 100 \mu S/m$ .

### 5.2 Pesquisa de mercado

#### 5.2.1 Sensor escolhido

Após uma extensa pesquisa de mercado, o sensor escolhido para este projeto foi o "Sensor Condutividade K 0.1" produzido pela *Atlas Scientific* e distribuído com exclusividade pela

Acqua Nativa no Brasil. Este sensor é compatível com Arduino e permite leituras de condutividade entre 0,07 e 50.000  $\mu S/cm$  (7 e 5.000.000  $\mu S/m$ ) com precisão de +/- 2%.

O Kit "Sensor Condutividade EC-KIT-0.1" foi criado para realizar medições precisas de condutividade em campo e em laboratório, em fluidos e solo. Ele é composto por uma interface precisa de aquisição de dados, associado a um eletrodo de condutividade robusto e soluções de calibração que garantem o desempenho do conjunto. Sendo assim, esse sensor é ideal para pesquisadores, desenvolvedores e empresas que desejam adicionar a medição de condutividade em suas aplicações, compatível com placas Arduino (ACQUA NATIVA, 2021). A Figura 11 ilustra o sensor escolhido.

Figura 11 – Kit Sensor Condutividade K 0.1



Fonte: ACQUA NATIVA, 2021

#### 5.2.1.1 Especificações do sensor escolhido

1. Leituras de Condutividade entre 0,07 e 50.000  $\mu S/cm$
2. Tempo de Resposta: 90% em 1 segundo
3. Submersível até 343 metros
4. Temperatura de trabalho entre 1°C e 100°C
5. Cabo de 1 metro com conector BNC
6. Precisão de +/- 2%
7. Taxa máxima de 1 leitura por segundo

8. Permite compensação de temperatura
9. Permite a calibração em 1 ou 2 pontos
10. Protocolo de dados UART com formato ASCII
11. Comandos simplificados para todas as funcionalidades

### 5.3 Lista geral de componentes necessários

Abaixo estão listados os principais componentes necessários para a construção do protótipo do sensor:

1. Kit Sensor Condutividade K 0.1
2. Arduino *UNO R3* ATmega328P
3. *Breadboard*
4. Cabo USB "B"
5. *Display* LCD 16x2 I2C
6. Cabos *Jumper* Macho-Fêmea
7. Cabos *Jumper* Macho-Macho
8. *LEDs* (Vermelho e verde)
9. Resistências (220  $\Omega$ )
10. Capacitor

### 5.4 Programação

A lógica da programação empregada no dispositivo consiste basicamente em acender um LED verde se o valor da condutividade elétrica for igual ou abaixo do máximo especificado por lei para a mistura de etanol com água (350  $\mu S/m$ ). No entanto, se o valor da leitura exceder esse valor máximo, o LED vermelho acenderá.

Para tanto, os pinos de saída do arduino serão usados para acender os LEDs. Os lados negativos dos LEDs deverão ser ligados no "GND" (terra) do arduino; enquanto os lados positivos dos mesmos deverão passar por dois resistores (470  $\Omega$  cada) e ligá-los nos pinos digitais.

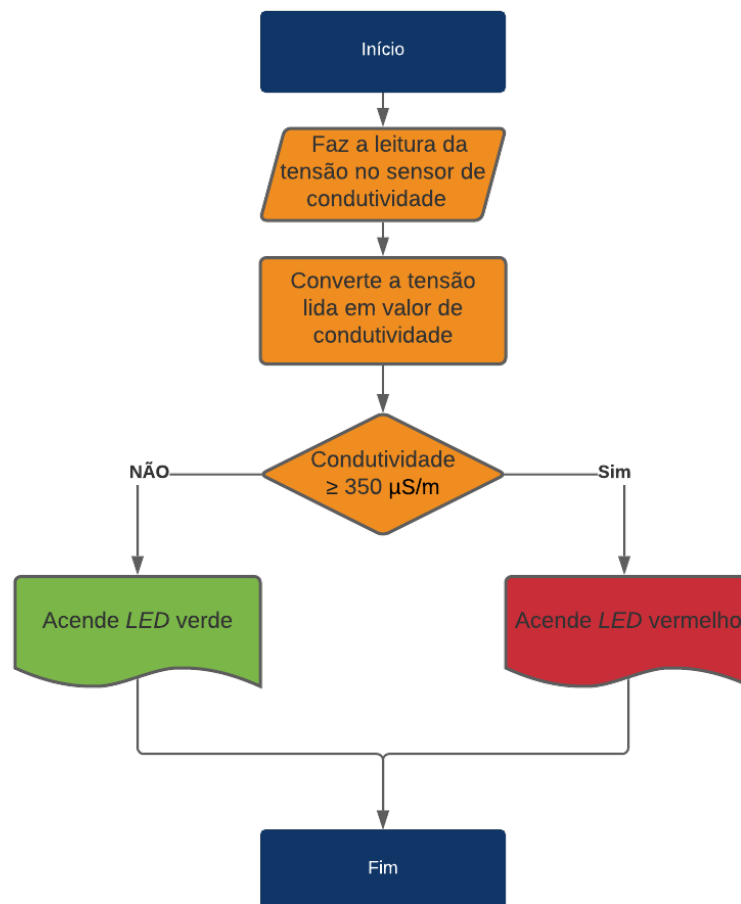
Com relação ao sistema de alimentação, há duas opções: integrar à placa um adaptador de bateria (9V), para efeito de prototipagem; ou conectar o arduino a um circuito eletrônico do automóvel e alimentá-lo direto na placa.

Nos tópicos a seguir são demonstrados os fluxogramas dos códigos de programações desenvolvidos neste projeto.

#### 5.4.1 Fluxograma do primeiro código de programação do sensor

A Figura 12 ilustra o fluxograma que representa a lógica do algoritmo do primeiro código de programação do sensor desenvolvido neste projeto. Toda simbologia empregada na construção deste fluxograma foi baseada na norma internacional IEC 5807:1985, onde esses símbolos foram normatizados.

