

MEDIDOR DE COMBUSTÍVEL DIGITAL

Wesley Mariano da Silva¹

Rafael de Oliveira Silva²

RESUMO

Com o constante aumento nos números de fraudes relacionadas às bombas de combustíveis nos últimos anos, tornou-se cada vez mais necessário o investimento no desenvolvimento de medidores mais confiáveis e precisos. O presente trabalho trata-se do desenvolvimento de um medidor de combustível digital por ultrassom, considerando, que a maior parte, dos veículos automotivos no mercado, possuem medidores imprecisos, que não trazem confiabilidade e segurança ao consumidor. O trabalho é dividido em três partes, sendo a primeira uma breve explicação dos principais métodos de medição do nível adotado na indústria, a segunda aborda os sistemas envolvidos na medição de combustível nos automóveis e dificuldades empregadas nesta tarefa, a terceira refere-se ao desenvolvimento do medidor, descrevendo os componentes utilizados, motivos e métodos praticados, para a montagem e testes. Após a finalização do protótipo, foi verificado que o mesmo apresenta bons resultados, possuindo boa precisão, com baixo custo de produção.

Palavras chave: Microcontrolador. Programação. Sensor de Nível.

¹ Graduando de Engenharia Mecânica pela Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Mecânica.

² Orientador, Professor Mestre da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde – UniRV.

1 INTRODUÇÃO

Um das informações mais importantes na utilização dos automóveis, além da temperatura do motor, pressão de óleo, e velocidade, é sem dúvida a quantidade de combustível presente no tanque. Para isso as montadoras incluem em seus veículos sensores e indicadores de nível, sendo este conjunto, conhecido como medidor de combustível, cuja a função é fundamental, para qualquer tipo de veículo a combustão.

Devido ao avanço da tecnologia, vários parâmetros do automóvel começaram a ser obtidos e transmitidos ao condutor de maneira precisa e confiável, o que não ocorreu com o medidor de combustível, que apesar de ter passado por várias melhorias ainda sofre por apresentar constantes falhas na leitura e indicação do combustível, sendo estes inconvenientes alvos de várias reclamações (CALASSO, 2009).

No Brasil, alguns donos de postos de combustíveis têm aproveitado da falta de confiabilidade, que o medidor de combustível dos carros possui, para prejudicar seus clientes, adulterando as bombas de combustível de seus postos, que passam a marcar quantidades maiores que as abastecidas nos veículos, lesando o consumidor. Esse tipo de fraude é denominado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) como fraude metrológica na venda de combustível, que inclusive foi tema principal discutido no encontro organizado pela Federação Nacional de Comércio de Combustíveis e Lubrificantes (Fecombustíveis), no dia 9 de dezembro de 2016 no Rio de Janeiro (INMETRO, 2016).

Por estas razões o objetivo desse projeto é desenvolver um sistema de medição de combustível preciso e eficiente, com baixo custo e que traga segurança e confiabilidade na leitura, permitindo ao condutor o monitoramento e gerenciamento correto do combustível de seu veículo, evitando assim, situações desagradáveis como a falta de combustível decorrente de marcações errôneas. O sistema também terá a função de indicar a quantidade de combustível que entrou no tanque logo após o abastecimento, funcionando como mecanismo de conferência, protegendo o consumidor e conseqüentemente inibindo ações de fraudes nos postos.

Para a confecção e programação do protótipo, serão empregados componentes elétricos, eletrônicos e softwares, baseados na plataforma de código aberto Arduino.

1.1 MEDIÇÃO DE NÍVEL

Sensores de nível são aplicados no monitoramento e controle de substâncias líquidas ou sólidas, armazenadas em tanques, silos e reservatórios. Estes sensores são classificados em diretos ou indiretos (THOMAZINE; ALBUQUERQUE, 2006).

Nos processos industriais mensurar a variável de nível é coletar através do acompanhamento direto ou indireto, parâmetros referenciais, para quantificar volumes contidos em tanques ou recipientes de estocagem (FIALHO, 2010).

Os instrumentos que utilizam grandezas que variam proporcionalmente ao nível, são considerados do tipo direto, os que necessitam de uma relação matemática, para ligar a grandeza medida, com outra diretamente mensurável são considerados do tipo indireto (FIALHO, 2010).

Os sensores de nível mais utilizados na área industrial são do tipo: flutuador, capacitivo, fotoelétrico, radar, laser, pressão hidrostática, eletrodo metálico, diafragma e ultrassônico (THOMAZINE; ALBUQUERQUE, 2006).

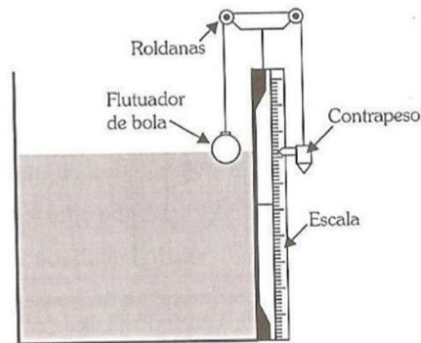
1.1.1 Medição direta

De acordo com Fialho (2010) é a tomada de medida caracterizada por haver contato direto da substância medida com o componente de medição, podendo ser empregada tanto no controle contínuo ou discreto.

1.1.2 Medição por boias

Esse processo utiliza um flutuador que varia sua posição conforme o nível do fluido medido, sua movimentação é usada para transmitir a informação da altura do líquido, podendo ser empregado em medições contínuas ou discretas, mostrado na Figura 1.A (FIALHO, 2010).

FIGURA 1.A – Medição de nível contínuo com flutuador de bola e indicador no contrapeso

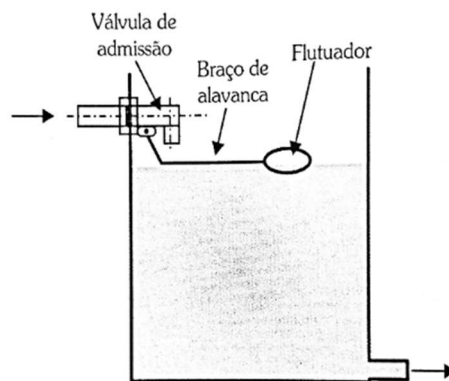


Fonte: FIALHO (2010).

Os sensores de nível por boias são baseados nos princípios de flutuabilidade de Arquimedes, com tecnologia antiga, são dispositivos simples, considerados como alternativa de baixo custo para várias aplicações (THOMAZINE; ALBUQUERQUE, 2006).

O sistema também pode ser aplicado como uma chave de nível, para controlar limites máximos e mínimos de um tanque ou reservatório, bastando apenas conectar a boia a um dispositivo de controle de vazão. Ilustrado na Figura 1.B (RIBEIRO, 1999).

FIGURA 1.B – Controle de nível máximo e mínimo por chave boia (sistema mecânico)



Fonte: FIALHO (2010).

