



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Daniel de Lima dos Santos Medeiros

Lucas Ribeiro Guedes

**SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO DE VEÍCULO OFF ROAD - BAJA
SAE**

Rio de Janeiro

2019

Daniel de Lima dos Santos Medeiros
Lucas Ribeiro Guedes

SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO DE VEÍCULO OFF ROAD - BAJA SAE



Projeto de graduação apresentado, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, à Faculdade de Engenharia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. José Paulo Vilela Soares da Cunha

Rio de Janeiro

2019

Daniel de Lima dos Santos Medeiros
Lucas Ribeiro Guedes

SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO DE VEÍCULO OFF ROAD - BAJA SAE

Projeto de graduação apresentado, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, à Faculdade de Engenharia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovado em:

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Paulo Vilela Soares da Cunha (Orientador).
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dr. Téo Cerqueira Revoredo.
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dr. Douglas Mota Dias.
Faculdade de Engenharia – UERJ

Rio de Janeiro

2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me guiado em todos esses anos, por não ter me deixado faltar força, saúde, paciência e muita vontade pra seguir o caminho que sempre busquei.

Aos meus pais, Reginaldo e Cláudia, e ao meu irmão, Felipe, por terem aguentado todos os meus momentos de estresse, terem me dado todo o suporte e apoio que eu poderia ter nessa vida e além disso, terem entendido todas as minhas ausências e crises de humor repentinas.

A minha namorada, Maryssol Bomfim, por ter chegado nessa reta final de faculdade e tomado um espaço que já pertencia a ela sem que soubéssemos ainda sobre, obrigado por todo o apoio e colo durante esses últimos meses, você é a melhor pessoa que eu poderia ter conhecido nesse ano.

A meu orientador, José Paulo (Grande Zé), por toda a orientação e aconselhamento durante a idealização e execução desse projeto

Aos meus amigos Bruno Torres, Leonardo Rezende, Alexandra Ruiz, Rafael Melo e Victor Nunes que formam o grupo mais diferente e presente que eu conheço acompanhando de perto todo esse período de conclusão de curso e minha vida como um todo.

A equipe de Operações do NorteShopping, que viveu todo esse período ao meu lado, acompanhando todos os meus passos e me aconselhando sempre que possível, Thiago Pampurre, Wallace Santos, Jessé Barbosa, Leandro Moura e Matheus Bom.

Aos amigos que a Engenharia Elétrica - UERJ me deu: Priscila Cunha, Carolina Branco, Fabricio Toscano e Lucas Yunes. Se eu consegui chegar até aqui essa vitória com certeza tem uma participação inenarrável de vocês, sempre tornando os meus dias mais leves e me ajudando com tudo que vivemos durante esse período de graduação.

Ao melhor grupo que eu poderia ter encontrado nessa faculdade, TDP4, Matheus Brito, Ana Carolina, Renan Machado, Gustavo Padilla, Rafael Pires, Mateus Alves, Murillo Carvalho e Carlos Eduardo, tenham certeza que vocês têm uma grande parcela nessa caminhada até aqui.

A dupla de amigos da eletrônica que caminharam ao meu lado até esse momento passando por todas as disciplinas mais difíceis do curso sem deixar se abater (ou pelo menos tentando), Yago Jordão e Victor Elias, vermelho líder sempre!

Agradeço, principalmente, ao Lucas Guedes, por ser uma dupla fora de série. Por ter tornado este final mais suportável e cômico, ter passado por todas as dificuldades na entrega desse texto e partilhado de todos os meus desabafos. Tenho certeza que não existiria melhor pessoa dentro da faculdade para encerrar esse ciclo de graduação. Estamos juntos, irmão!

Daniel de Lima dos Santos Medeiros

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por não ter deixado faltar força, resiliência e saúde durante todo o percurso para alcançar o objetivo da graduação.

A minha noiva, Érica Paiva, por todo suporte e incentivo e carinho desde de antes do início desta graduação, sendo sua presença fundamental para conseguir encarar as dificuldades desta caminhada, muito obrigado por tudo meu amor.

A minha família, meus pais Antônio e Ronieri, e irmãos Tiago e Juliana, por sempre terem me apoiado, incentivado, sempre estando presentes em minha vida.

A meu orientador, Prof. José Paulo Vilela Soares da Cunha, por toda a orientação e ajuda na elaboração e execução deste projeto.

Aos grandes amigos que o baja me deu, os bajeiros raiz: John, Davi, Canossa, Inspetor, Krueel, Ugo, Pimenta e Bren(n)o que transformaram o que era inicialmente uma equipe em uma família, muito obrigado.

Aos amigos da eletrônica Yago Jordão e Victor Elias pelo companheirismo durante a fase mais difícil da graduação, amizade e saudável disputa pelo posto de vermelho líder.

Agradeço a minha dupla, Daniel Lima, pela amizade, esforço e parceria, não somente mas também durante a elaboração deste trabalho. Muito obrigado, irmão!

Lucas Ribeiro Guedes

“If you can dream it, you can do it. Always remember that this whole thing started with a dream and a mouse.”

Walt Disney

RESUMO

MEDEIROS, Daniel; GUEDES, Lucas. *Sistema de Instrumentação de Veículo Off-Road - BAJA SAE*. 84 f. Projeto Final (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

O objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento de um sistema de instrumentação para o veículo tipo Baja SAE (*Society of Automobile Engineers*), desde seus requisitos de funcionamento até a idealização e produção de instrumentação para a equipe “Quarter Mile” da UERJ. Para o cumprimento desse objetivo, foram estudadas as normas SAE referentes aos sistemas elétricos e de segurança do veículo, conceitos de eletrônica embarcada e recente pesquisa sobre sistemas automotivos disponíveis no mercado.

O sistema de instrumentação idealizado é composto de dispositivos elétricos e eletrônicos capazes de suportar condições adversas oriundas do ambiente hostil de uma competição *off-road*. Sua finalidade é mensurar grandezas de importância considerável para análise do desempenho do veículo tipo Baja SAE durante treinos, testes e até mesmo em competição.

O início dos estudos, teve como principal ação a idealização de métodos de medição das grandezas de maior importância para o desempenho do veículo.

Após a etapa de estudos teóricos e definição básica da arquitetura do sistema, iniciou-se a construção e implementação física do protótipo de instrumentação para o veículo da equipe *Quarter Mile*. Posteriormente, com os testes iniciais já realizados visando atender a metodologia anteriormente pensada, foram realizados testes individuais de cada sensor proposto, assim bem como o do protótipo completo para depuração e verificação do bom funcionamento da ferramenta produzida.

Uma vez testados no laboratório do Baja, a pretensão é colocar o sistema de instrumentação à prova na próxima competição oficial do calendário da SAE, permitindo a equipe galgar um novo patamar e conhecer melhor o veículo construído.

Palavras-chave: Sensoriamento Automotivo, BAJA, Veículos Off-Road, eletrônica automotiva.

ABSTRACT

The objective of this paper is the development of an instrumentation system for the Baja SAE (*Society of Automobile Engineers*) type vehicle, from its operating requirements to the design and production of instrumentation for the UERJ “Quarter Mile” team. To fulfill this objective, SAE standards regarding electrical and vehicle safety systems, embedded electronics concepts and recent research on automotive systems available in the market for these purposes were studied.

The idealized instrumentation system is composed of electrical and electronic devices capable of withstand harsh conditions arising from the environment of an off-road competition. Its purpose to measure quantities of considerable importance for performance analysis of the Baja SAE type vehicle during practice, testing and even in competition.

The beginning of the studies had as main action the idealization of measurement methods the most important quantities for vehicle performance.

After the theoretical studies and basic definition of the system architecture, the construction and physical implementation of the instrumentation prototype for the Quarter Mile team began. Subsequently, with the initial tests already carried out to meet the previously thought methodology, individual tests of each proposed sensor were performed, as well as the complete prototype for debugging and verification of the proper functioning of the produced tool.

Once tested at Baja's lab, the goal is to put the instrumentation system to the test in the next official SAE calendar competition, allowing the team to reach a new level and get to know the built vehicle better.

Keywords: Automotive sensing, BAJA, Off-Road vehicle, automotive electronics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Veículo Baja SAE da equipe Quarter Mile UERJ	4
Figura 2 - Motor Briggs & Stratton Model 20	8
Figura 3 - Especificações do Motor.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 4 - Botão de Emergência – “Kill-Switch”.....	10
Figura 5 - Fluxograma de Idealização do Sistema de Instrumentação.....	12
Figura 6 - Diagrama de Blocos do Sistema.....	14
Figura 7 - Imagem ilustrativa de uma placa Arduino Mega 2560.....	15
Figura 8 - Esquema simplificado de medição de combustível convencional.....	17
Figura 9 - Tanque de combustível do Briggs & Stratton model 20.....	18
Figura 10 - Tampa de combustível com válvula de respiro	18
Figura 11 - Medição por pulso-eco.	21
Figura 12 - Princípio de Funcionamento do Sensor de Pressão por Linha de Combustível	22
Figura 13 - Circuito Ponte de <i>Wheatstone</i>	23
Figura 14 - Exemplo de célula de carga.....	24
Figura 15 - Medição de Nível por Capacitância.....	25
Figura 16 - Sensor ultrassônico HC-SR04.....	26
Figura 17 - Diagrama de tempo do sensor HC-SR04.....	27
Figura 18 - Circuito de ligação do sensor HC-SR04.....	28
Figura 19 - Código de medição por ultrassom.....	28
Figura 20 - Teste do sensor ultrassônico.....	29
Figura 21 - Sensor KY-024.....	30
Figura 22 - Esquemático do sensor KY-024.....	31
Figura 23 - Código para sensor KY-024.....	31
Figura 24 - Pastilha cilíndrica de neodímio.....	32
Figura 25 - Circuito de testes.....	32
Figura 26 - Boia marítima	34
Figura 27 - Vista em seção do tanque de combustível.....	34
Figura 28 - Projeto da boia no SolidWorks.....	35
Figura 29 - Protótipo da Boia Magnética	36
Figura 30 - Posição do Sensor ky-024.....	36
Figura 31 - Bateria utilizada pelo Mini Baja.....	37
Figura 32 - CI regulador de tensão 7805	38