Figura 12 – Fluxograma do primeiro código de programação do sensor

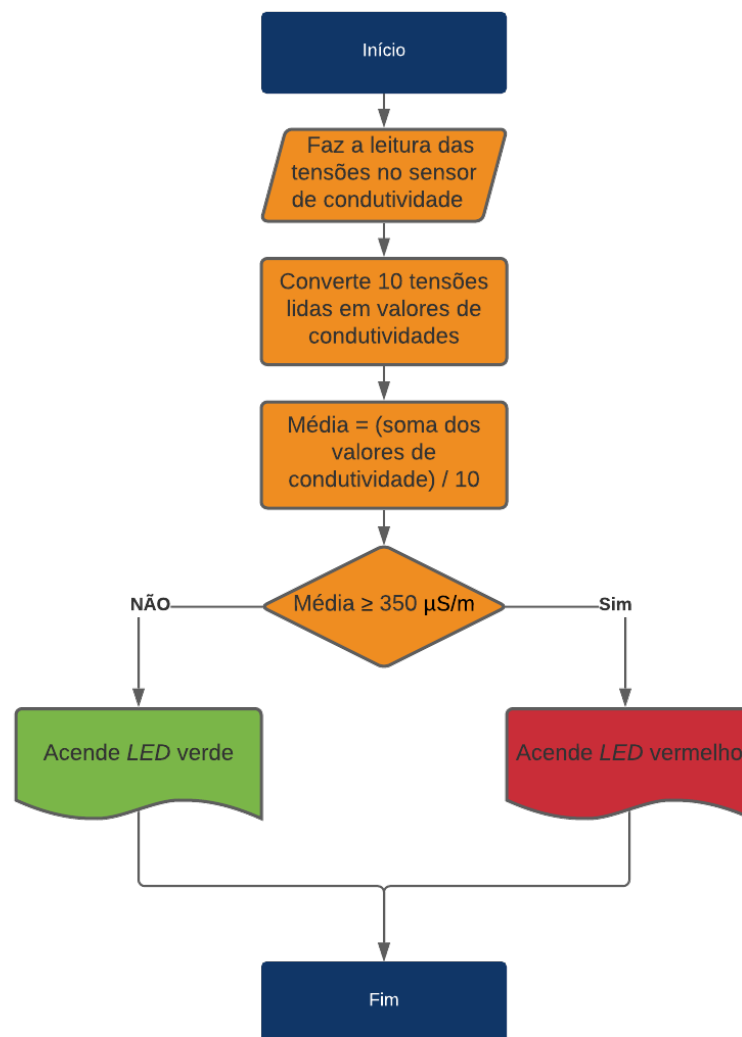


Fonte: Próprio autor

### 5.4.2 Fluxograma do segundo código de programação do sensor - versão do programa com o cálculo da média incluído

A Figura 13 ilustra o fluxograma que representa a lógica do algoritmo do segundo código de programação do sensor desenvolvido neste projeto. Este novo código foi aprimorado de modo que o mesmo leva em consideração o cálculo da média dos valores que são medidos pelo sensor. Toda simbologia empregada na construção deste fluxograma também foi baseada na norma internacional IEC 5807:1985, onde esses símbolos foram normatizados.

Figura 13 – Fluxograma do segundo código de programação do sensor



Fonte: Próprio autor

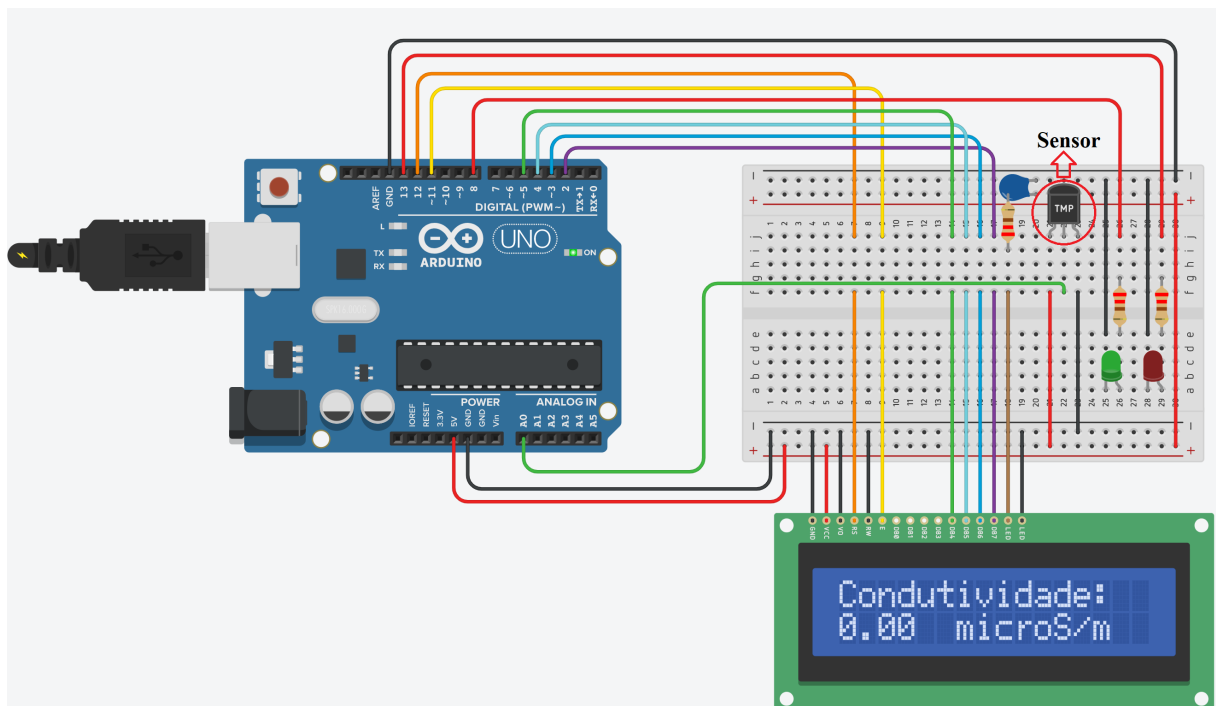
Outro fator importante para se destacar no contexto deste projeto é que quando for possível comprar o "Kit Sensor Condutividade EC-KIT-0.1", será necessário adaptar o código desenvolvido nesta etapa com o código que o sensor já vem de fábrica. Ao se adquirir o sensor, é disponibilizado um código para o modelo Arduino Uno UART. Essa

junção dos códigos é necessária para respeitar o tempo de leituras do sensor (1 segundo), bem como para que possam ser feitas as calibrações necessárias para as medições.

## 5.5 Simulação

Para efeito de simulação e validação do código de programação, a fim de verificar se realmente o circuito irá funcionar, evitando assim gastos desnecessários, foram feitas simulações computacionais (Figura 14) através do *software* Tinkercad. Este *software* consiste basicamente em uma plataforma online e gratuita, onde é possível criar e programar circuitos eletroeletrônicos de maneira didática e testando a funcionalidade de seus componentes.