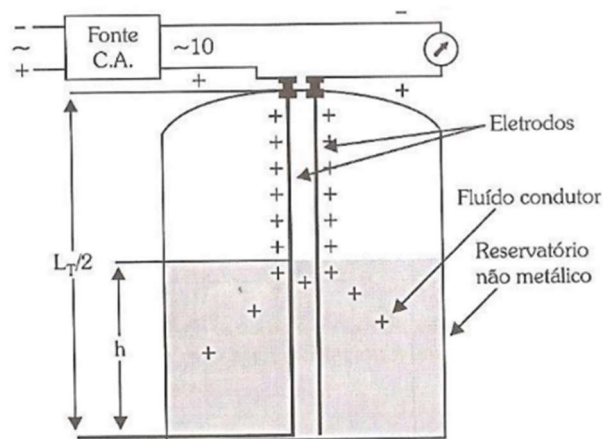
1.1.3 Medição por contatos de eletrodos

Segundo Fialho (2010) o processo pode ser usado no acompanhamento de nível de fluídos, com condução elétrica maior ou igual a $50 \mu\text{S}$ (Microsiemens), partículas sólidas suspensas e não corrosivos, para garantir a precisão e durabilidade do sistema.

Esse sistema utiliza uma sonda de medição, constituída de dois eletrodos cilíndricos, ou somente um, caso as paredes do tanque sejam metálicas. O sistema funciona com baixa tensão alternada, com aproximadamente 10 V (Volts) para impedir que os eletrodos sejam polarizados (FIALHO, 2010).

O método é usado, tanto para aferições contínuas, quanto para discretas de nível, sendo que para medições contínuas a sonda é instalada, no topo verticalmente, para dentro do tanque, devendo ter no mínimo o comprimento igual à profundidade medida, como pode ser visto através da Figura 2. A corrente elétrica transmitida na sonda será proporcional a quantidade submersa do eletrodo (FIALHO, 2010).

FIGURA 2 – Reservatório com par de eletrodos



Fonte: FIALHO (2010).

O sistema também aplica-se no controle de nível máximo e mínimo, em medições discretas, funcionando, como chave de nível por eletrodos, cuja a aplicação é bastante comum, em segurança contra o funcionamento de bombas à seco (THOMAZINE; ALBUQUERQUE, 2006).

1.1.4 Medida indireta

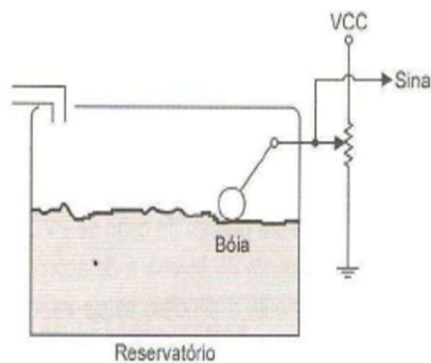
É a tomada de medida determinada, em função de uma segunda variável, sendo obtida por meio de grandezas físicas vinculadas, à substância mesurada, como propriedades elétricas, físicas e químicas (FIALHO, 2010).

1.1.5 Medição por flutuadores potenciométricos

Os flutuadores potenciométricos são amplamente difundidos na indústria automotiva, sendo um dos principais dispositivos utilizados na detecção de nível de combustível dos automóveis (THOMAZINE; ALBUQUERQUE, 2006).

O método é uma variação dos sensores de nível por boia, acrescentando uma resistência elétrica variável (potenciômetro), ligado diretamente a extremidade do flutuador, conforme a Figura 3. A medida que a boia acompanha a altura do fluido, a resistência elétrica do potenciômetro é alterada proporcionalmente ao nível (THOMAZINE; ALBUQUERQUE, 2006).

FIGURA 3 – Sensor flutuador potenciométrico



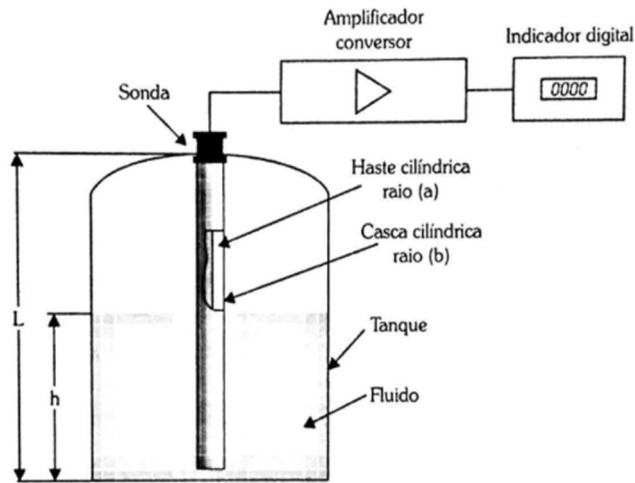
Fonte: THOMAZINE; ALBUQUERQUE (2006).

1.1.6 Medição por capacitância

É um dos métodos mais utilizados nos processos industriais, para o controle e monitoramento contínuo de líquidos e sólidos, tendo como princípio, o funcionamento dos capacitores (THOMAZINE; ALBUQUERQUE, 2006).

Na verificação de nível por capacitância uma sonda composta por um sensor capacitivo pode ser fixada no topo de um reservatório, voltada para dentro e mergulhada na substância armazenada, mostrado na Figura 4 (FIALHO, 2010).

FIGURA 4 – Sonda capacitiva cilíndrica (esquemático)



Fonte: FIALHO (2010).

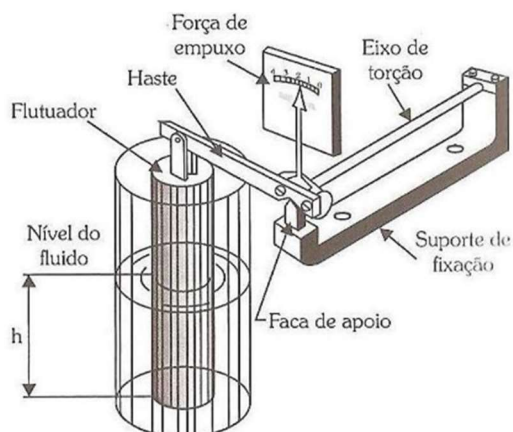
O valor da capacitância gerada pela sonda, aumenta à medida que o dielétrico fluido medido substitui o dielétrico ar, comportando-se como dois capacitores cilíndricos ligados em paralelo, permitindo calcular a altura do fluido medido a capacitância gerada na sonda (FIALHO, 2010).

1.1.7 Medição por empuxo

Segundo Arquimedes (212 a.c) todo corpo submerso em líquido, sofre uma força vertical para cima, com intensidade proporcional ao volume do líquido deslocado. Sendo conhecida como força de empuxo.

Baseado neste princípio, o sistema utiliza um flutuador (deslocador) comprido inserido dentro do tanque, com densidade maior que o fluido, o deslocador é acoplado a um mecanismo de transmissão ou indicação, permanecendo imóvel dentro do reservatório, como representado na Figura 5 (THOMAZINE; ALBUQUERQUE, 2006).

FIGURA 5 – Deslocador (*displacer*)



Fonte: FIALHO (2010).

O medidor do sistema deve ser ajustado para densidade do líquido medido, devido ao empuxo variar com a densidade (FIALHO, 2010). Quando o nível do reservatório estiver no mínimo, o deslocador estará totalmente fora do líquido, portanto não haverá força de empuxo atuando sobre ele, com isso a força peso atuando o mecanismo de detecção será máxima, devendo este informar nível mínimo em sua escala. Conforme o nível sobe, a força de empuxo sobre o deslocador aumenta, fazendo com que o peso aparente dele diminua, mantendo deste modo uma relação linear entre o peso e o nível do reservatório até o nível máximo, onde o deslocador deverá estar totalmente submerso (RIBEIRO, 1999).