Figura 33 - Circuito do regulador de tensão 7805.....	38
Figura 34 - Imagem ilustrativa de um divisor resistivo.....	39
Figura 35 - Código para Teste do Sensor de Bateria.....	41
Figura 36 - Os 4 tempos do Ciclo de Otto.....	44
Figura 37 - Esquemático de um Opto acoplador.....	45
Figura 38 - Simulação do circuito de isolamento.....	46
Figura 39 - Resultado da simulação.do circuito de medição da velocidade do motor.....	47
Figura 40 - Código de cálculo das rotações do motor.....	48
Figura 41 - Interruptor de lâminas.....	49
Figura 42 - Exemplo de sensor indutivo.....	50
Figura 43 - Circuito do sensor indutivo.....	52
Figura 44 - Código do sensor indutivo.....	53
Figura 45 - Módulo microSD.....	54
Figura 46 - Cartão tipo microSD.....	55
Figura 47 - Esquemático de ligação do modulo SD.....	56
Figura 48 - Módulo JHD162A.....	57
Figura 49 - Pinagem do módulo JHD162A.....	57
Figura 50 - Esquemático de ligação do Modulo LCD e Arduino.....	58
Figura 51 - Display JHD204A.....	59
Figura 52 - Módulo I2C I2c.....	59
Figura 53 - Esquema de Conexão Arduino Mega – Módulo i2c – LCD.....	60
Figura 54 - Exemplo de sheild acoplado à Arduino.....	61
Figura 55 - Regulador de tensão.....	62
Figura 56 - Circuito opto-acoplador.....	63
Figura 57 - Novo Display LCD.....	64
Figura 58 - Resultado Final do protótipo mais compacto.....	64
Figura 59 - Teste do Sensor de Nível de Combustível.....	66
Figura 60 - Teste em Bancada do Sensor de Nível de Bateria.....	67
Figura 61 - Resultado do Teste do Sensor de Bateria junto ao Display.....	67
Figura 62 - Teste em Bancada do Sensor de Velocidade de Rotação do Motor.....	68
Figura 63 - Imagem do Sinal de entrada no Osciloscópio.....	69
Figura 64 - Montagem do Sensor de Velocidade do Veículo.....	70
Figura 65 - Teste do Sensor de Velocidade do Veículo Mini Baja.....	71

Figura 66 - NTC 10 K – DS18B20 – LM35 – Termopar TIPO K	75
Figura 67 - Princípio de Funcionamento Termopar K	75
Figura 68 - Circuito ligação MXL90614.....	77

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 - Velocidade do Motor - MicroSD **Erro! Indicador não definido.**
- Gráfico 2 - RPM - MicroSD **Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Métodos de medição de combustível	19
Tabela 2 - Resultado do Teste do Sensor de Ultrassom.	29
Tabela 3 - Resultados do teste do Sensor Magnético.	33
Tabela 4 - Resultado dos Testes do Sensor de Nível da Bateria	41
Tabela 5 - Tabela Comparativa (Velocidade Protótipo x Velocidade do Motor).	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS – *Antiblockier-Bremssystem / Anti-lock Braking System.*

ASK – *amplitude shift keying.*

GPS – *global positioning system.*

SAE – *Society of Automobile Engineers.*

UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

HP – Horse Power.

CC – Centímetros Cúbicos.

MM – Milímetro.

CVT - *continuously variable transmission.*

LED - *Light Emitting Diode.*

RPM – Rotações por minuto.

ECU - Engine Control Unit.

AVR - microcontrolador RISC de chip único com arquitetura Harvard modificada de 8-bit

C – Linguagem de Programação criada em 1972 por Dennis Ritchie.

RISC - *Reduced Instruction Set Computer*

RAM - Random Access Memory

KB - múltiplo de uma unidade *byte* (1024).

EEPROM - Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory

MIPS - *Millions of Instructions Per Second.*

PWM - *Pulse Width Modulation*

Hz – Hertz

KHz - múltiplo de uma unidade Hertz

MHz - múltiplo de uma unidade Hertz

m/s – metros por segundo

°C – unidade de temperatura: grau celsius.

USB - Universal Serial Bus.

µs – microssegundos.

3D - Three Dimensions.

ABS - acrylonitrile butadiene styrene.

A.h – unidade de medida: Ampére por hora

V - unidade de medida: Volt

CI - circuito integrado.

W - unidade de medida: Watt

μF - unidade de medida: micro faraday.

TCS - *Traction Control System*

TTL - *Transistor-Transistor Logic*

DC - Direct current.

NI – *National Instruments*

mA - unidade de medida: mili ampére.

CNC - *Computer Numeric Control*.

NPN - transistor formado por duas junções NP, na sequência NP-PN

PNP - transístor formado por duas junções PN na sequência PN-NP.

microSD – *micro Secure Digital*.

SDMI - *Secure Digital Music Initiative*.

RFC - *Request for Comments*.

SPI - *Serial Peripheral Interface*.

MISO - *Master Input Slave Output*

MOSI - *Master Output Slave Input*

SCK – *Serial Clock*.

SS - *Slave Select*.

LCD - *Liquid Crystal Display*.

HD - *Hard Disk*.

ASCII - *American Standard Code for Information Interchange*

I2C - *Inter-Integrated Circuit*

IDE - *Integrated Development Environment*

NTC - *Negative temperature coefficient*

PTC – *Positive temperature coefficient*

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	3
1.1.	Objetivo	4
1.2.	Organização do Trabalho	5
2.	SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO PARA VEÍCULO BAJA SAE.....	6
2.1.	Baja SAE.....	6
2.2.	Requisitos Eletroeletrônicos do Regulamento do Baja SAE	9
3.	SENSORIAMENTO DO VEÍCULO E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO.....	12
3.1.	Características Gerais do Sistema.....	13
3.2.	Processamento	14
4.	MEDIÇÃO DO NÍVEL DE COMBUSTÍVEL	17
4.1.	Métodos de Medição.....	19
4.1.1.	Medição por Boia magnética.....	20
4.1.2.	Medição por Ultrassom	20
4.1.3.	Pressão da linha de combustível.....	22
4.1.4.	Células de carga.....	23
4.1.5.	Sistema de medição de capacitância.....	24
4.1.6.	Análise preliminar	25
4.2.	Testes Iniciais.	26
4.2.1.	Teste do Sensor Ultrassônico	26
4.2.1.1	Teste do Conjunto de Medição/Sensor	29
4.2.1.2	Teste de Interface com Superfícies	30
4.2.2.	Teste do Sensor Magnético (Boia Magnética)	30
4.3.	Circuito Escolhido.	33
5.	ALIMENTAÇÃO DOS CIRCUITOS	37
6.	MEDIÇÃO DO NÍVEL DE TENSÃO DA BATERIA..... Erro! Indicador não definido.	
6.1.	Método de Medição	39
6.2.	Interface com Microprocessador.	40
6.3.	Testes do Sensor.	41
7.	MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DO MOTOR.....	43
7.1.	Método de Medição	43

7.2.	Análise preliminar.....	44
7.3.	Sensor Escolhido.....	45
7.4.	Circuito de Medição.....	46
7.5.	Interface com Software de Medição	47
8.	MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DO VEÍCULO.....	49
8.1.	Método de Medição	49
8.2.	Sensor Escolhido.....	51
8.3.	Circuito de Medição.....	51
8.4.	Interface com Software de Medição	52
9.	REGISTRO DAS MEDIÇÕES	54
9.1.	Datalogger.....	54
10.	PAINEL DE MEDIÇÃO.....	56
11.	CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO.....	61
12.	TESTES DO PROTÓTIPO	65
12.1.	Testes Individuais.....	65
12.1.1.	Sensor de Nível do Combustível	65
12.1.2.	Sensor de Nível de Bateria.	67
12.1.3.	Sensor para Medição da Velocidade de Rotação do Motor.....	68
12.1.4.	Sensor para Medição da Velocidade do Veículo.....	70
12.1.5.	Análise dos dados obtidos e registrados no Cartão MicroSD	71
13.	CONCLUSÕES.....	73
13.1.	Propostas de Continuação do Projeto.....	73
13.1.1.	Medição de Temperaturas do Veículo.....	74
13.1.2.	Obtenção de Dados por Telemetria	77
13.2.	Considerações Finais.....	73

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o emprego da eletrônica embarcada em veículos se tornou indispensável para proporcionar tanto os níveis de desempenho/eficiência exigidos por agências reguladoras governamentais (CARB - *California Air Resources Board* e USEPA - *United States Environmental Protection Agency*) quanto conforto e a comodidade exigidos pelos consumidores. Sendo assim, os veículos empregam uma vasta gama de sensores, unidades de controle, atuadores e *displays*, de forma a monitorar o funcionamento de todos os sistemas.