Figura 14 – Simulação do circuito no *software* Tinkercad



Fonte: Próprio autor

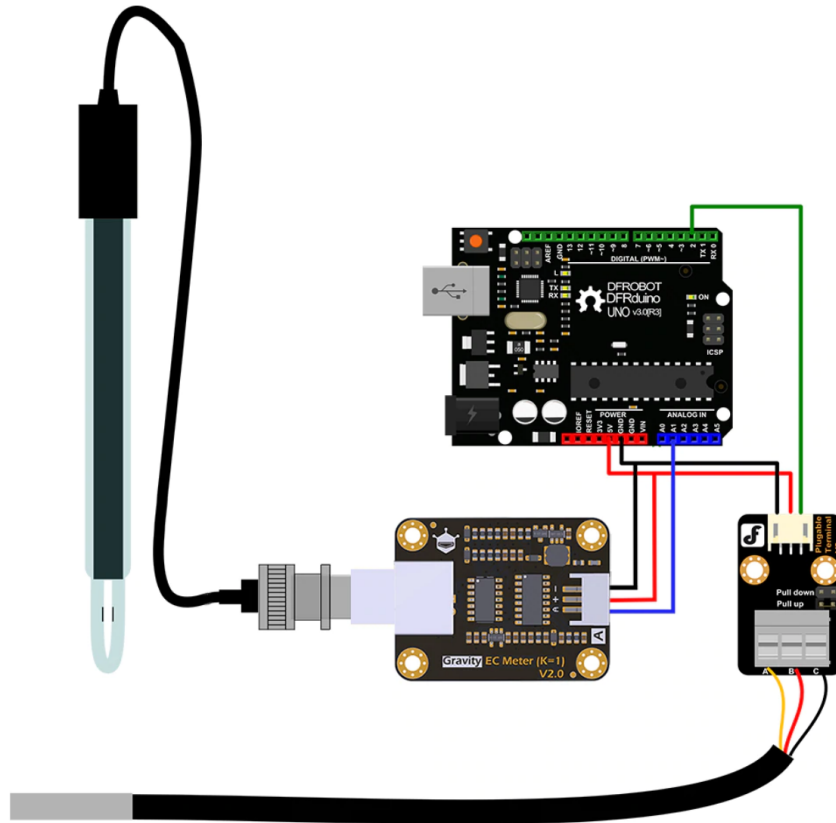
Uma limitação desse *software* trata-se da variedade de componentes disponíveis, que apresenta certa quantidade limitada. Dessa forma, na Figura 15 pode-se notar que foi usado um sensor de temperatura para simular os valores de condutividade, mas na prática, naquele ponto da *breadboard* deve-se considerar acoplado o sensor de condutividade elétrica.

A Figura 15 ilustra o diagrama de conexão do sensor com o arduino. Através dessa figura é possível perceber a disposição geométrica dos componentes que integram o circuito. Vale ressaltar ainda que, a fim de garantir a precisão das medidas, recomenda-se adicionar



um sensor de temperatura para que este parâmetro também seja medido e para que seja alcançada a compensação automática do mesmo.

Figura 15 – Diagrama de conexão do sensor de condutividade elétrica com o arduino



Fonte: HAPPY ELECTRONICS, 2021

## 5.6 Esquema de adaptação do sensor ao veículo

Para adaptar o sensor ao veículo foi necessário projetar um suporte no qual o mesmo será colocado. De maneira geral, a ideia é que no momento em que o carro estiver sendo abastecido no posto de serviços, uma amostra do combustível será desviada para um reservatório secundário. Dentro deste reservatório estará o sensor de condutividade elétrica. Isso permitirá que o sensor realize suas medições e em seguida o combustível seguirá o seu fluxo, por gravidade, para o tanque do veículo. A Figura 16 ilustra esse reservatório secundário, que funciona como um suporte para o sensor, adaptado ao tanque de combustível.

Figura 16 – Suporte para o sensor (reservatório secundário)



Fonte: Próprio autor

O esquema de ligação entre o suporte ilustrado na Figura 16, o sensor e o *display* (o qual estará fixado no painel do veículo) é mostrado pelas Figuras 17 e 18. Nessas figuras é possível perceber que o sensor é conectado por um fio que se liga ao arduino. O arduino encontra-se fixado na parte traseira do *display*, o qual por sua vez, é fixado no painel do veículo. Na Figura 17 é possível ver também os LEDs vermelho e verde, os quais sinalizam se o combustível é de boa qualidade ou não.

Figura 17 – Esquema de ligação dos componentes



Fonte: Próprio autor

Figura 18 – Esquema de ligação dos componentes



Fonte: Próprio autor

### 5.6.1 Escolha e definição do material do suporte do sensor

A escolha e definição do material utilizado no suporte do sensor estão explicadas na Seção 4.6 do Referencial Teórico.

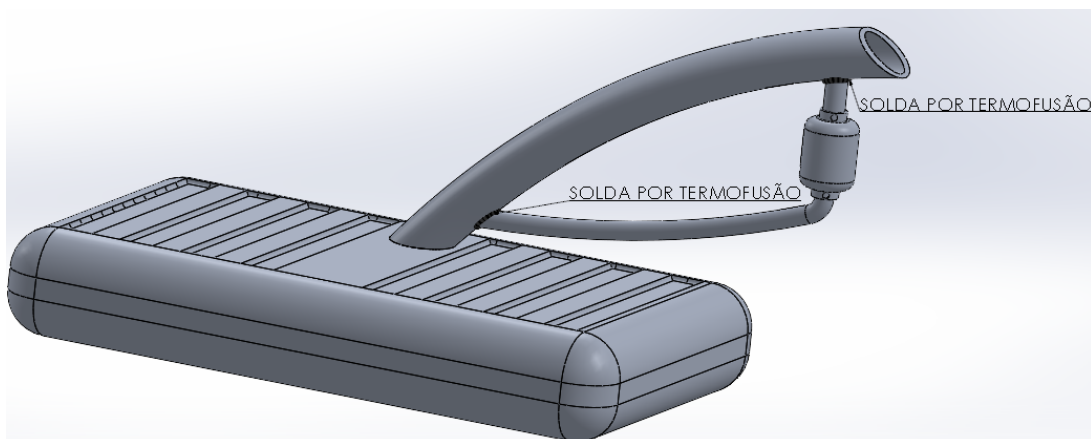
### 5.6.2 Conexões utilizadas no suporte do sensor

Para realizar as conexões do suporte do sensor (reservatório secundário) ao tubo que coleta o combustível e leva-o para o tanque, foi necessário utilizar dois tipos de conexões, sendo elas: solda e colarinho flangeado.

#### 5.6.2.1 Solda

A determinação dos ensaios de pressão dos tubos de polietileno é baseada na norma NBR 14722 de 07/2020 - "Armazenamento de Líquidos Inflamáveis e Combustíveis: Tubulação não metálica (Polietileno)". De acordo com essa norma, os materiais utilizados para tubos são classificados conforme seu desempenho à pressão para uma vida útil de 50 anos na temperatura de 20 °C. Esses ensaios têm objetivo de determinar a resistência do material à pressão no fim de sua vida útil (BRASTUBO, 2001). A partir dessas informações, foi possível entender que a norma recomenda que a soldagem de tubos de polietileno seja do tipo solda por termofusão. A Figura 19 ilustra os pontos onde serão soldados os tubos em estudo neste trabalho.