1.1.8 Medição de nível por ultrassom

O ultrassom é uma onda sonora com frequência acima da faixa audível humana, que se situa entre 20Hz a 20kHz (FIALHO, 2010). Com velocidade média de aproximadamente 343 m/s no ar, a 20 °C, e aproximadamente 1440 m/s na água, a 10 °C (VIANA, 1999).

Estes sensores utilizam o princípio de reflexão das ondas sonoras, sendo semelhantes aos sonares, utilizando o som como mecanismo de medição (THOMAZINE; ALBUQUERQUE, 2006). Os sensores ultrassônicos são compostos por dois componentes básicos, são eles: o emissor ultrassônico cuja função é gerar a onda sonora e o receptor de ultrassom responsável por detectar a onda refletida (eco).

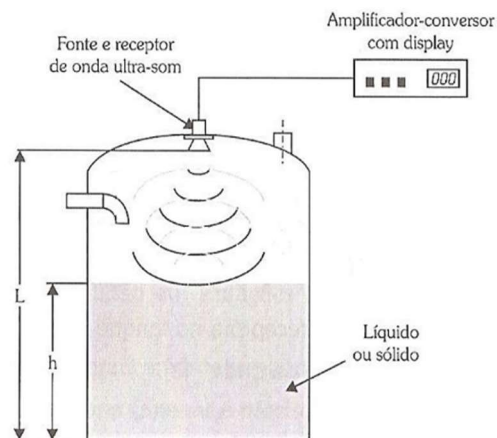
No processo, a medição de nível se dá pelo tempo gasto para o som gerado no emissor, se propagar pelo ar em direção ao fluido e retornar ao receptor em forma de eco, após ser

refletido pela superfície do líquido, mostrado na Figura 6. Sendo a altura calculada em função do tempo, pela Equação (1) (FIALHO, 2010).

$$h = L - t \cdot \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (1)$$

Onde: L = altura da fonte emissora – receptora no tanque [m]; t = tempo total de propagação da onda [s]; B = módulo volumétrico de elasticidade [Pa]; ρ = densidade do meio de propagação [kg/m³].

FIGURA 6 – Medição de nível com ultrassom



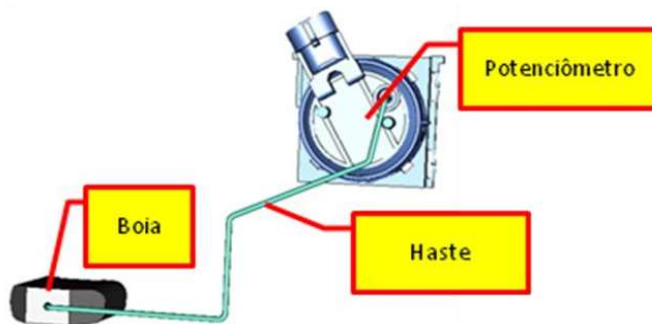
Fonte: FIALHO (2010).

Para aplicações com a variação de temperatura acentuada, aconselha-se a instalação de um sensor de temperatura, para a calibração do mecanismo de medição, visto que a temperatura afeta a velocidade de propagação da onda sonora, na ordem de 0,607 m/ °C.s (FIALHO, 2010).

1.2 MEDIDOR DE COMBUSTÍVEL

É um dos sistemas mais antigos construídos para os automóveis, sendo composto por dois conjuntos básicos: o medidor de nível e o indicador de nível. Os medidores mais utilizados neste tipo de medição, como mencionado anteriormente, são os flutuadores potenciométricos como ilustra a Figura 7 (THOMAZINE; ALBUQUERQUE, 2006).

FIGURA 7 – Conjunto Medidor com flutuador potenciométrico



Fonte: CALASSO (2009).

Enquanto o medidor de nível é responsável por coletar a informação do nível de combustível, o indicador fica responsável por receber essa informação, é transmiti-la de maneira clara ao condutor do veículo, através do ponteiro indicador e escala percentual (CALASSO, 2009).

Este sensor baseia-se na variação da resistência do potenciômetro decorrente da altura da boia, para controlar uma corrente elétrica inserida no mecanismo de movimentação do ponteiro do indicador, controlando deste modo a posição do ponteiro, lembrando que o valor da resistência do potenciômetro está dentro de um intervalo específico do projeto, comportando-se da seguinte maneira: quanto maior o nível de combustível no tanque, menor será a resistência do potenciômetro, em consequência disso maior será a corrente elétrica atuando o mecanismo de indicação (SILVA, 2005).

1.2.1 Marcadores de nível de combustível

Existem vários modelos de marcadores nível de combustível no mercado. Com o passar dos anos, inúmeras tecnologias foram desenvolvidas e aprimoradas para melhorar o mecanismo de indicação desses marcadores, para torná-los mais precisos.

Os principais tipos de marcadores são: os marcadores de combustível termo estático auto regulados, os marcadores de combustível termo estático com regulador de tensão, os marcadores de combustível diferencial termo estáticos, os marcadores de combustível eletromagnéticos, e os marcadores de combustível micro controlados. Todos eles funcionando

com base na alteração da corrente elétrica, gerada pela variação da resistência elétrica do potenciômetro, ligado a boia de combustível (CALASSO, 2009).

1.2.2 Marcadores eletrônicos de nível de combustível

Com o avanço da tecnologia e crescimento da eletrônica embarcada nos automóveis, tornou-se cada vez mais necessário o uso de microcontroladores nos sistemas de medição de combustível, sendo criados e adicionados, aos sistemas filtros digitais, eliminando as oscilações bruscas do ponteiro, derivadas da dinâmica do automóvel (CALASSO, 2009).

Os sistemas de marcadores eletrônicos possuem o funcionamento bastante complexo. Iniciando-se pela boia, que varia sua altura seguindo o nível do combustível no tanque, alterando a resistência elétrica do potenciômetro de maneira proporcional à sua altura. Tal resistência é verificada pelo microcontrolador, que utiliza essa informação para identificar através de um algoritmo o percentual de combustível presente no tanque. Após esta etapa, o valor obtido em percentual é utilizado em um segundo filtro, responsável por aplicar um amortecimento adequado, para evitar oscilações bruscas na indicação do marcador. Por fim, após calcular o valor que deve ser marcado pelo ponteiro, é determinada a quantidade de pulsos que deveram ser criados para alterar a localização do ponteiro a nova posição (CALASSO, 2009).

1.3 TANQUES DE COMBUSTÍVEL

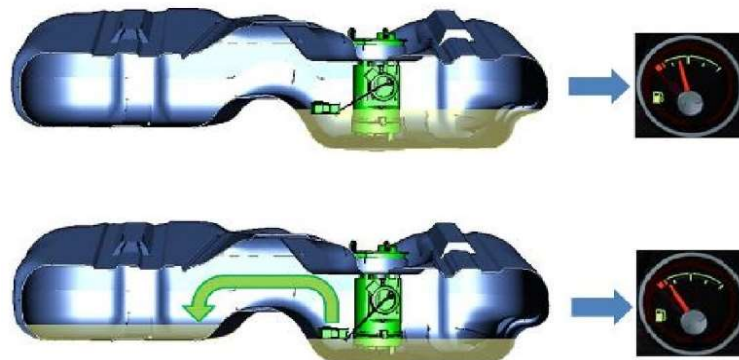
Atualmente existem dois tipos de tanques, os metálicos geralmente fabricados em aço doce ou de baixo carbono e os não metálicos, fabricados em plástico de alta densidade (PEAD). Ambos dispõem de características positivas e negativas para a medição de combustível (SUZUKI, 2007).