Sensores são definidos como “dispositivos que transformam (ou transduzem) quantidades físicas, como pressão ou aceleração (chamadas variáveis mensuráveis) em sinais de saída (geralmente elétricos) que servem como entradas para controle de sistemas (NORTON,1989)

A eletrônica digital automotiva apresentou inicial relevância por volta da década de 1970, tendo como contexto a necessidade de controle de emissões de poluentes e a demanda por maior eficiência nos motores. Pode-se definir o avanço da eletrônica no setor automotivo em três “ondas” (FLEMMING, 2001),

1) Primeira “onda”: marcada pelo crescimento contínuo de sensores eletrônicos automotivos aplicados ao sistema do motor como um todo a fim de otimizar a queima do combustível e reduzir gases poluentes;

2) Segunda “onda”: marcada por uma demanda pelo desempenho e segurança do veículo. Estão inseridos nesta onda sensores referentes ao sistema *ABS*, ao controle de Tração, a direção elétrica, entre outros;

3) Terceira “onda”: comumente relacionada com a caracterização personalizada dos sistemas já existentes no veículo. Alguns exemplos de sistemas inseridos nesta fase são a memorização do perfil do banco do usuário, navegação *GPS*, *Air bags* laterais, etc.

Dentre as categorias existentes no ramo automobilístico, as que possuem veículos *off-road* (termo usado para designar qualquer atividade, esportiva ou automobilística, que possa ser realizada em locais não pavimentados e de difícil acesso) costumam despertar uma admiração especial em todo o público. Tornando progressivamente maior o desafio dos engenheiros e chefes de equipes de construir carros cada vez mais competitivos, visando de forma essencial conferir maior velocidade e durabilidade aos seus projetos em busca da vitória.

A instrumentação nessa ótica torna-se assim essencial, pois permite a obtenção de dados do veículo, sendo possível não somente o monitoramento do estado do veículo pelo piloto e sua equipe, mas também proporciona o levantamento de informações cruciais para o desenvolvimento do projeto pelas equipes de engenharia.

1.1. Objetivo

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é realizar todo o processo de projeto e execução de um sistema de instrumentação embarcada para o veículo de competição Baja SAE da equipe *Quarter Mile* da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

O projeto ganha destaque se analisarmos o contexto em que se insere o panorama atual da equipe *Quarter Mile*. A UERJ no ano de 1997 teve sua primeira equipe de alunos do Projeto Baja. Mesmo com a alta rotatividade dos membros da equipe, o projeto continua ao longo dos anos e os estudos servem como base para aprimoramento de sistemas do veículo pelas gerações futuras porém, nunca na história da equipe foi modelado um sistema de medição através de eletrônica embarcada visando permitir através do monitoramento, armazenamento de informações e análise posterior avaliar desempenho do veículo e piloto, de forma a empregar as conclusões obtidas para refinamento e melhoria do piloto e do projeto do veículo, presentes na figura 1.

Figura 1 - Veículo Baja SAE da equipe Quarter Mile UERJ



Fonte: os próprios autores.

1.2. Organização do Trabalho

O presente trabalho é composto de treze capítulos, incluindo este de introdução.

No Capítulo 2 é apresentado uma inserção na estrutura do Baja SAE e decorremos acerca do sistema de instrumentação, assim bem como sobre o regulamento da competição.

No Capítulo 3 é tratado acerca do desenvolvimento do sistema de instrumentação pensado para o veículo.

Do Capítulo 4 ao capítulo 8 são apresentados os estudos por variável de medição a serem consideradas para pleno funcionamento do sistema de instrumentação idealizado.

Os Capítulos 9 e 10 abordam acerca da estratégia de registro das medições propostas nos capítulos anteriores visando posterior análise de desempenho do veículo e visualização dos parâmetros em tempo real pelo piloto.

Nos Capítulos 11 e 12 são apresentados a inserção dos sensores junto ao projeto físico do protótipo de sistema de instrumentação para veículos off-road e os testes de todos os sensores empregados, como forma de garantir maior assertividade quanto ao funcionamento do protótipo.

Por fim, no capítulo 13 são discutidas as conclusões obtidas durante o desenvolvimento do projeto e as propostas para trabalhos futuros visando otimizar o projeto atual aqui discutido e garantir melhoria contínua quanto ao projeto do Baja da Equipe *Quarter Mile* no que tange a área da eletrônica embarcada.

2. SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO PARA VEÍCULO BAJA SAE.

2.1. Baja SAE

O Projeto Baja SAE é um desafio estudantil com o objetivo de promover aos participantes uma experiência de aplicar na prática seus conhecimentos adquiridos academicamente. Sendo assim, consiste no projeto e construção de um veículo *off-road*, de um ocupante, por equipes de estudantes de engenharia (exceto civil), matemática e física de universidades de todo o país, tendo como objetivo o desenvolvimento de um projeto com maior proximidade possível de um veículo comercial. A construção, projeto e competição são regidos por regulamentos da SAE Brasil.

Tendo em vista a capacidade de projeto e desenvolvimento de um carro, a SAE Brasil, promove anualmente a Competição de Mini Baja, entre universidades de todo o país. Este evento prioriza a inserção dos alunos envolvidos no projeto, no setor automobilístico. Há, também, um desenvolvimento pedagógico, onde é possível colocar em prática boa parte das disciplinas estudadas na graduação, para que seja possível a concepção do protótipo.

São disponibilizadas uma série de regras para balizar as equipes durante à realização do projeto (SAE BRASIL, 2018), tendo o mesmo as seguintes premissas:

- 1) A equipe deve projetar e construir um veículo esportivo, de forma que sua estrutura contenha o condutor;
- 2) O veículo construído deve ser um protótipo cujo fim seja produção em série;
- 3) O veículo deve ter a finalidade de liderar o mercado no que se refere a velocidade;
- 4) Os alunos devem trabalhar em equipe, e cabe a cada equipe o suporte financeiro para a criação do protótipo;
- 5) É necessário que haja um orientador do projeto, e a instituição acadêmica que a equipe representa deve sempre ser respeitada.

Nas competições citadas, as equipes devem mostrar suas habilidades de projeto, desenvolvimento e construção de seus veículos Mini Baja, além de pilotarem os próprios protótipos. No Brasil a competição Baja SAE Brasil é dividida em duas etapas, a etapa nacional e a etapa regional. As etapas da competição são independentes, cabendo ressaltar que as três melhores equipes da etapa nacional ganham o direito de competir na etapa internacional da

prova nos Estados Unidos. Durante o curso da competição os protótipos são submetidos a diferentes provas, sendo avaliados nos quesitos de segurança, projeto, aceleração, velocidade, tração e resistência. A competição consiste da parte estática, parte manual e dinâmica, com pontuação total de 1000 pontos, sendo distribuída da seguinte forma (SAE BRASIL, 2018):

1) Avaliação do projeto (320 pontos):

Relatório do projeto – 120 pontos

Avaliação do projeto dinâmico – 20 pontos

Apresentação de projeto e finais de apresentação de projeto – 180 pontos

2) Eventos dinâmicos (280 pontos):

Aceleração – 45 pontos

Velocidade máxima – 45 pontos

Tração – 45 pontos

Lama – 45 pontos

Suspensão – 70 pontos

Manobrabilidade – 30 pontos

3) Enduro de resistência (400 pontos)

A motorização utilizada é padrão para todos os veículos de todas as equipes, sendo um motor *Briggs & Stratton model 20*, ilustrado na Figura 2, monocilíndrico de 305 centímetros cúbicos de capacidade movido a gasolina com potência máxima de 10HP. O tanque de gasolina também é padronizado, sendo também da *Briggs & Stratton*, possuindo 3,6 litros de capacidade. As demais especificações podem ser visualizadas na Tabela 1.

Figura 2 - Motor Briggs & Stratton Model 20



Disponível em: https://www.briggsandstratton.com/na/en_us/product-catalog/engines/racing-engines/model-20.html

Acesso em 23/07/2019

Tabela 1 - Especificações do Motor

Ciclo	Otho – 4 tempos
Número de cilindros	1
Diâmetro do cilindro [mm]	79,2
Curso do pistão [mm]	62,0
Cilindradas [cc]	305
Faixa de rotação [rpm]	1750 - 4000
Válvulas	OHV
Lubrificação	Splash (salpico)
Refrigeração	Ar
Filtro de ar	Duplo (espuma e papel)
Combustível	Gasolina
Peso [kg]	23,4

Fonte: DELGADO et al (2008), BRIGGS E STRATTON (2018) e SAE BRASIL (2016).

2.2. Requisitos Eletroeletrônicos do Regulamento do Baja SAE

Assim como em toda competição regulamentada, o projeto de um veículo mini Baja prevê a necessidade de seguir regulamentações técnicas previamente informadas pelo órgão avaliador da competição. Além da concepção do veículo propriamente dito, os avaliadores do programa Baja analisam também a documentação referente ao projeto e a construção do veículo.

Para tal, as equipes participantes da competição devem desenvolver um documento denominado “Relatório de Projeto”. Para o desenvolvimento desse relatório, as equipes devem seguir as exigências disponíveis no Regulamento BAJA SAE BRASIL (2011), cuja seção referente às avaliações e pontuação mostra que o Relatório de Projeto deve:

[...] Apresentar de forma clara, limpa e organizada as considerações de engenharia e os processos utilizados no desenvolvimento de cada sistema. Esta descrição deve incluir: objetivos, requisitos do cliente, soluções consideradas (ex: câmbio manual versus *CVT*; suspensão traseira independente versus balança rígida; etc.), melhorias com relação a projetos anteriores, cálculos, análises, resultados de testes, considerações de custos, etc. (SAE BRASIL, 2011, p. 8, texto digital).