Figura 19 – Pontos de solda do projeto



Fonte: Próprio autor

A Soldagem de Topo por Termofusão trata-se do processo de soldagem de dois elementos de material polimérico através da aplicação controlada de temperatura e força para promover a união (ASSUNÇÃO, 2020). Além do mais, esse tipo de solda é feito através de basicamente quatro etapas: preparação, aquecimento (fusão), solda e resfriamento (SANTOS, 2017).

Diante deste contexto, a Tabela 4 fornece informações quanto à soldagem de termoplásticos. A parte destacada indica as condições que este projeto se baseia para realizar a solda nos tubos em estudo.

Tabela 4 – Recomendação para soldagem de termoplástico (chapa ou tubo)

Material	Processo de solda	Kgf aplicado no cordão durante a soldagem	Temperatura do ar
PEAD	SB CB	1,6 a 1,8 2,5 a 3,4	300 a 350 °C
PEBD	SB CB	-	260 a 320 °C
PP	SB CB	1,6 a 1,8 2,5 a 3,4	280 a 330 °C
PVC-HI PVC-U	SB CB	0,7 a 1,1 1,6 a 2,5	320 a 370 °C
PVC flexível	SB CB	1,8 a 2,5 0,7 a 1,15	320 a 370 °C
CPVC	SB CB	1,6 a 1,8 1,8 a 2,5	350 a 400 °C
PMMA	SB CB	1,13 a 3,6 1,8 a 3,0	320 a 370 °C
PVDF	SB CB	1,6 a 1,8 2,5 a 3,4	350 A 400 °C

Fonte: CALLISTER, 2007

### 5.6.2.2 Colarinho flangeado

O colarinho em "Polietileno de Alta Densidade (PEAD)" para Flange, é também conhecido como colarinho flangeado e trata-se de uma peça utilizada em tubulações (TRANSPOL, 2021). Ou seja, a função deste produto é promover a conexão entre tubos de PEAD, os quais fazem parte da tubulação. A Figura 20 mostra os locais onde serão utilizadas estas peças no projeto, a fim de garantir a vedação dos tubos, onde o fluxo de combustível irá passar.

Figura 20 – Local de aplicação do colarinho flangeado no projeto



Fonte: Próprio autor

A escolha desta peça se baseou no fato de que uma de suas principais características é a resistência a impactos e à abrasão (TRANSPOL, 2021). Dessa forma, com a utilização do colarinho em PEAD, não será necessário o uso de flanges soltos de aço-carbono ou aço inoxidável para realizar as conexões da tubulação e, conseqüentemente, a eficiência da vedação será maior. A Figura 21 ilustra a peça.

Figura 21 – Colarinho em PEAD para Flange



Fonte: TRANSPOL, 2021

### 5.6.3 Posicionamento do sensor

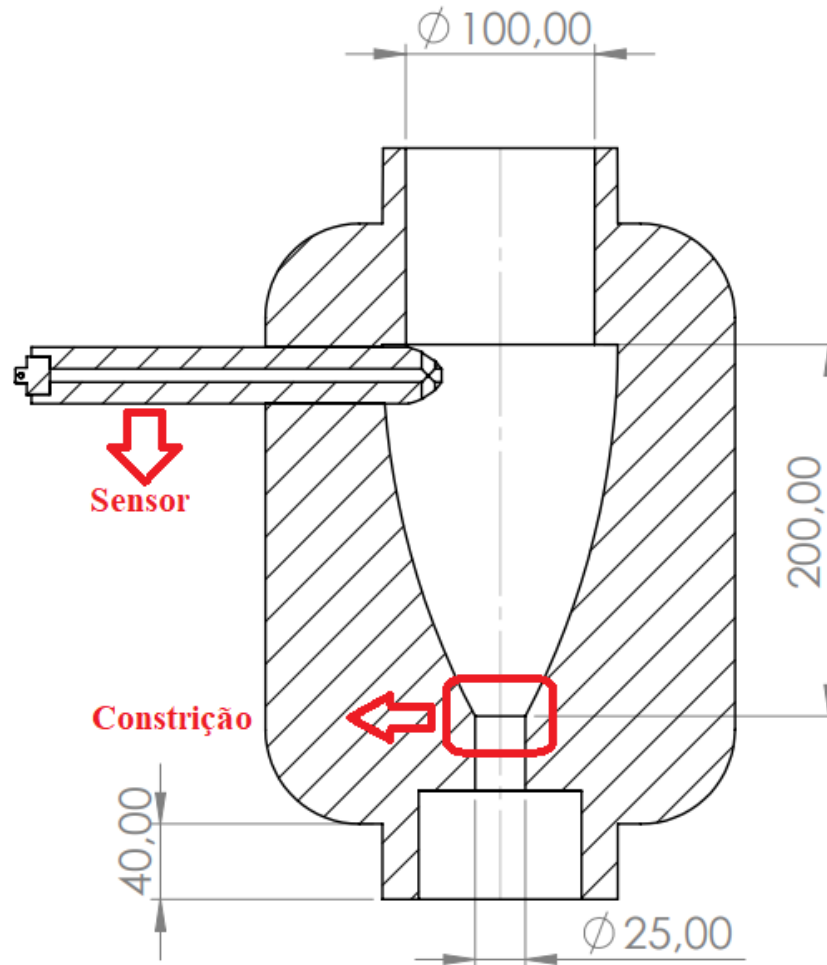
O posicionamento do sensor dentro do suporte representa outro fator importante no contexto deste projeto, uma vez que foi necessário determinar a melhor posição para garantir que as leituras de condutividade sejam efetivas e confiáveis.

Através do *datasheet* foram encontradas as especificações do sensor, as quais afirmam que o seu tempo de resposta entre duas leituras consecutivas é de 90% em 1 segundo. Ou seja, o sensor leva 1 segundo para fazer uma leitura de condutividade com 90% de precisão. Então, a amostra de combustível deverá ficar no mínimo esse tempo (1 segundo) dentro do suporte para que as medições sejam fidedignas.

A Figura 22 mostra uma vista em corte da seção interna do suporte onde se encontra o sensor. Através dela é possível perceber que o melhor posicionamento para o sensor é a parte superior do suporte e a explicação para esse fato foi baseada no "Efeito Venturi" que será explicada mais adiante.