Os tanques metálicos devido as limitações de fabricação possuem formas simples, geralmente cúbicos ou cilíndricos, que impedem a formação de bolsões de combustível, tornando a medição do volume de combustível mais exata. Já os tanques fabricados em plásticos possuem maior versatilidade, permitindo a criação de geometrias mais complexas,

possibilitando o aproveitamento de espaços nos veículos antes não utilizados, com isso, amplia-se a capacidade do tanque e a autonomia do automóvel, e são cerca de 30% mais leve que os metálicos (SUZUKI, 2007).

Um fator negativo na utilização de tanques com geometrias complexas é a dificuldade que estes apresentam na marcação correta do nível, pois facilitam a criação de bolsões de combustível, que é o acúmulo de combustível, em locais isolados no tanque, ocasionando a entrada ou saída do combustível na mesma, influenciando, a marcação errada do volume de combustível, conforme ilustra a Figura 8 (CALASSO, 2009).

FIGURA 8 – Bolsão de combustível devido à geometria complexa



Fonte: CALASSO (2009).

Outro fator que pode influenciar a correta medição do combustível é o posicionamento do sensor de nível, que para a maioria dos casos é recomendado no centro geométrico do tanque, afim de minimizar as variações no nível decorrente da inclinação do solo em que o veículo esteja (CALASSO, 2009).

1.4 ARDUINO

O Arduino é uma plataforma de código aberto, desenvolvido em hardware e software de simples utilização, criado para facilitar a construção de protótipos e desenvolvimento de projetos acadêmicos, sem a necessidade de profundo conhecimento técnico de programação e eletrônica (MARGOLIS, 2011).

A programação do Arduino é conhecida como esboço, criada em computadores utilizando o Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) do Arduino. O IDE possibilita criar ou alterar códigos existentes, para programar as placas Arduino (MARGOLIS, 2011).

A Placa Arduino é a parte física da plataforma, cuja função é processar e executar as operações lógicas contidas nos códigos escritos e convertidos na IDE. Podendo assim interagir com meio ambiente através de sensores e atuadores ligados as suas entradas e saídas (MARGOLIS, 2011).

De maneira mais prática o Arduino é entendido como um conjunto de componentes eletrônicos e de softwares, necessários para o funcionamento e programação dos microcontroladores, como o ATmega328. Sendo tratados como Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) de baixo poder de processamento, porém de baixíssimo custo (PEREIRA, 2003).

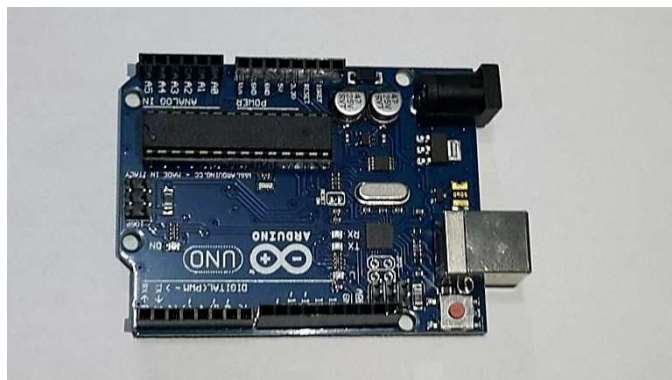
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

2.1.1 Arduíno Uno Rev 3

Para o processamento do projeto, optou-se por utilizar uma placa Arduíno modelo Uno Rev 3, composta pelo microcontrolador ATmega328, com clock de 16MHz e tensão de operação de 5V, possuindo 14 pinos de entrada e saída digitais, e 6 pinos de entrada e saída analógicos. Como mostrado na Figura 9, sendo este de excelente custo benefício, pois possui boa quantidade de entradas e saídas a um baixo custo, atendendo a demanda de portas necessárias para realização deste trabalho.

FIGURA 9 – Placa Arduíno Uno Rev 3

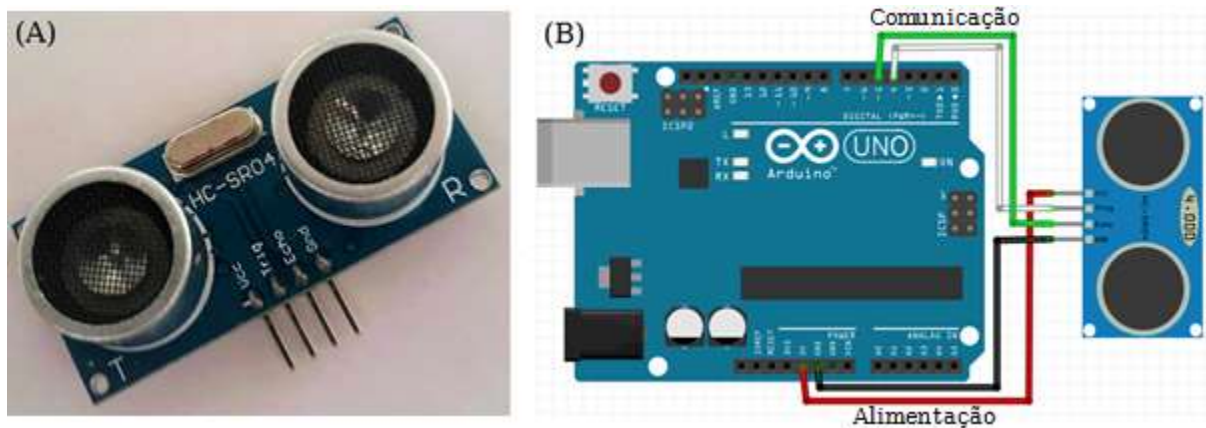


Fonte: Wesley Mariano da Silva, 2017.

2.1.2 Modulo Ultrassônico HC-SR04

Para a aferição do nível do reservatório foi escolhido o módulo ultrassônico HC-SR04, Figura 10 A, que possui um range de detecção entre 2 cm há 400 cm, com precisão estimada de 3 mm, operando com tensão contínua de 5V e corrente contínua de 15mA, possuindo apenas 4 pinos para conexão, sendo eles Vcc e GND para alimentação, Trig e Echo para comunicação. Por essas características considerou-se este sensor adequado para o projeto, pois sua faixa de leitura encontra-se dentro da estabelecida pelo reservatório e ele oferece boa precisão em relação a seu custo, além de requerer uma programação bastante simples para seu uso, ocupando apenas 2 pinos digitais da placa Arduino. Como mostrado na Figura 10 B.