Como para as demais disciplinas presentes na estrutura de um veículo automotivo, o regulamento da SAE Brasil prevê informes técnicos específicos para os sistemas eletroeletrônicos inseridos no veículo.

O sistema eletroeletrônico de um veículo Baja SAE pode ser subdividido em quatro partes distintas: dispositivos de segurança, sistema embarcado de medição, sistema de indicação de freio e sistema de iluminação. O que compreende cada sistema pode ser visto abaixo:

- 1) Dispositivos de segurança: conforme regulamento da SAE Brasil, em caso de pane do veículo e acionamento do botão de emergência, o motor deve ter sua ignição desligada (através do aterramento da saída da bobina) e todos os sistemas devem deixar de operar, com exceção do sistema de luz de freio (que deve operar o tempo todo). Este procedimento de interrupção dos circuitos auxiliares e interrupção do funcionamento do motor é feito por um botão de emergência denominado “*Kill-Switch*”, presente na Figura 3. Este tem uma localização pré-determinada no veículo pela norma SAE (parte

mais alta na traseira direita) e deve, obrigatoriamente, estar muito bem sinalizada na carenagem do veículo. É permitido por norma a localização de um segundo botão de emergência próximo ao volante / painel do veículo, desde que este esteja ligado em série com o *Kill-Switch* da parte traseira (assim, qualquer um dos dois que for acionado permitirá o desligamento das partes necessárias).

Figura 3 - Botão de Emergência – “Kill-Switch”.



Disponível em: <https://www.steck.com.br/produtos/comando-e-protecao/max-boton/botoes-22-5/botao-cogumelo-tipo-soco-a-impulsao>

Acesso em 24/07/2019

- 2) Sistema embarcado de medição: este sistema compreende todos circuitos destinados a realizar medições, telemetria e aquisição de dados do veículo. A complexidade deste sistema está a cargo de cada equipe, estando relacionado aos objetivos de cada sistema e recursos disponíveis, logo não existe um padrão (ou obrigação) a ser aplicado à todas as equipes. Geralmente, as grandezas mais comumente medidas são: velocidade do veículo, rotação do motor, nível de combustível, tensão elétrica na bateria e temperatura do motor. Em suma, este sistema pode ser classificado como auxiliar, passível de ser dispensado durante a competição se apresentar problema grave ou comprometer o funcionamento do carro, sem desclassificar a equipe.

- 3) Sistema de indicação: este sistema tem como objetivo fazer com que se acenda um indicador de *LED* (localizado, por norma, na parte traseira superior do veículo) quando o freio do veículo for acionado (ou seja, é um sistema de acionamento do indicador de *LED* com base em um interruptor elétrico instalado no pedal de freio). O mau funcionamento ou não funcionamento deste sistema torna a equipe passível de desclassificação da competição corrente devido ao risco à equipe e aos demais participantes.

- 4) Sistema de iluminação: consiste no acionamento de faróis colocados na parte frontal do veículo. Pelo fato de todas as competições ocorrerem durante o período diurno, este sistema não é obrigatório segundo o regulamento. Entretanto, como o objetivo é tornar o carro mais próximo possível de um carro comercial, a grande maioria das equipes colocam faróis em seus veículos.

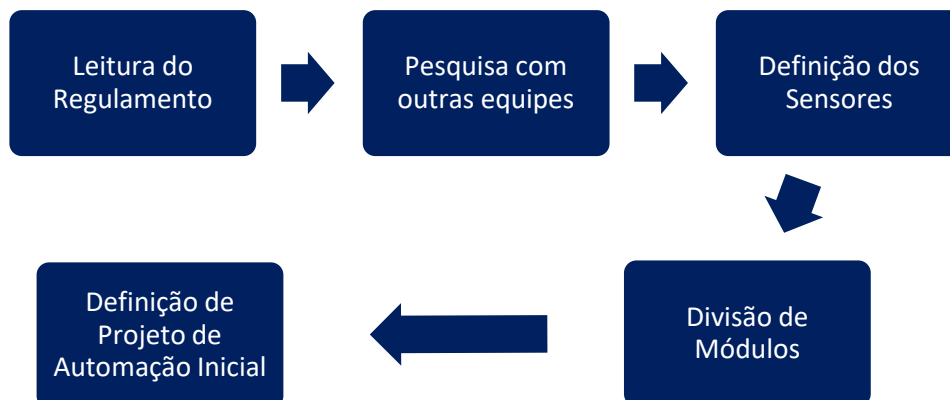
3. SENSORIAMENTO DO VEÍCULO E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO.

Conforme exposto anteriormente, sensores são dispositivos que respondem a estímulos físicos/químicos de maneira específica, podendo ter sua resposta transformada em outra grandeza, de forma que seja possível realizar medições. Em aplicações automotivas funcionam junto a transmissores que atuam como elementos de interface entre os diversos sistemas do veículo, unidades de controle e a interface do usuário, provendo informações quanto as condições estáticas e dinâmicas do veículo.

Atualmente a utilização de sensores vem se tornando peça chave para que as empresas apresentem cada vez mais controle das variáveis que impactam diretamente nos parâmetros de funcionamento dos veículos produzidos. Visto sob essa ótica, a busca pela otimização dos processos de medições de variáveis físicas acaba por se tornar um desafio maior ainda, oferecendo assim maior destaque ao papel de monitoramento permitindo que seja encontrada uma vasta gama de sensores no mercado visando diversas aplicações práticas de muitos dos conceitos vistos no embasamento teórico deste projeto.

Visando atender aos requisitos dos regulamentos da SAE e permitir a equipe *Quarter Mile* ter visibilidade do desempenho automotivo de seu protótipo, foi desenhado o sistema de instrumentação do veículo, conforme fluxograma presente na Figura 4, a fim de mensurar as principais variáveis de funcionamento do carro.

Figura 4 - Fluxograma de Idealização do Sistema de Instrumentação.



Fonte: os próprios autores.

3.1. Características Gerais do Sistema

De forma semelhante a de um veículo tradicional, a captação dos parâmetros de operação de um veículo fora de estrada Baja é de vital importância para análise de forma progressiva do desempenho do carro durante os testes e/ou corrida, alimentando a base de informações que contribuirão para o processo de melhoria contínua do projeto do carro no que tange também as demais áreas da equipe

O sistema em questão deverá obter dados relevantes quanto ao funcionamento do veículo, podendo visualizar variáveis escolhidas conforme a prioridade de implementação e importância para o piloto durante a prova, formando dois grupos de variáveis de interesse.

Sendo o primeiro grupo, definido conforme os critérios acima:

- 1) Quantidade de combustível armazenado no tanque;
- 2) Velocidade de rotação do motor (RPM);
- 3) Velocidade do eixo traseiro;
- 4) Tensão da bateria;

E sendo o segundo grupo:

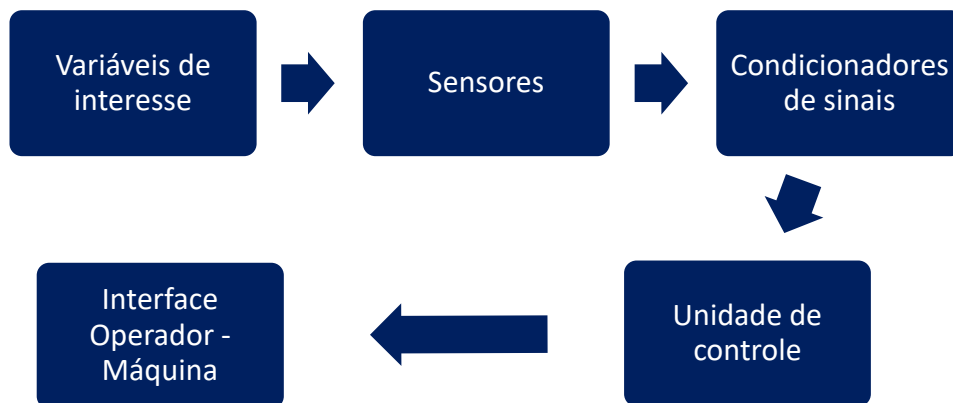
- 1) Temperatura da transmissão do tipo *continuous variable transmission* (CVT);
- 2) Temperatura do motor;
- 3) Velocidades das rodas dianteiras;

Em um primeiro momento, o desenvolvimento do sistema de instrumentação terá como prioridade a implementação da medição das variáveis classificadas no primeiro grupo de interesse, deixando o segundo grupo como parte de uma diretiva para melhoramentos futuros do projeto

O gerenciamento dos dados será feito pelo microcontrolador, que receberá os sinais de saída de cada sensor. Tais grandezas serão enviadas ao Microcontrolador, que através de um algoritmo, realizará o processamento dos sinais de forma a obter dados relevantes quanto ao funcionamento do veículo. De posse dos dados, os mesmos serão exibidos ao piloto por meio

de um painel no veículo. O fluxo de informações tal como previsto por este parágrafo é apresentado na figura 5.

Figura 5 - Diagrama de Blocos do Sistema.



Fonte: os próprios autores.

3.2. Processamento

Os sensores monitoram as variáveis de referência, que uma unidade de controle eletrônico (*ECU*) converte nos sinais necessários para ajustar os elementos / atuadores finais de controle. Os sinais de entrada podem ser analógicos (por exemplo, característica de tensão no sensor de pressão), digitais (por exemplo, posição do interruptor) ou em forma de pulso (ou seja, conteúdo de informação em função do tempo; por exemplo, sinal de velocidade do motor).. Graças à moderna tecnologia de semicondutores, unidades de computador poderosas, com seus programas e memórias de dados, e circuitos periféricos especiais, projetados especificamente para aplicações em tempo real, podem ser integrados em um número limitado de *chips*.