Através da Figura 22 é possível perceber que a parte interna do suporte consiste basicamente em uma espécie de funil onde há um tubo vertical de diâmetro maior ( $D$ ) seguido de uma constrição de diâmetro menor ( $d$ ). De acordo com Çengel e Cimbala (2012), se for considerado um escoamento de combustível (incompressível) em regime permanente, as equações de balanço de massa e de Bernoulli entre um local antes da constrição (ponto 1) e o local onde ocorre a constrição (ponto 2), podem ser escritos como:

Figura 22 – Vista interna do suporte do sensor



Fonte: Próprio autor

- Balanço de Massa:

$$\dot{V} = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \rightarrow V_1 = (A_2/A_1) \cdot V_2 = (d/D)^2 \cdot V_2 \quad (1)$$

- Equação de Bernoulli ( $h_1 = h_2$ ):

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \quad (2)$$

- Combinando as equações acima e isolando a velocidade  $V_2$ , temos:

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho \cdot (1 - \beta^4)}} \quad (3)$$

Onde  $\beta = \frac{d}{D}$  é a razão dos diâmetros.

A velocidade da última equação é obtida considerando que não haja nenhuma perda (para efeitos de simplificações) e, portanto, essa é a velocidade máxima que pode ocorrer



no local da constrição. Na verdade, sabe-se que é inevitável que ocorra algumas perdas de pressão devido aos efeitos do atrito e, conseqüentemente na prática, a velocidade será ainda menor. Ainda segundo Çengel e Cimbala (2012), tais perdas podem ser calculadas pela incorporação de um fator de correção chamado de "coeficiente de descarga" ( $C_d$ ), cujo valor é menor do que 1 e por esse motivo não foi considerado neste projeto.

O mais importante para se compreender nesta etapa do projeto é que quando o fluido (combustível) encontra a constrição ele passa a fluir a uma velocidade maior do que antes da constrição. Como o objetivo desta análise é garantir que a amostra de combustível fique pelo menos durante 1 segundo antes da constrição (fator necessário para uma leitura precisa), foi necessário colocar o sensor no ponto em que a velocidade do combustível é a menor possível. Além do mais, como foi visto pelas equações anteriores que a velocidade máxima ocorre na constrição, a recíproca é válida, ou seja, o ponto de menor velocidade trata-se do ponto mais alto do funil. Por este motivo o sensor foi colocado no ponto mais alto do funil, local onde a velocidade é a menor possível.

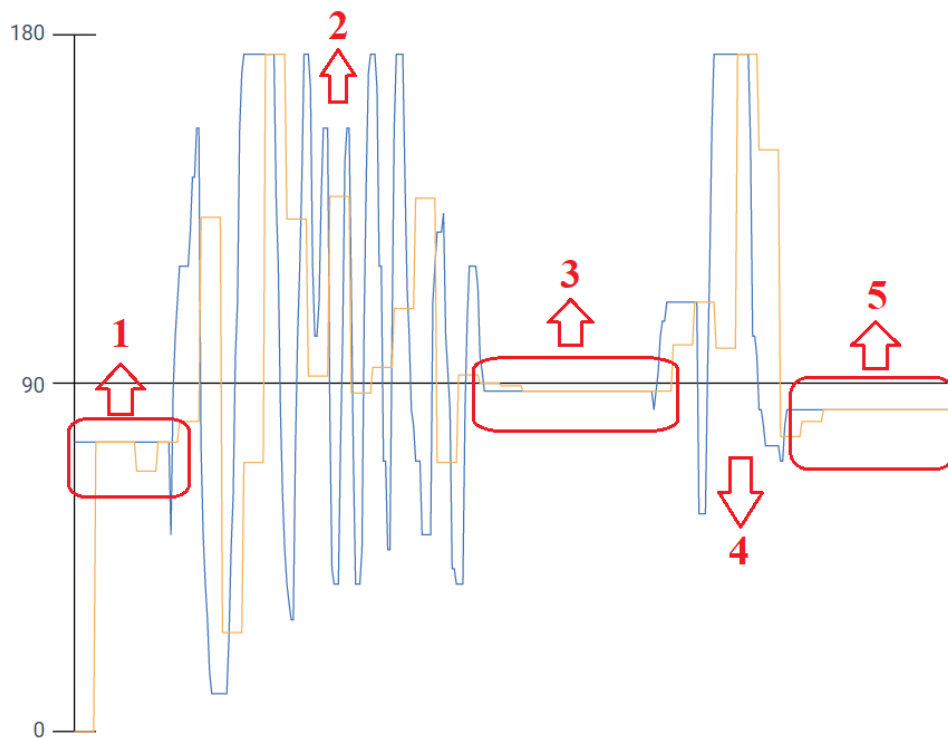
Em suma, todo o volume de combustível que passou na parte superior do funil em um intervalo de 1 segundo, irá passar em um tempo menor na constrição, a fim de garantir que a massa de combustível que entra pela seção transversal maior seja igual à massa de combustível que sai através da seção transversal menor do volume de controle no mesmo intervalo de tempo.

Em outras palavras, a razão entre o volume e o tempo em um certo ponto do funil (antes da constrição) deve ser igual a razão entre o volume e o tempo em um outro ponto do tubo (na constrição). Ou seja, a taxa do fluxo de volume deve permanecer constante. Além disso, pode-se afirmar que, nas regiões de maior velocidade, a pressão exercida por um fluido diminui e vice-versa.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente trabalho acadêmico foram desenvolvidos dois códigos de programações para o sensor em análise. No APÊNDICE A são demonstrados os códigos de programações desenvolvidos neste projeto. Diante disso, é possível entender que o principal resultado deste projeto consistiu no fato de que o segundo código foi aprimorado, uma vez que ele leva em consideração o cálculo da média dos valores que são medidos pelo sensor. Dessa forma, a cada 10 valores de condutividade que são medidos pelo sensor, o programa gera a média desses valores, a fim de que este sensor adquira maior estabilidade das medidas em seus resultados quando comparado ao primeiro código. A Figura 23 ilustra o gráfico que representa os resultados observados na execução do segundo código de programação.