FIGURA 10 – (A) Modulo Ultrassônico HC-SR04; (B) Ligação do Modulo Ultrassônico HC-SR04 com placa Arduino Uno Rev3



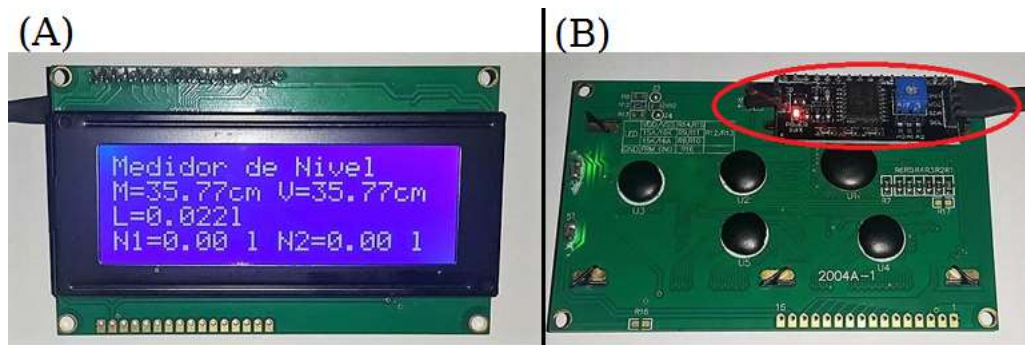
Fonte: Wesley Mariano da Silva, 2017.

2.1.3 Display LCD 20x4 com Modulo I2C

A interface escolhida para repassar as informações coletadas pelo módulo ultrassônico HC-SR04 e processadas pelo microcontrolador da placa Anduino ATmega328, foi o display LCD 20x4, composto por 20 colunas e 4 linhas, com *Backlight* azul e escrita branca, com tensão de alimentação de 5 V, mostrado na Figura 11 A. Sendo utilizado para apresentar os valores das seguintes variáveis criadas na programação: V= Distância entre o sensor e a superfície do líquido em cm; M= Média gerada com várias leituras da distância do sensor em cm; L= Quantidade de combustível presente no reservatório; N1= Quantidade de combustível no instante da abertura da tampa de acesso ao furo de abastecimento do reservatório, em litros; N2= Quantidade de combustível adicionado no reservatório durante o abastecimento, em litros;

Com o propósito de diminuir as quantidades de pinos necessárias, para realizar as conexões do display a placa Arduino, o mesmo foi adquirido associado em conjunto, com o módulo I2C, que corresponde a uma placa de interface Serial Módulo, com 4 pinos, sendo os pinos Vcc e GND de alimentação e DAS e SCL de comunicação, mostrado na Figura 11 B.

FIGURA 11 – (A) Display LCD 20x4 com Modulo I2C; (B) Modulo I2C instalado no display LCD



Fonte: Wesley Mariano da Silva, 2017.

2.1.4 Reservatório

O reservatório foi confeccionado em vidro de 5mm, sendo a sua base quadrada de 25cm² e altura de 35cm, com capacidade máxima de 21,875 litros. Conforme a Figura 12. Porém, para evitar que o módulo ultrassônico instalado na tampa do mesmo seja submerso, foi adotado 20 litros como capacidade usual. Devido a limitações de fabricação a tampa do reservatório foi confeccionada em acrílico de 3mm, com três furos, sendo dois deles localizados no centro com diâmetro 17mm e espaçamento entre eles de 7mm para a acomodação do sensor e um no canto da tampa com 19mm de diâmetro para o abastecimento.

FIGURA 12 – Reservatório com fim de curso e tampa em acrílico



Fonte: Wesley Mariano da Silva, 2017.

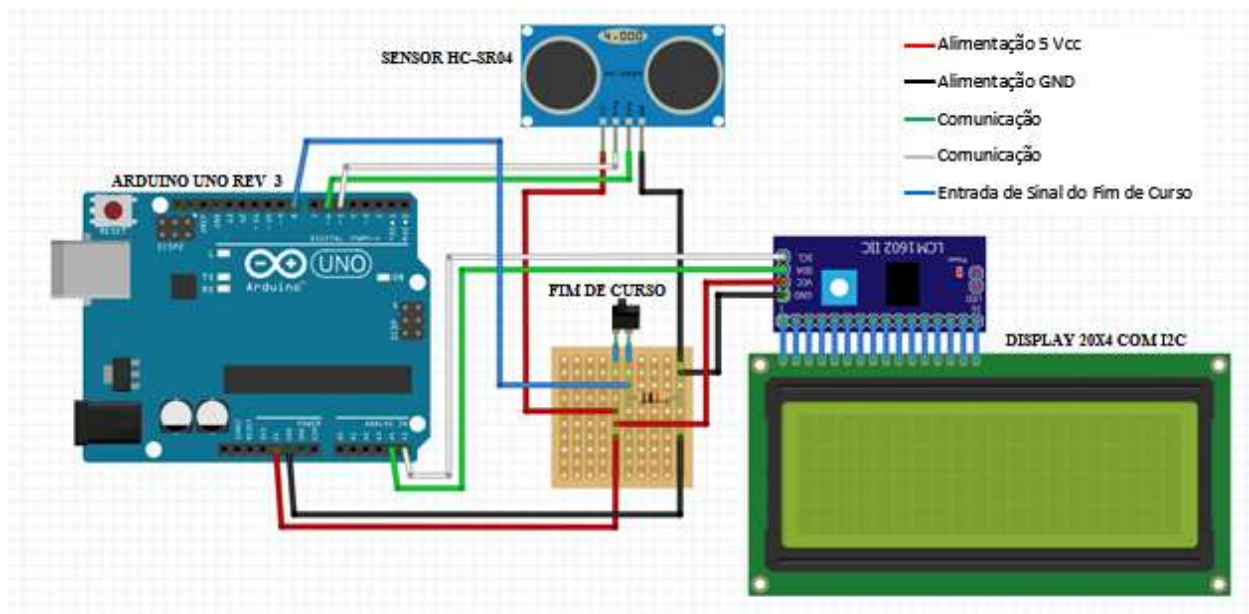
Para simular a abertura e fechamento do tanque de combustível dos veículos, foi adicionada uma tampa articulada, para o furo de abastecimento, cuja função é acionar o fim do curso instalado, na parede do reservatório. Marcado na Figura 12.

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Montagem

As ligações dos componentes eletrônicos foram estabelecidas utilizando cabos de rede de par trançado categoria 6 e categoria 5 soldados em uma placa de circuito impresso perfurada universal 70x30mm, conforme o esquema elétrico mostrado na Figura 13. Após os primeiros testes de funcionamento do circuito, a placa PCB foi revestida com silicone para garantir maior durabilidade ao circuito e evitar a quebra dos cabos.

FIGURA 13 – Esquema elétrico geral do sistema.



Fonte: Wesley Mariano da Silva, 2017.

2.2.2 Metodologia e testes

Utilizou-se o software Arduino IDE na versão 1.8.2, para escrever os códigos em linguagem C e C++ para a programação do microcontrolador ATmega328 presente na placa Arduino, desenvolvido o código principal, para realizar a leitura do nível no reservatório e mais dois códigos secundários, com leves alterações, em alguns parâmetros, como a realização de média nos valores obtidos, pelo módulo do sensor ultrassônico HC-SR04, com o intuito de

estabilizar a variação da leitura gerada pelo sensor, que oscila dentro de sua margem de precisão.

Os testes se iniciaram no dia 01/11/2017 no laboratório de Processos de Fabricação da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Rio Verde, tendo como método, adicionar incrementos de 1 em 1 litro de água no sistema com um recipiente padrão, e anotar os valores informados no display das variáveis L, N1 e N2, até completar a capacidade de 20 litros do reservatório. Esse processo foi repetido uma vez para cada código, com o intuito de verificar qual das três programações é a mais adequada para o projeto.