A unidade de controle terá como principal componente um microcontrolador. O microcontrolador deve possuir uma quantidade adequada de entradas/saídas, do tipo digitais e analógicas, de forma suportar os diversos tipos de periféricos que serão empregados.

Devido a finalidade de utilização do sistema em um veículo de competição, devemos considerar os seguintes critérios na escolha do microcontrolador:

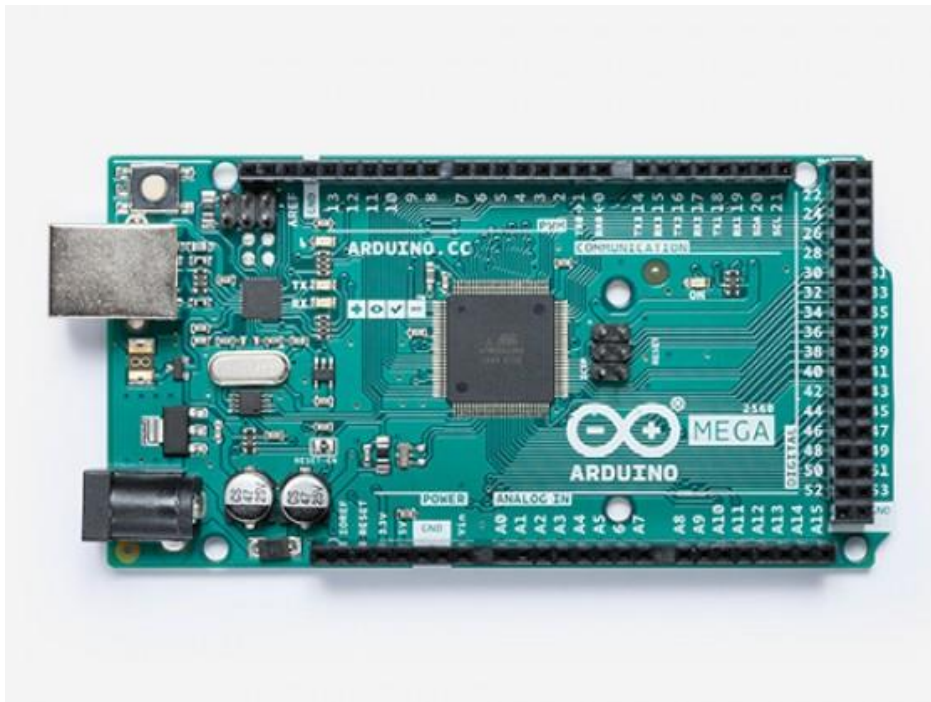
- 1) Robustez, devendo suportar as condições severas inerentes ao uso *off-road*.

- 2) Utilização de linguagem de programação de alto nível, de forma a facilitar a elaboração e futuras correções/modificações no código.
- 3) Escalabilidade, possuindo capacidade de processamento e entradas/saídas excedentes de forma a suportar futuras atualizações.
- 4) Disponibilidade, sendo possível encontrar no mercado brasileiro peças de reposição.

Dentre as diversas opções analisadas, foi escolhida a plataforma Arduino, conforme figura 6, para este projeto. O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre, projetada com processadores da Atmel AVR. Possui grande facilidade de programação (linguagem baseada em C), diversos modelos disponíveis com quantidades de entradas/saídas variadas, diferentes capacidades de processamento e tamanhos.

Por ser um hardware livre, existem vários fabricantes dos mais diversos modelos de Arduino, tornando-o facilmente disponível no mercado.

Figura 6 - Imagem ilustrativa de uma placa Arduino Mega 2560



Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>

Acesso em 23/07/2019

Dentre os modelos disponíveis, foi escolhido o controlador Arduino modelo Mega 2560:

- 1) Baseada no microcontrolador ATmega2560 de 8 bits de arquitetura RISC avançada.

- 2) 256 KB de Flash, 8 KB de RAM e 4 KB de EEPROM.
- 3) Chega 16 MIPS, operando em 16 MHz.
- 4) Possui 54 pinos de entradas e saídas digitais onde 15 destes podem ser utilizados como saídas PWM.
- 5) Possui 16 entradas analógicas, 4 portas de comunicação serial.
- 6) Não obstante, possui dimensões compactas, 101,52mm de comprimento e 53,3mm de largura, e baixo peso, aproximadamente 40 gramas, facilitando o posicionamento juntamente ao veículo.

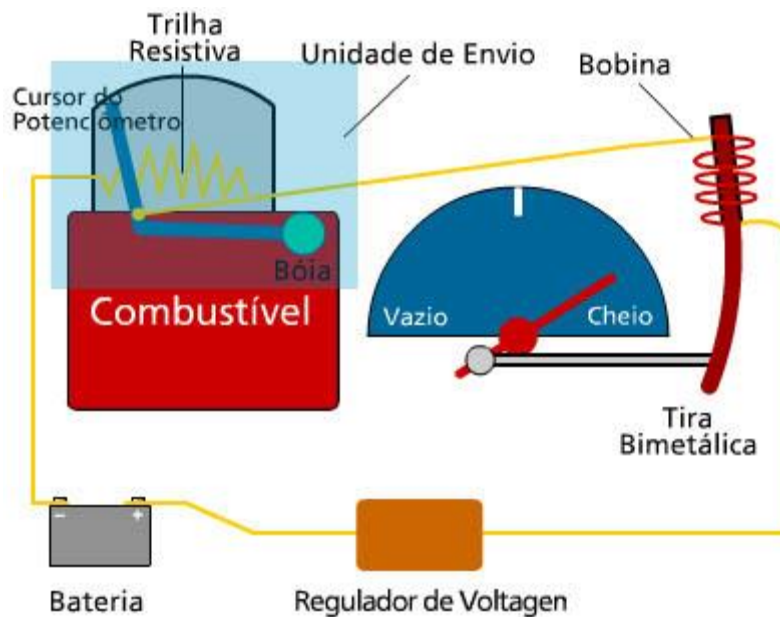
Quanto a análise acerca da robustez do Arduino, foi utilizado como base para escolha da plataforma Arduino, a já utilização por parte de outras equipes participantes do desafio Baja SAE deste microprocessador em seus sistemas de medição de forma que não foi realizada uma análise mais profunda para esse ponto.

4. MEDIÇÃO DO NÍVEL DE COMBUSTÍVEL

Devido ao tamanho do tanque de combustível do veículo e a extensa duração da etapa de enduro (4 horas), ocorrem diversos abastecimentos durante o período, sendo de grande importância para a estratégia da equipe o reabastecimento do veículo.

Os sistemas de medição de combustível são convencionalmente compostos de uma boia acoplada a uma haste, que por sua vez está acoplada a um potenciômetro. Tal aparato é instalado no interior do tanque, de forma que a variação do nível do líquido gera o deslocamento da haste, que por sua vez ocasiona em uma alteração na resistência no potenciômetro, tendo tal variação relacionada a quantidade de combustível presente. Esse procedimento encontra-se ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Esquema simplificado de medição de combustível convencional



Disponível em: <<https://www.lojadamotorista.com.br/boia-tanque-combustivel-dafra-speed-150-ano-todos>>

Acesso em 23/07/2019

Devido a questões de segurança, o regulamento da competição restringe quaisquer furos/modificações no tanque de combustível, representado na Figura 8, inviabilizando a instalação e utilização de um sistema de medição de combustível convencional.

Figura 8 - Tanque de combustível do Briggs & Stratton model 20.



Disponível em: <https://www.homedepot.com/p/Briggs-Stratton-Replacement-Fuel-Tank-799863/205448655>

Acesso em 18/07/2019

Além disso, o regulamento também exige a substituição da tampa original por uma que contenha válvula de respiro, conforme Figura 9, cuja função é permitir que o ar entre para o tanque a medida que o vácuo é gerado pela saída do combustível:

Figura 9 - Tampa de combustível com válvula de respiro



Disponível em: <https://www.mxparts.com.br/valvula-de-respiro-do-tanque-anker-colors>

Acesso em 16/07/2019

De tal forma, se faz necessária a avaliação das possíveis alternativas para a realização desta medição.

4.1. Métodos de Medição

Tabela 2 - Métodos de medição de combustível

Método	Tipo de medição	Complexidade	Observações
Ultrassom	Indireta	Alta	Utilização convencional é feita na parte interna do tanque, o que não é permitido pelo regulamento. necessário teste de viabilidade da medição externa.
Boia magnética	Indireta	Baixa	Medição feita por níveis, precisão baixa
Célula de carga	Direta	Alta	Suporte necessário para instalação dificulta a integração com veículo já projetado. Necessários vários sensores, compensação de carga
Capacitância do combustível	Indireta	Alta	Baixa capacitância da gasolina faz necessário sensor com alta sensibilidade.
Pressão da linha de combustível	Indireta	Baixa	Regulamento/ juízes não permitem mudanças na linha de combustível.

Fonte: os próprios autores.

Conforme Tabela 2, foram levantadas diversas possibilidades de métodos para medição do combustível, sendo necessária avaliação dos métodos de medição de combustível conforme os critérios e restrições abaixo:

1) Complexidade:

Se a solução já foi utilizada em situação semelhante, se possui bibliografia sobre o mesmo, a dificuldade de integração com os sistemas/estrutura física do veículo.