Figura 23 – Gráfico dos resultados observados na execução do segundo código



Fonte: Próprio autor

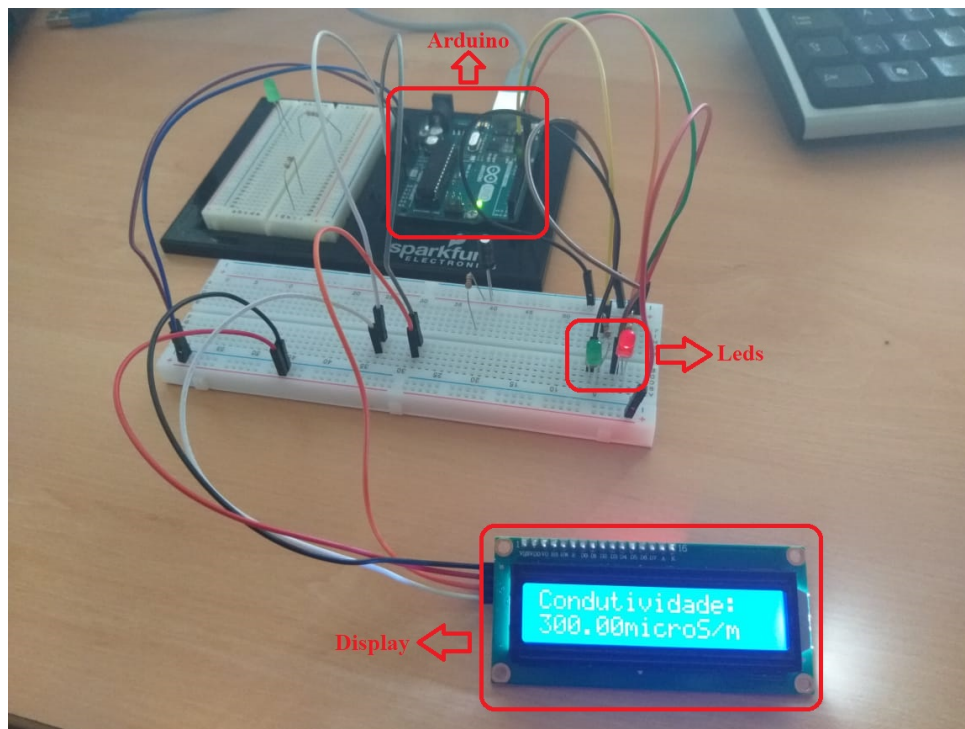
Através do gráfico ilustrado na Figura 23 é possível observar que ao iniciar a simulação e variar os valores de leituras do sensor, o programa plota gráficos que representam tanto os valores medidos, que são representados pela curva em azul, bem como a média desses valores, as quais são representadas pela curva em amarelo. É possível ver ainda que, ao iniciar a simulação do programa, o *software* leva alguns segundos para se estabilizar e começar a realizar de fato a interpretação das leituras, como pode ser visto na etapa 1 do gráfico.

Após esta etapa, foram variadas (intencionalmente) as medidas, a fim de entender como o código de programação iria se comportar. Então, como pode ser identificado na etapa 2, ao variar os valores medidos (curvas em azul), a média móvel (curvas em amarelo) busca estabilizar estas medidas, tendendo a ficar no centro da região de oscilação das curvas em azul. Outro aspecto interessante do gráfico é o fato de que ao parar de oscilar os valores de leituras, a média móvel converge para o próprio valor da leitura. Isto pode ser verificado nas etapas 3 e 5 do gráfico, onde a curva amarela se torna uma reta que sobrepõe a reta azul.

Além do mais, os códigos foram testados em um dispositivo real de Arduino, onde foi comprovado sua eficácia quanto à programação.

Também foi elaborada a construção de um protótipo do circuito para testar os códigos. Para tanto, inicialmente a programação do circuito eletrônico desenvolvida neste trabalho foi simulada no *software* computacional *Tinkercad*, a fim de testar a lógica de programação envolvida. Em seguida, a programação foi transferida para uma placa de *Arduino UNO R3* e os componentes foram montados na *breadboard*. Assim, após a realização de vários testes, foi possível construir o protótipo do sensor. A Figura 24 retrata o protótipo do dispositivo identificador de fraudes em combustíveis desenvolvido nesta pesquisa.

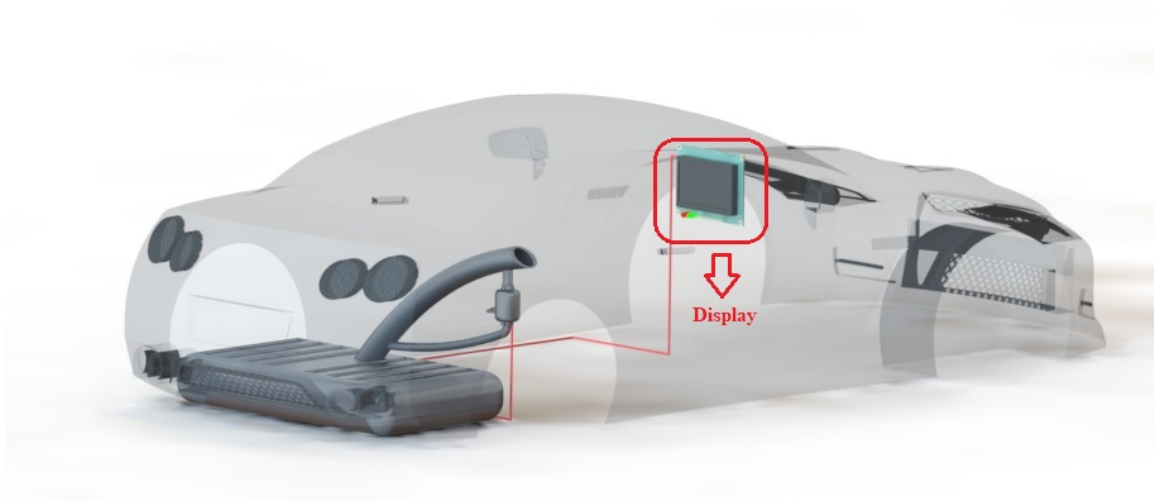
Figura 24 – Protótipo desenvolvido



Fonte: Próprio autor

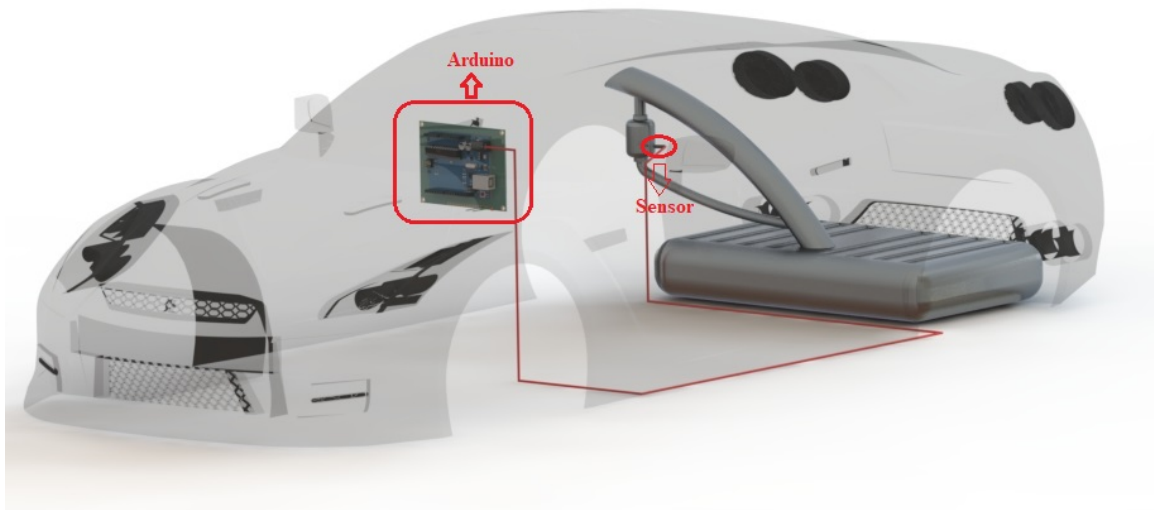
As Figuras 25 e 26 ilustram o esquema de ligação dos componentes em um automóvel.