Com a programação do código principal definida para o trabalho, no dia 04/11/2017 foram realizados quatro testes, afim de verificar a precisão do sistema, seguindo basicamente o método dos primeiros testes, variando apenas o valor de incremento a cada teste, sendo eles:

- Teste 1 - dez medições com incrementos de 2 litros, anotar e comparar os valores obtidos das variáveis L, N1 e N2;
- Teste 2 - cinco medições com incrementos de 4 litros, anotar e comparar os valores obtidos das variáveis;
- Teste 3 - quatro medições com incrementos de 5 litros, anotar e comparar os valores obtidos das variáveis;
- Teste 4 - duas medições com incrementos de 10 litros, anotar e comparar os valores obtidos das variáveis.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores das variáveis coletadas, para cada código durante os testes, estão exibidos na Tabela 1, onde Código 1 realiza uma única leitura a cada meio segundo, o Código 2 faz a média de 100 leituras a cada 1 segundo e o Código 3 efetua a média de 200 leituras em 2 segundos.

TABELA 1 – Resultado dos testes dos códigos com incrementos de 1 litro

Quantidade de Litros	Código 1			Código 2			Código 3		
	(Sem média)			(Média com 100 leituras)			(Média com 200 leituras)		
	L	N1	N2	L	N1	N2	L	N1	N2
1	0,74	0,01	1,01	0,6	0,9	0,51	1,1	0,19	1,08
2	1,76	0,78	0,92	2,12	0,63	1,26	2,3	1,04	1,11
3	2,8	1,79	0,95	3,89	2,2	2,2	4,2	2,07	2,35
4	3,75	2,8	0,94	4,17	3,72	1,27	8,35	4,07	4,18
5	4,84	3,74	1,09	4,64	3,89	0,73	4,75	7,98	-3,1
6	5,79	4,84	0,95	5,68	4,63	1,07	6,15	5,07	0,97
7	6,8	5,78	1,1	6,97	5,78	1,22	7,17	6,1	1,07
8	7,79	6,81	0,98	7,82	7,14	1,1	7,88	7,29	0,59
9	8,81	7,83	1,01	8,8	7,54	1,28	9,3	7,85	1,6
10	9,82	8,8	1,02	9,63	8,89	0,8	9,7	9,35	0,61
11	10,87	9,82	1,3	10,8	9,66	1,08	11,29	10,01	1,26
12	11,85	10,84	1,02	11,66	10,79	0,94	12,45	11,47	0,74
13	12,87	11,85	1,05	12,83	11,79	1,15	13,04	12,19	0,85
14	14,2	12,8	1,36	13,62	12,91	0,65	14,4	13,03	1,23
15	14,84	14,09	0,81	14,98	13,58	1,36	15	14,35	0,65
16	16,1	14,84	1,26	15,91	14,96	0,94	16,3	15,01	1,39
17	17,42	16,16	1,26	16,81	15,94	0,88	17	16,37	0,63
18	18,1	17,49	0,61	18,02	16,8	1,24	18,33	17	1,33
19	19,39	18,17	1,22	18,87	18,04	0,84	19,33	18,4	0,99
20	19,83	19,38	0,38	19,67	18,84	0,84	20,09	19,42	0,67

Fonte: Wesley Mariano da Silva, 2017.

Com os dados adquiridos, efetuou-se a comparação das litragens obtidas pelo sensor com a referência, e calculou-se o erro percentual. A Tabela 2 expõem essa comparação e informa em porcentagem o erro de cada medida, para os três códigos.

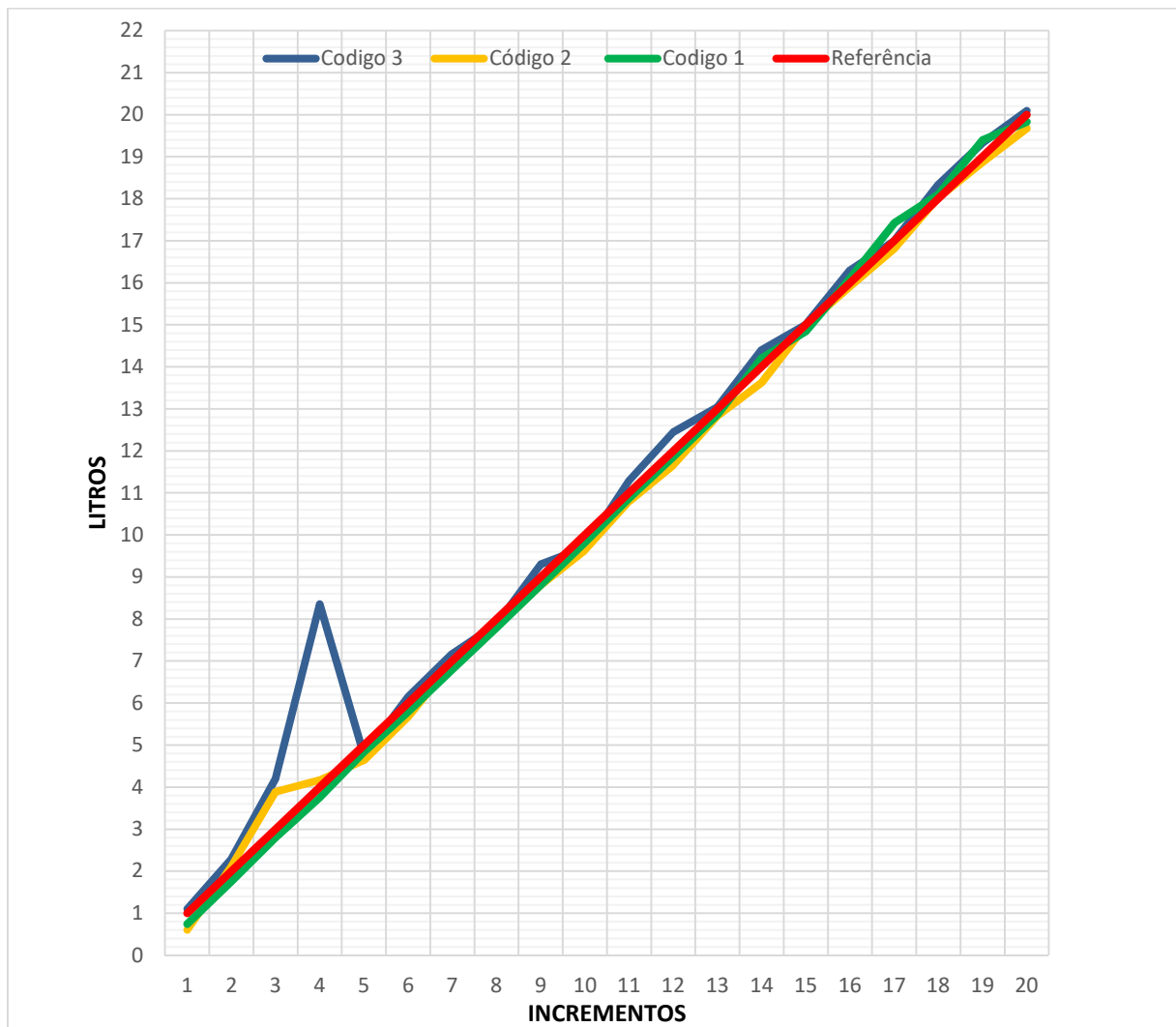
TABELA 2 – Erro percentual do sistema com os códigos testados