2) Robustez:

Capacidade de suportar condições e eventos adversos em um ambiente de trabalho hostil.

3) Fator de custo:

Custo de aquisição dos componentes empregados.

4) Tipo de medição:

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).

5) Manutenção:

Avaliada pela dificuldade de realização (difícil acesso, tempo elevado de intervenção) e frequência necessária de manutenção.

6) Conformidade com o regulamento.

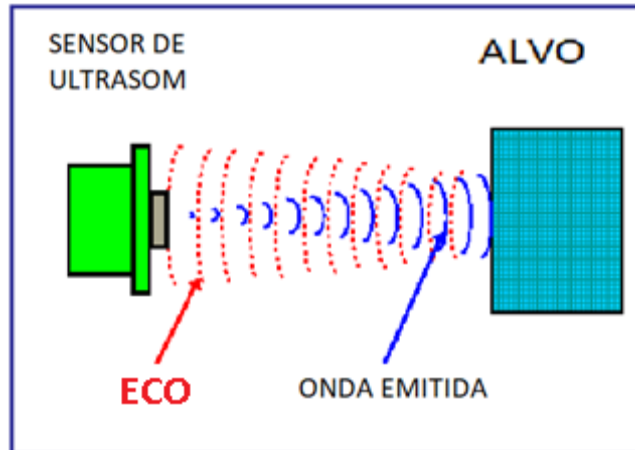
4.1.1. Medição por Boia magnética

Baseando-se na referência (FLEMMING, 2008), que aponta que outra abordagem comumente usada para baixa detecção de fluido usa um ímã montado em um flutuador, consideremos a construção de uma boia que contenha um elemento magnético e no posicionamento de sensores magnéticos no exterior do tanque de forma que a variação do nível de combustível no interior do tanque seja percebida através da variação da intensidade magnética medida nos sensores.

4.1.2. Medição 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). Seguindo um princípio que é o mesmo que a sonda de profundidade de eco, os sensores transmitem pulsos ultrassônicos com uma frequência de aproximadamente 40 kHz e detectam o tempo necessário para que os pulsos de eco sejam refletidos de volta dos obstáculos.

Figura 10 - Medição por pulso-eco.



Traduzido de: <http://cs.curs.pub.ro/wiki/pm/prj2011/dtudose/ruleta>

Acesso em 16/07/2019

A distância do veículo até ao obstáculo mais próximo é calculada a partir do tempo de propagação do primeiro impulso de eco a receber de volta de acordo com a equação:

$$D = \frac{v_{som} \cdot t}{2} \quad (1)$$

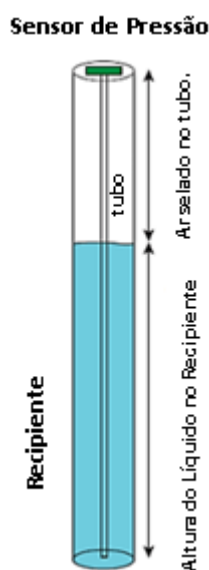
Na qual D é a distância entre o objeto e o sensor, v_{som} é a velocidade de propagação do som no ar (343m/s) e t o tempo entre a emissão do pulso de ultrassom e a detecção do eco, sendo necessário a divisão por dois devido a distância a ser medida ter sido percorrida duas vezes pelo pulso de ultrassom.

A utilização convencional se daria colocando o sensor no interior do tanque, medindo diretamente a distância entre a face do combustível e o sensor. Porém, devido às limitações do regulamento, a proposta seria a utilização do sensor na face externa do tanque, de forma a realizar a medição através da parede externa do tanque, sendo testada se a frequência e intensidade do sinal seriam suficientes para compensar a atenuação de um obstáculo entre o sensor e o combustível.

4.1.3. Pressão da linha de combustível

Conforme (GOUNDAR, 2014), outra forma de ser mensurado o nível de um líquido se dá através da medição de pressão em alturas / níveis diferentes. Colocado no topo do recipiente, o sensor de pressão é conectado a um tubo aberto que é submergido no recipiente. A quantidade de líquido no recipiente exerce uma quantidade proporcional de pressão no sensor através do ar retido no tubo conforme Figura 11.

Figura 11 - Princípio de Funcionamento do Sensor de Pressão por Linha de Combustível



Traduzido de: (GOUNDAR et al.,2014)

A saída a partir do sensor, portanto, produz tensão proporcional à pressão dentro da coluna. A tensão pode então ser calibrada para dar resposta de saída para a altura proporcional ou o nível de líquido no tanque.

Para a adaptação ao carro do Baja, a medição se daria pela instalação de um sensor de pressão na linha de combustível, entre a saída do tanque e a entrada do carburador do motor.

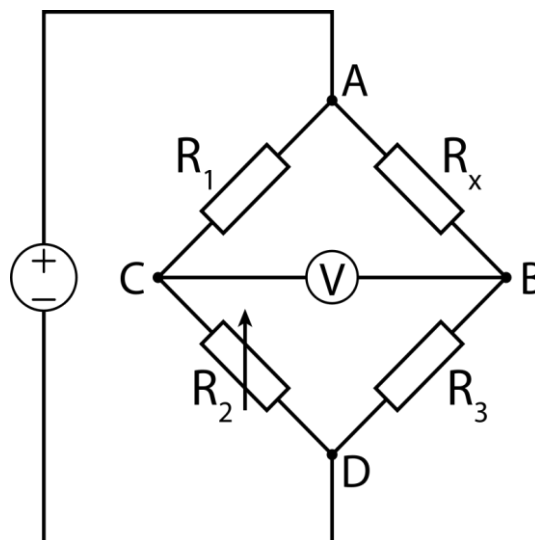
Dado que o motor empregado não utiliza pressurização forçada na linha de combustível, a pressão de combustível é resultado do peso da coluna de combustível no tanque, sendo possível aferir a quantidade de combustível no tanque através da medição da pressão hidrostática, resultante do peso da coluna de líquido acima do ponto de medição.

4.1.4. Células de carga

Segundo (FERREIRA, 2009), uma célula de carga, presente na Figura 13, é um dispositivo eletromecânico (transdutor) que é usado para converter uma força em um sinal elétrico. Essa conversão é indireta e acontece em dois estágios. Através de um arranjo mecânico, a força sendo detectada deforma um *strain gauge*. O medidor de tensão converte a deformação em sinal elétrico. Uma célula de carga geralmente consiste em quatro medidores de tensão em uma configuração de ponte de *Wheatstone*, presente na Figura 12.

No caso a força peso do tanque, alterará a resistência elétrica dos extensômetros, causando o desbalanceamento da ponte de *Wheatstone* permitindo calcular a deformação do material.

Figura 12 - Circuito Ponte de *Wheatstone*.



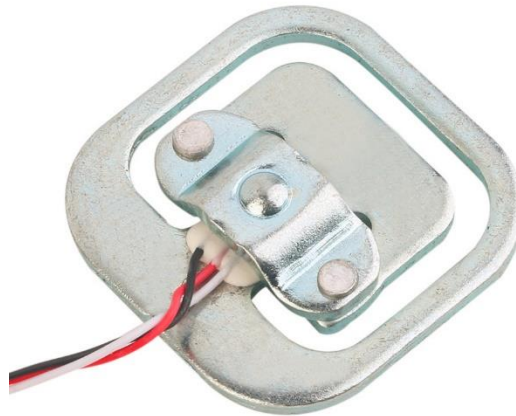
Disponível em:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_de_Wheatstone#/media/Ficheiro:Wheatstone_Bridge.svg

Acesso em 22/07/2019

A partir desta deformação e conhecendo as propriedades do material (módulo de *Young*, coeficiente de *Poisson*, etc.), calcula-se a força aplicada, obtendo a massa de combustível dentro do tanque.

Figura 13 - Exemplo de célula de carga.



Disponível em: <https://www.auselectronicdirect.com.au/50kg-load-cell-weight-sensor-module-for-electronic>

Acesso em: 25/07/2019

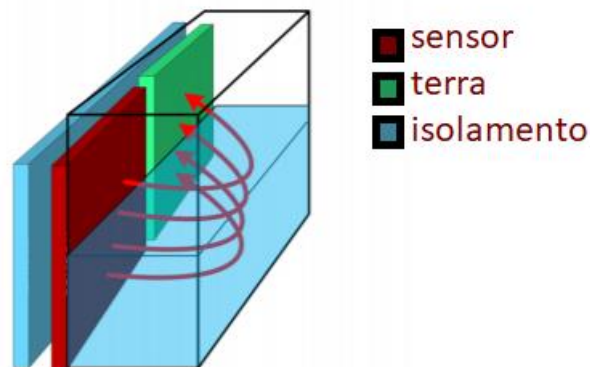
4.1.5. Sistema de medição de capacitância

Utilizados em aeronaves em conjunto com outros sensores, devido a necessidade de precisão de medida, confiabilidade e redundâncias dos mesmos, segundo (SUBRAMANIAN, 2012), os sistemas de medição de combustível aeronáuticos inicialmente utilizam uma combinação de diversos sensores como densímetros, medidores de vazão, pressão e temperatura, de forma a acompanhar o consumo do mesmo, realizando as compensações devido as diferentes condições de operação da aeronave, porém tais métodos ainda não eram robustos o suficiente, devido à natureza mecânica do medidor de vazão e o acúmulo de erro dos sensores responsáveis pela compensação.