Figura 25 – Arranjo dos componentes no automóvel



Fonte: Próprio autor

Figura 26 – Esquema dos componentes no automóvel



Fonte: Próprio autor

Por fim, foi elaborado o desenho técnico do suporte para o sensor, bem como suas dimensões. A folha de projeto encontra-se detalhada no APÊNDICE B.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As etapas de testes sobre as amostras dos combustíveis apresentadas no trabalho de Mendonça (2019), realizadas no Laboratório de Tecnologia do ISEP e no laboratório do Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* Avançado Arcos, contribuíram para a compreensão de diversos comportamentos observados experimentalmente no que se refere a adulteração de combustíveis.

O estudo desenvolvido elaborou uma metodologia para o desenvolvimento de um dispositivo identificador de fraude em combustíveis. Este projeto trata-se de uma versão inicial, que teve como finalidade explicar como seria o funcionamento do sensor na prática. Então, deve-se ressaltar que foi elaborado um projeto inicial, o qual além de contribuir para mitigar tais atos ilícitos, serve como incentivo para a elaboração de trabalhos futuros na continuação desta pesquisa.

Além disso, pode-se entender que o *Arduino* não será colocado de fato no automóvel, mas as ideias aqui expostas, foram pensadas para fins de testes iniciais dos conceitos envolvidos. Portanto, futuramente pretende-se adaptar as ideias discutidas neste projeto aos conceitos e ideias discutidas nos trabalhos semelhantes (Seção 4.1), a fim de que possa ser projetada uma placa específica que seja capaz de realizar o total condicionamento de sinal, calibração, ajustes e design do sensor para finalmente incorporá-lo a um sistema *on board* de um veículo.

### 7.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Estudar um circuito de aquisição de dados do tipo nanocontrolador, para que o mesmo componha a elaboração da versão final da placa do sensor;
- Realizar a calibração e compensação de temperatura das leituras de condutividade elétrica;
- Promover a conversão do sinal vindo do eletrodo em informações de condutividade para o usuário no painel do veículo, de forma que permita ao usuário solicitar leituras do eletrodo, com comandos fáceis seguindo o protocolo UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*);
- Obter aprovação dos órgãos de fiscalizações vigentes (ex.: ANP).

# REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10547**: etanol combustível - determinação da condutividade elétrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ACQUA NATIVA. **Kit Sensor Condutividade K 0.1**. 2021. Disponível em: <<https://www.acquanativa.com.br/produtos/kit-oem-monitoramento-EC-KIT-0-1.html>>. Acesso em: 01 de maio de 2021.
- AD NORMAS. **Os reservatórios de combustível de plástico para veículos**. 2019. Disponível em: <<https://revistaadnormas.com.br/2019/10/01/os-reservatorios-de-combustivel-de-plastico-para-veiculos>>. Acesso em: 05 de ago. de 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Fiscalização do Abastecimento em Notícias**: balanço anual. Rio de Janeiro: ANP, 2020.
- ARDUINO PORTUGAL. **O que é Arduino?**. 2019. Disponível em: <<https://www.arduinoportugal.pt/o-que-e-arduino/>>. Acesso em: 05 de maio de 2021.
- ASSUNÇÃO, M. T. **Caderno Didático - Processos de Fabricação III**. 1. ed. Arcos: IFMG, 2020.
- BRASTUBO. **Manual Técnico do Polietileno**. São Paulo: LTC, 2001.
- CALLISTER, W. D. **Materials Science and Engineering: an introduction**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- COUTINHO, F. M. B. **Polietileno**: principais tipos, propriedades e aplicações. Instituto de Química. UERJ, 2003.
- DIAS, J. A. **Entendendo a adulteração**. Ministério Público Federal, 2007.
- EL-HERI, A. S. **Sensor Capacitivo para Análise de Escoamentos Bifásicos**. 2017. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.
- FRADEN, J. **Handbook of Modern Sensors: physics, designs, and applications**. 2. ed. California, 1996.
- GUERRA, R. **Consequências da gasolina adulterada**. Oficinasme.com. São Paulo, 2016.
- HAPPY ELECTRONICS. **Diagrama de conexão arduino**. 2021. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/32481414450.html>>. Acesso em: 05 de maio de 2021.
- HELERBROCK, R. **Capacitores e Capacitância**. 2017. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/capacitores.htm>>. Acesso em: 26 de jul. de 2021.
- HELERBROCK, R. **Condutividade**. 2017. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/condutividade.htm>>. Acesso em: 26 de jul. de 2021.

- LACERDA, A. S. **Estudo de um Sensor Capacitivo para Medição de Adulteração de Álcool Combustível**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
- MARTINS, J. **Motores de Combustão Interna**. 2. ed. Porto: Publindústria, 2006.
- MARTINS, V. S. **Sistema de Telemetria IoT Aplicado à Detecção de Adulteração de Gasolina**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2018.
- MENDES, G. **Detecção de Adulterações em Gasolina e Previsão de Parâmetros Físico-Químicos a partir de Curvas de Destilação Associadas à Ferramentas Quimiométricas**. 2012. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.
- MENDONÇA, B. A. **Estudo das influências de combustíveis adulterados em motores de combustão interna ciclo Otto e metodologia de desenvolvimento para o funcionamento de um detector de adulteração em combustíveis**. 2019. VIII Seminário de Iniciação Científica - Planeta Inovação, Instituto Federal de Minas Gerais. Ribeirão das Neves, 2019.
- MENDONÇA, L. G. D. **Micro-Sensor Capacitivo para a Avaliação da Qualidade de Combustíveis Automotivos**. 2008. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.
- NATIONAL INSTRUMENTS. **O que é condicionamento de sinal?**. 2019. Disponível em: <<https://www.ni.com/pt-br/innovations/white-papers/09/what-is-signal-conditioning-.html>>. Acesso em: 05 de maio de 2021.
- SANTOS, R. A. C. **Montagem e manutenção de tubulações de PEAD**. 2017. Disponível em: <[https://www.arandanet.com.br/revista/hydro/materia/2017/10/25/montagem\\_e\\_manut.html](https://www.arandanet.com.br/revista/hydro/materia/2017/10/25/montagem_e_manut.html)>. Acesso em: 26 de ago. de 2021.
- STROSKI, P. N. **O que é Permissividade Elétrica?**. 2018. Disponível em: <<https://www.electricalibrary.com/2018/11/02/o-que-e-permissividade-eletrica/>>. Acesso em: 26 de jul. de 2021.
- TAKESHITA, E. V. **Adulteração de Gasolina por Adição de Solventes: análise dos parâmetros físico-químicos**. 2006. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.
- TRANSPOL. **Colarinho em PEAD para Flange**. 2021. Disponível em: <<https://www.transpolindustria.com.br/colarinho-em-pead-para-flange.php>>. Acesso em: 05 de ago. de 2021.
- ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos: fundamentos e aplicações**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