Quantidade de Litros	Código 1		Código 2		Código 3	
	(Sem média)		(Média com 100 leituras)		(Média com 200 leituras)	
	L	Erro (%)	L	Erro (%)	L	Erro (%)
1	0,74	26,00	0,6	40,00	1,1	10,00
2	1,76	12,00	2,12	6,00	2,3	15,00
3	2,8	6,67	3,89	29,67	4,2	40,00
4	3,75	6,25	4,17	4,25	8,35	108,75
5	4,84	3,20	4,64	7,20	4,75	5,00
6	5,79	3,50	5,68	5,33	6,15	2,50
7	6,8	2,86	6,97	0,43	7,17	2,43
8	7,79	2,63	7,82	2,25	7,88	1,50
9	8,81	2,11	8,8	2,22	9,3	3,33
10	9,82	1,80	9,63	3,70	9,7	3,00
11	10,87	1,18	10,8	1,82	11,29	2,64
12	11,85	1,25	11,66	2,83	12,45	3,75
13	12,87	1,00	12,83	1,31	13,04	0,31
14	14,2	1,43	13,62	2,71	14,4	2,86
15	14,84	1,07	14,98	0,13	15	0,00
16	16,1	0,63	15,91	0,56	16,3	1,88
17	17,42	2,47	16,81	1,12	17	0,00
18	18,1	0,56	18,02	0,11	18,33	1,83
19	19,39	2,05	18,87	0,68	19,33	1,74
20	19,83	0,85	19,67	1,65	20,09	0,45

Fonte: Wesley Mariano da Silva, 2017.

Comparando os resultados gerados na Tabela 2, nota-se que as médias realizadas nos Códigos 2 e 3 a fim de minimizar a oscilação causada pela limitação do sensor e aumentar a precisão do sistema, não atendem as expectativas, pois geram efeitos indesejáveis de instabilidade em determinadas faixas de leitura do sensor, sendo facilmente observado na Figura 14, analisando as linhas do gráfico geradas através dos valores da Tabela 2.

FIGURA 14 – Gráfico de comparação dos Códigos



Fonte: Wesley Mariano da Silva, 2017.

Através da análise do gráfico nota-se que os Códigos 2 e 3 interferem de maneira negativa, na precisão do sistema no intervalo entre o 2º e 6º incremento, em que os valores medidos diferem de maneira acentuada, dos reais, o que não ocorre no Código 1, sendo este o escolhido para o projeto.

Os resultados dos demais testes realizados com o Código1 são mostrados na Tabela 3, em que verifica-se que a precisão atingida, pelo sistema com este código, ficou entre 0,5 à 0,69 litros.

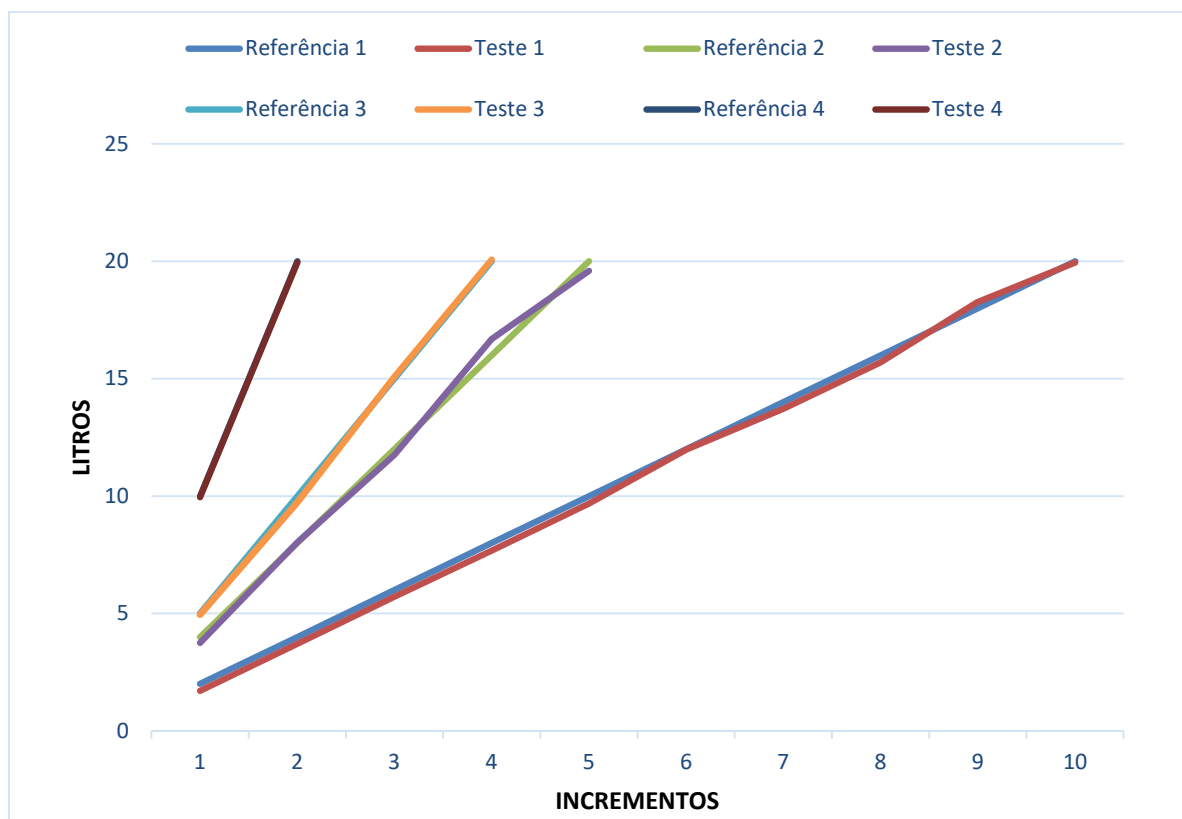
TABELA 3 – Resultados dos testes realizados com o código escolhido

1º Teste		2º Teste		3º Teste		4º Teste	
Incrementos de 2 litros		Incremento de 4 litros		Incremento de 5 litros		Incremento de 2 litros	
Referência	L	Referência	L	Referência	L	Referência	L
2	1,71	4	3,75	5	4,95	10	9,95
4	3,71	8	8,03	10	9,73	20	19,95
6	5,71	12	11,76	15	15,08		
8	7,68	16	16,69	20	20,07		
10	9,68	20	19,59				
12	11,99						
14	13,72						
16	15,69						
18	18,27						
20	19,95						

Fonte: Wesley Mariano da Silva, 2017.

Com o intuito de facilitar a análise dos dados apresentados na Tabela 3, foi gerado um gráfico de linha, que possibilita a verificação da precisão do sistema, em diversas litragens, percorrendo toda a faixa de capacidade, do reservatório, conforme mostrado na Figura 15.

FIGURA 15 – Gráfico de comparação entre as medidas obtidas e suas referências



Fonte: Wesley Mariano da Silva, 2017.

Observando o gráfico da Figura 15, percebe-se que ambos os testes obtiveram medidas bem próximas as referências, com exceção do segundo teste, que apresentou em seu quarto incremento, um erro de 0,69 litros, podendo este ter sido gerado pelas constantes oscilações advindas da leitura do sensor ultrassônico.

Para testar a confiabilidade das medidas fornecidas pelo sensor, foram realizados mais três novos testes, com incrementos de 2 litros, seguindo a mesma metodologia do teste 1, a Tabela 4 mostra os valores obtidos nesses testes.