Atualmente são empregadas sondas capacitivas, em diferentes partes do tanque, subdividindo o tanque em diversos tanques menores, de forma a permitir a compensação da variação do nível devido à inclinação da aeronave.

Com base nisso, o sistema de medição de capacitância proposto deveria utilizar fitas paralelas de cobre posicionadas no exterior do tanque e um conversor de capacitância para saída digital, de forma que a variação da quantidade de combustível no tanque seria percebida através da variação da capacitância.

Figura 14 - Medição de Nível por Capacitância



Traduzido de: Capacitive Sensing: Direct vs Remote Liquid-Level Sensing Performance Analysis

Disponível em: <http://www.ti.com/lit/an/snoa935a/snoa935a.pdf>

Acesso em: 25/07/2019

4.1.6. Análise preliminar

Dadas as descrições dos métodos e os critérios de avaliação, foi realizada a análise de forma a determinar quais métodos melhor se adequam as necessidades da equipe.

A medição via sonda de pressão na linha de combustível foi descartada, apesar de atender bem a maior parte dos critérios, devido a interpretações passadas dos juízes a respeito do regulamento de não permitir modificações na linha de combustível, de forma que a utilização de tal método colocaria em risco de desqualificação do veículo.

A medição por células de carga foi descartada devido à alta complexidade da instalação necessária e de difícil integração com o veículo já fabricado (seria necessário dispor de alto HH para estabilização das medições das células de carga junto ao tanque em ambientes com alto índice de trepidação sem realizar modificações no tanque de combustível).

A medição por capacitância apresenta uma alta sensibilidade ao ambiente (WANG, 2015), fazendo com que a medição seja afetada pela presença de objetos ao entorno, sujeira, etc., aumentando o grau de complexidade para aplicação da mesma em veículo do tipo Baja SAE.

Dentre as avaliadas, foram selecionadas duas para realização de testes, de forma a realizar a escolha:

- 1) Utilização de uma boia magnética e um sensor magnético externo ao tanque.
- 2) Utilização de um sensor ultrassônico instalado na parede externa do tanque.

4.2. Testes Iniciais.

Tem como objetivo realizar uma avaliação preliminar das soluções propostas para a medição de combustível, de forma a escolher a que melhor se adequa as necessidades e recursos do projeto.

4.2.1. Teste do Sensor Ultrassônico

De forma a melhor avaliar o método, foi realizado um teste do conceito, sendo o mesmo dividido em 2 etapas:

- 1) Teste 1: Medição sem obstáculos da distância entre sensor e alvo, tendo como objetivo validar o funcionamento do conjunto sensor/controlador em uso convencional
- 2) Teste 2: Medição da distância entre sensor e alvo através de obstáculo, tendo como objetivo testar o funcionamento do conjunto sensor/controlador na condição de uso pretendida

Para realização do teste foi utilizado o sensor HC-SR04, conforme Figura 15:

Figura 15 - Sensor ultrassônico HC-SR04.



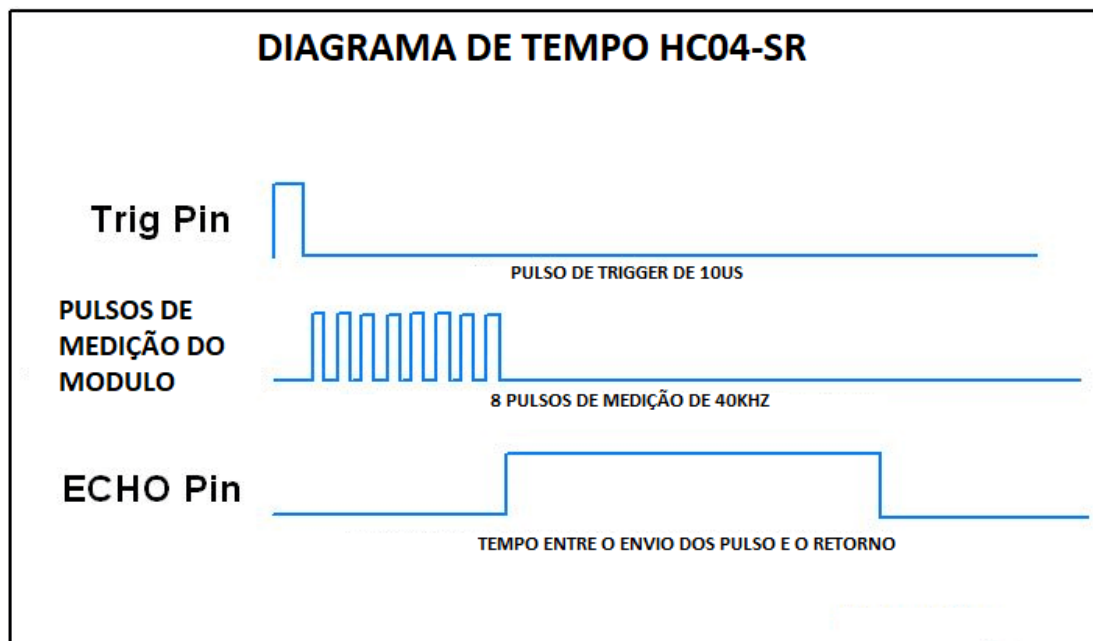
Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04/>

Acesso em: 24/07/2019

Sendo constituído de um transmissor ultrassónico, um receptor ultrassónico e circuito de controle, possuindo alcance de detecção de 2cm a 4m e precisão de 3mm, o HC-SR04 é um dos sensores mais comuns nas aplicações de sensoriamento com Arduino, devido ao baixo custo, boa confiabilidade e alcance.

Tendo princípio de funcionamento a emissão de 8 pulsos de 40kHz, dado o recebimento de pulso de acionamento de pelo menos 10 μ s, ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - Diagrama de tempo do sensor HC-SR04.



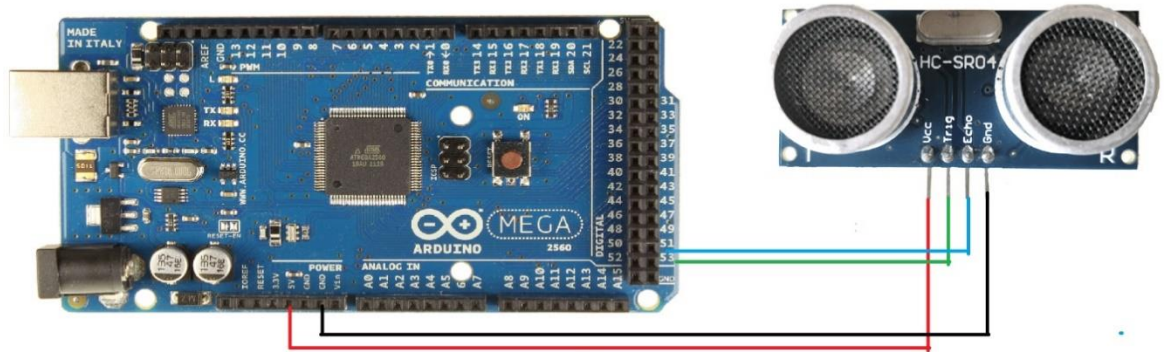
Traduzido de: <https://www.electronicwings.com/sensors-modules/ultrasonic-module-hc-sr04>

Acesso em:24/07/2019

Caso seja detectado um sinal de retorno, devido a reflexão do sinal enviado ao atingir o alvo, será gerado um sinal de nível alto de duração igual ao intervalo de tempo entre o envio do sinal de detecção e a detecção do sinal de retorno.

Para realização do teste foram empregados o sensor HC-SR04 e Arduino Mega conforme esquema de ligação da Figura 17:

Figura 17 - Circuito de ligação do sensor HC-SR04



Fonte: os próprios autores

Foi criado um código, presente na Figura 18, para a rotina de medição, fazendo o emprego da biblioteca *Ultrasonic.h*. Tal biblioteca foi desenvolvida para facilitar o emprego de sensores ultrassônicos, possuindo funções pré-definidas para as necessidades mais recorrentes. De tal forma, é empregada a função *Ultrasonic.convert*, que realiza a conversão do tempo do pulso fornecido pelo sensor, que representa o tempo entre o envio do pulso de medição e o retorno deste pulso, para a efetiva distância entre o sensor e o alvo em questão.

Figura 18 - Código de medição por ultrassom.

```
#include <Ultrasonic.h>

//Define os pinos de trigger e echo
#define pino_trigger 53
#define pino_echo 51

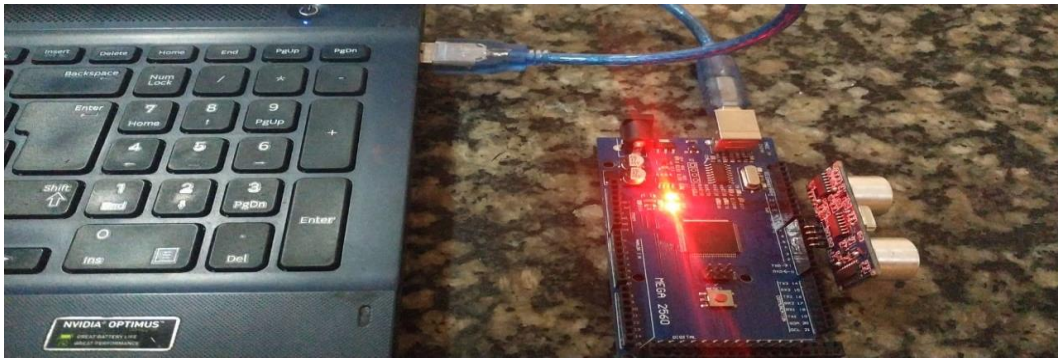
Ultrasonic ultrasonic(pino_trigger, pino_echo);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Lendo dados do sensor...");
}

void loop()
{
  float cmMsec;
  long microsec = ultrasonic.timing();
  cmMsec = ultrasonic.convert(microsec, Ultrasonic::CM);
  Serial.print("Distancia em cm: ");
  Serial.print(cmMsec);
  delay(1000);
}
```

Fonte: os próprios autores

Figura 19 - Teste do sensor ultrassônico.