# APÊNDICE A – PROGRAMAÇÕES

Figura 27 – Primeiro código de programação do sensor

```
// Biblioteca LCD
#include <LiquidCrystal.h>

// Inicializa a biblioteca LCD
LiquidCrystal LCD(12,11,5,4,3,2);

// Define o pino analogico A0 como entrada do Sensor de Condutividade
int SensorCondPino=A0;

// Define o pino 8 para o alerta de condutividade abaixo de 350
int AlertaCondBaixa = 200;
// Define o pino 13 para o alerta de condutividade acima de 350
int AlertaCondAlta = 200;

// Define condutividade baixa como abaixo de 350
int CondBaixa = 200;
// Define condutividade alta como acima de 350
int CondAlta = 200;
int ledvermelho = 13 ;
int ledverde = 8;
void setup() {
  // Define o pino de alerta de condutividade baixa como saida
  pinMode(AlertaCondBaixa, OUTPUT);
  // Define o pino de alerta de condutividade alta como saida
  pinMode(AlertaCondAlta, OUTPUT);

  // Define a quantidade de colunas e linhas do LCD
  LCD.begin(16,2);
  // Imprime a mensagem no LCD
  LCD.print("Condutividade:");
  // Muda o cursor para a primeira coluna e segunda linha do LCD
  LCD.setCursor(0,1);
  // Imprime a mensagem no LCD
  LCD.print("      microS/m");
}

void loop() {
  // Faz a leitura da tensao no Sensor de Condutividade
  int SensorCondTensao=analogRead(SensorCondPino);

  // Converte a tensao lida
  float Tensao=SensorCondTensao*5/1023;

  // Converte a tensao lida em valor de condutividade
  float CondutividadeC=Tensao*1500/5;

  // Muda o cursor para a primeira coluna e segunda linha do LCD
  LCD.setCursor(0,1);

  // Imprime o valor da condutividade
  LCD.print(CondutividadeC);

  // Acende ou apaga os alertas luminosos de temperatura baixa e alta
  if (CondutividadeC>CondAlta) {
    digitalWrite(ledverde, LOW);
    digitalWrite(ledvermelho, HIGH);
  }
  else if(CondutividadeC<=CondAlta){
    digitalWrite(ledverde, HIGH);
    digitalWrite(ledvermelho, LOW);
  }
  // Aguarda 1 segundo
  delay(1000);
}
```

Fonte: Próprio autor



Figura 28 – Segundo código de programação do sensor - cálculo da média incluído

```

// Biblioteca LCD
#include <LiquidCrystal.h>

// Inicializa a biblioteca LCD
LiquidCrystal LCD(12,11,5,4,3,2);

// Define o pino analogico A0 como entrada do Sensor de Condutividade
int SensorCondPino=A0;

// Define o pino 8 para o alerta de condutividade abaixo de 350
int AlertaCondBaixa = 200;
// Define o pino 13 para o alerta de condutividade acima de 350
int AlertaCondAlta = 200;

// Define condutividade baixa como abaixo de 350
int CondBaixa = 200;
// Define condutividade alta como acima de 350
int CondAlta = 200;
int ledvermelho = 13 ;
int ledverde = 8;
const int sensor = 0;
int V_sensor = 0;
float CondutividadeC = 0.0;
float C_med = 0.0;
float soma = 0.0;
unsigned long previousMillis_1 = 0;
unsigned long previousMillis_2 = 0;
const long intervalo_1 = 50;
const long intervalo_2 = 500;
const int n_amostras = 10;

void setup() {
  pinMode(sensor, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  // Define o pino de alerta de condutividade baixa como saída
  pinMode(AlertaCondBaixa, OUTPUT);
  // Define o pino de alerta de condutividade alta como saída

```

```

pinMode(AlertaCondAlta, OUTPUT);

// Define a quantidade de colunas e linhas do LCD
LCD.begin(16,2);
// Imprime a mensagem no LCD
LCD.print("Condutividade:");
// Muda o cursor para a primeira coluna e segunda linha do LCD
LCD.setCursor(0,1);
// Imprime a mensagem no LCD
LCD.print("      microS/m");
}

void loop() {
  unsigned long currentMillis = millis();

  // Faz a leitura da tensao no Sensor de Condutividade
  int SensorCondTensao=analogRead(SensorCondPino);

  // Converte a tensao lida
  float Tensao=SensorCondTensao*5.0/1023.0;

  // Converte a tensao lida em valor de condutividade

  if (currentMillis - previousMillis_1 >= intervalo_1)
  {
    V_sensor = analogRead(sensor);
    CondutividadeC = (V_sensor*0.004887585533)/0.01;
    soma = soma + CondutividadeC;
    Serial.print(CondutividadeC);
    Serial.print(",");
    Serial.println(C_med);
    previousMillis_1 = currentMillis;
  }

  if (currentMillis - previousMillis_2 >= intervalo_2)
  {
    C_med = soma / n_amostras;
    previousMillis_2 = currentMillis;
    soma = 0.0;
  }

  // Muda o cursor para a primeira coluna e segunda linha do LCD
  LCD.setCursor(0,1);

  // Imprime o valor da condutividade
  LCD.print(CondutividadeC);

  // Acende ou apaga os alertas luminosos de temperatura baixa e alta
  if (C_med > CondAlta) {
    digitalWrite(ledverde, LOW);
    digitalWrite(ledvermelho, HIGH);
  }
  else if(C_med <= CondAlta){
    digitalWrite(ledverde, HIGH);
    digitalWrite(ledvermelho, LOW);
  }

  // Aguarda 1 segundo
  delay(1000);
}

```

# APÊNDICE B – FOLHA DE PROJETO

Figura 29 – Desenho técnico do suporte para o sensor