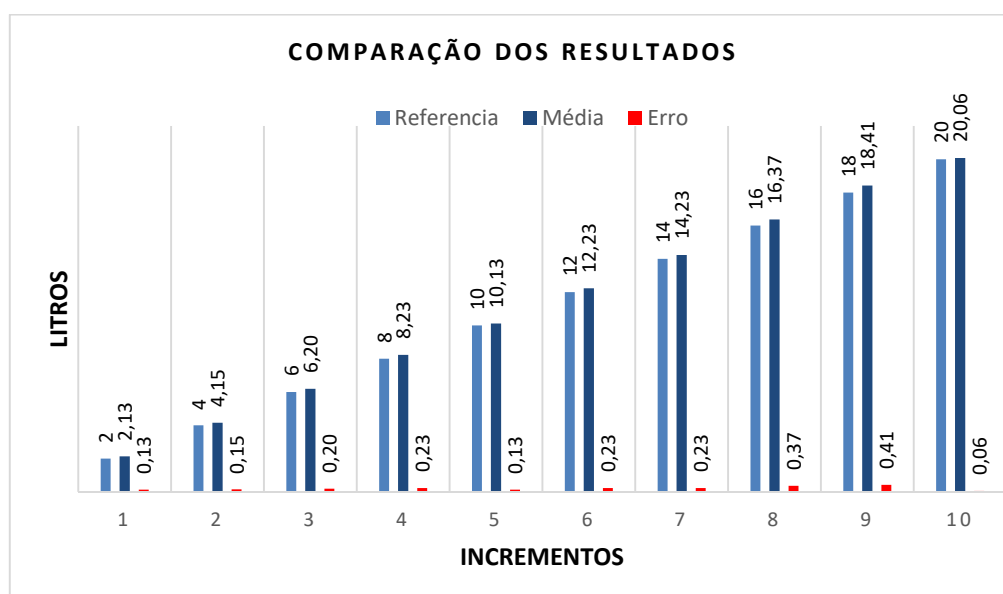
TABELA 4 – Resultados dos testes de confiabilidade do sistema

Referência (Litros)	1º Teste		2º Teste		3º Teste		Média	
	L	Erro (Litros)	L	Erro (Litros)	L	Erro (Litros)	L	Erro (Litros)
2	2,05	0,05	2,31	0,31	2,03	0,03	2,13	0,13
4	4,05	0,05	4,34	0,34	4,06	0,06	4,15	0,15
6	6,08	0,08	6,38	0,38	6,13	0,13	6,20	0,20
8	8,20	0,20	8,41	0,41	8,09	0,09	8,23	0,23
10	10,13	0,13	10,15	0,15	10,10	0,10	10,13	0,13
12	12,12	0,12	12,44	0,44	12,13	0,13	12,23	0,23
14	14,12	0,12	14,44	0,44	14,14	0,14	14,23	0,23
16	16,12	0,12	16,64	0,64	16,34	0,34	16,37	0,37
18	18,32	0,32	18,61	0,61	18,30	0,30	18,41	0,41
20	19,94	-0,06	20,24	0,24	20,00	0,00	20,06	0,06

Fonte: Wesley Mariano da Silva, 2017.

Após a coleta dos dados, foi efetuada a média e o cálculo do erro em litros dos valores obtidos em cada incremento. Analisando os valores na Tabela 4, nota-se que os maiores erros, foram encontrados no segundo teste, sendo o sétimo incremento o maior deles com 0,64 litros de diferença. Com os valores das médias realizadas, gerou-se o gráfico de colunas, para evidenciar a confiabilidade do sistema, mostrado na Figura 16.

FIGURA 16 – Gráfico de comparação entre as médias dos testes com as suas referências



Fonte: Wesley Mariano da Silva, 2017.

Comparando os valores no gráfico, observa-se que as médias calculadas dos testes, mostram valores bem próximos as referências, tendo o menor erro, na décima leitura, com 0,06 litros, e o maior na nona, com 0,41 litros. Lembrando que o sensor ultrassônico HC-SR04 utilizado no projeto tem precisão estimada de 3mm, ou seja, que suas leituras podem variar até 6mm da real, e que isso equivale a um erro de 0,375 litros no sistema, com isso nota-se que as medidas realizadas nos testes estão bem próximas das esperadas, devido a essas oscilações geradas pelo sensor.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizado o desenvolvimento de um medidor de nível digital de baixo custo, baseado na plataforma Aduíno, com a utilização do módulo sensor ultrassônico HC-SR04, que se mostrou adequado para o projeto, levando em consideração, a linearidade e precisão atingida pelo sensor, em relação ao seu preço.

Concluiu-se então, que o objetivo geral proposto no trabalho foi alcançado de maneira satisfatória, pois o sistema criado executa a medição do nível de combustível, no reservatório com relativa precisão, e também, informa a quantidade aproximada inserida, logo após o abastecimento de maneira automática.

Uma das principais dificuldades encontradas no desenvolvimento do projeto foram as constantes oscilações geradas, nas leituras do sensor ultrassônico, que atrapalha, na precisão do sistema, principalmente nos valores das variáveis N1 e N2, que em alguns momentos assumem valores equivocados influenciados por essas oscilações, podendo este, ser tema para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- ALVARADO, Peter J. *Steel Vs. Plastics: The competition for light-vehicle fuel tanks*. JOM, v. 48, n. 7, p. 22-25, 1996.
- BERTOLETI, Pedro Henrique Fonseca. *Desenvolvimento de um computador de bordo para veículo Baja-SAE*. 2011.
- CALASSO, Daniel Franklin. *Simulador do marcador de nível de combustível automotivo*. 2009
- CAMARGOS, Jean Matheus de Carvalho. *Medidor para tanques ou reservatórios via pressão*. 2010.
- FIALHO, Arivaldo Bustamante. *Instrumentação Industrial: conceitos, aplicações e análises*. 7ª ed. SÃO PAULO: ÉRICA, 2010.
- INMETRO. *Inmetro discute ações para coibir fraudes em bombas de gasolina*, Brasil, 09 dezembro 2016. Não paginado. Disponível em:
<http://inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq_noticia=4001>. Acesso em: 30 maio. 2017
- MARGOLIS, Michael. *Arduino Cookbook: Recipes to Begin, Expand, and Enhance Your Projects*. " O'Reilly Media, Inc.", 2011.
- PEREIRA, Fábio. *Microcontroladores PIC: Programação em C*. São Paulo: Érica 2003. 358 p. ISBN 85-7194-935-2.
- RIBEIRO, Marco Antônio. *Instrumentação*. Tek Treinamentos LTDA, 1999.
- SILVA, Toni Gledson Dantas. *Computador de bordo para automóveis*. 2005.
- SUZUKI, C. *Estudo comparativo de alternativas para o desenvolvimento, projeto e fabricação de tanques de combustível para automóveis de passageiro dentro da General Motors do Brasil*. São Paulo, 2007 119p Dissertação (Mestrado Profissional) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- THOMAZINI, Daniel; Albuquerque, Pedro Urbano Braga. *Sensores Industriais: fundamentos e aplicações*. 4ª ed. SÃO PAULO: ÉRICA, 2006.
- VIANA, Ulisses Barcelos. *Instrumentação Básica: Pressão e Nível*. SENSI/Companhia Siderúrgica de Tubarão, Vitória, 1999.