Fonte: os próprios autores

4.2.1.1 Teste do Conjunto de Medição/Sensor

Para o primeiro teste foi montado o conjunto sensor/Arduino exemplificado na figura 19 conectado à um *notebook* através da porta USB, sendo o mesmo colocado sobre uma mesa e tendo um alvo posicionado a uma distância inicial de 30 cm do sensor.

Conforme o código da figura 18, será escrito no monitor serial do notebook os dados da distância aferida pelo sensor, sendo a medição atualizada a cada 1 segundo.

O alvo será movimentado em direção ao sensor em decrementos de 3 cm, sendo o posicionamento auxiliado pelo uso de uma régua.

Os resultados obtidos no teste estão apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 - Resultado do Teste do Sensor de Ultrassom.

Distância Régua(cm)	Distância Sensor(cm)	Erro %
30	30,02	0,07%
27	26,94	-0,22%
24	24,05	0,21%
21	20,87	-0,62%
19	19,11	0,58%
16	16,04	0,25%
13	13,2	1,54%
10	9,89	-1,10%
7	7,05	0,71%
4	4,07	1,75%
1	1,13	13,00%

Fonte: os próprios autores

A partir dos dados apresentados acima, podemos concluir que o sensor apresenta o funcionamento esperado quando empregado na aplicação convencional, com boa precisão das medidas. Também podemos observar o aumento do erro percentual ao se aproximar do limite inferior do alcance do sensor.

4.2.1.2 Teste de Interface com Superfícies

Para o segundo teste foi utilizado o mesmo conjunto sensor/Arduino e *notebook* empregado no primeiro teste e o mesmo código, porém foi posicionado imediatamente a frente do sensor uma camada , de forma a avaliar a capacidade da onda de ultrassom atravessar superfícies.

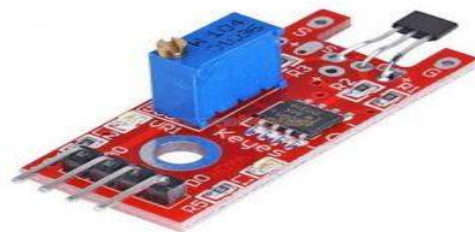
Ao iniciar o teste foi constatado que as leituras apresentadas pelo sensor se tornaram inconstantes, oscilando entre os extremos do alcance de leitura do mesmo de forma aleatória. ao remover a folha, o sensor voltou a se comportar conforme esperado.

4.2.2. Teste do Sensor Magnético (Boia Magnética)

Para realização deste teste foi empregado o sensor linear magnético KY-024, presente na Figura 20. Tal sensor possui 4 pinos, 2 de alimentação e 2 de dados, sendo um analógico e outro digital.

O sensor é constituído de três componentes principais em sua placa de circuito, o sensor hall, amplificador e comparador. Primeiro, a unidade do sensor, que emprega o sensor de efeito hall 49, realiza as medições enviando o sinal analógico para o amplificador de ganho variável conforme ajuste do potenciômetro. O terceiro componente é um comparador que desliga a saída digital se o sinal cair abaixo de um valor específico.

Figura 20 - Sensor KY-024.



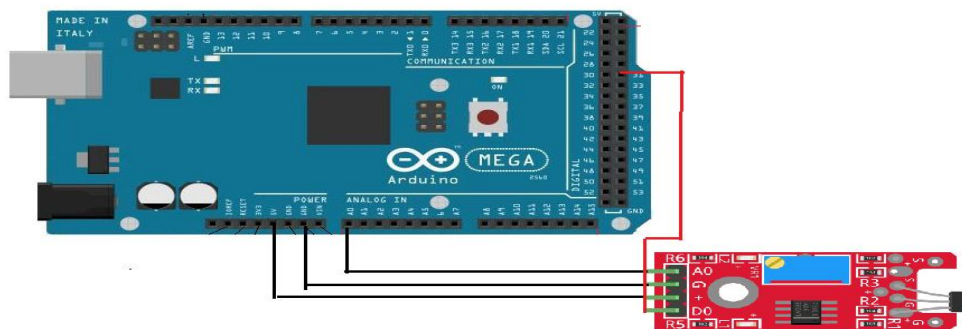
Disponível em: <https://www.breyertech.com.br/ky-024-sensor-hall-de-campo-magnetico>

Acesso em: 18/07/2019

A proposta de uso deste sensor no projeto é construir uma boia com um elemento magnético e inserir a mesma no interior do tanque e posicionar abaixo da mesma, de forma que com a variação do nível do combustível, haverá uma aproximação/distanciamento da boia ao sensor, ocasionando uma mudança na intensidade do campo magnético percebido pelo sensor.

Foi montado o conjunto composto pelo sensor KY-024, Arduino Mega e um notebook, conforme a Figura 21:

Figura 21 - Esquemático do sensor KY-024.



Fonte: os próprios autores.

Também foi elaborado o código para realização da medição conforme Figura 22:

Figura 22 - Código para sensor KY-024.

```
int digitalPin = 31;
int analogPin = A0;
int analogVal;
int digitalVal;

void setup ()
{
  pinMode (led, OUTPUT);
  pinMode (digitalPin, INPUT);
  //pinMode(analogPin, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop ()
{
  analogVal = analogRead(analogPin);
  Serial.println(analogVal);
  digitalVal = digitalRead(digitalPin);
  Serial.println(digitalVal);

  delay(500);
}
```

Fonte: os próprios autores.

O objetivo é utilizar um ímã e aproximando o mesmo do sensor, medindo a variação da intensidade do campo magnético, e utilizar a relação que a intensidade da força magnética diminui com o quadrado da distância para medir a distância entre o ímã e o sensor.

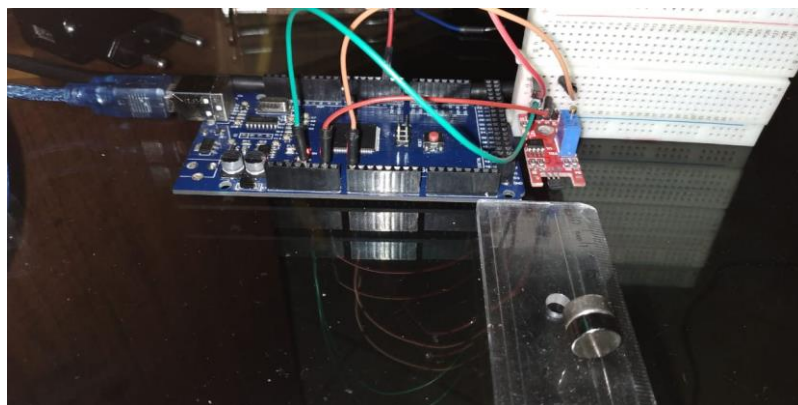
Como elemento magnético foi escolhido um ímã de liga de neodímio-ferro-boro de formato de pastilha cilíndrica revestida em níquel de dimensões 11mm de espessura por 5mm de diâmetro, presente na figura 23, devido a serem o tipo de ímã permanente mais forte disponível comercialmente e por possuir dimensões e peso compatíveis com a aplicação.

Figura 23 - Pastilha cilíndrica de neodímio



Fonte: próprios autores

Figura 24 - Circuito de testes



Fonte: próprios autores

Para o teste presente na Figura 24, foi posicionado inicialmente o imã a uma distância de 15 cm do sensor. Foi feita a aproximação do imã em direção ao sensor, sendo acompanhada a intensidade do campo magnético detectado através do monitor serial.

Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 4:

Tabela 4 - Resultados do teste do Sensor Magnético.

Valor analógico (A0)	Valor Digital (D0)	Distância(cm)
227	BAIXO	15
227	BAIXO	14
227	BAIXO	13
227	BAIXO	12
227	BAIXO	11
227	BAIXO	10
227	BAIXO	9
227	BAIXO	8
254	BAIXO	7
294	BAIXO	6
396	ALTO	5
482	ALTO	4
482	ALTO	3
482	ALTO	2
482	ALTO	1

Fonte: os próprios autores

Pode-se observar que a faixa de detecção linear do sensor é demasiadamente curta e com resolução pequena demais para ser empregado como sensor linear. Apesar disso, a faixa de detecção da presença de campo magnético permite a utilização deste sensor para detecção de faixas de nível, de forma que com o posicionamento de um ou mais sensores ao longo da excursão vertical da boia pode-se detectar sua passagem pelas faixas de nível pré-estabelecidas.

Tal solução apresenta como ponto negativo a necessidade de empregar diversos sensores e definir várias faixas de níveis para obter uma boa resolução da medida.

4.3. Circuito Escolhido.

Com base nos resultados dos testes, foi escolhido o método da boia magnética para ser implementado no veículo, sendo em um primeiro momento utilizado um único sensor de efeito *Hall*, posicionado para funcionar como alarme de nível baixo de combustível. Como elemento

de flutuação, foi projetada uma boia cujo formato foi inspirado em boias empregadas em aplicações marítimas, devido a elevada estabilidade.

Figura 25 - Boia marítima

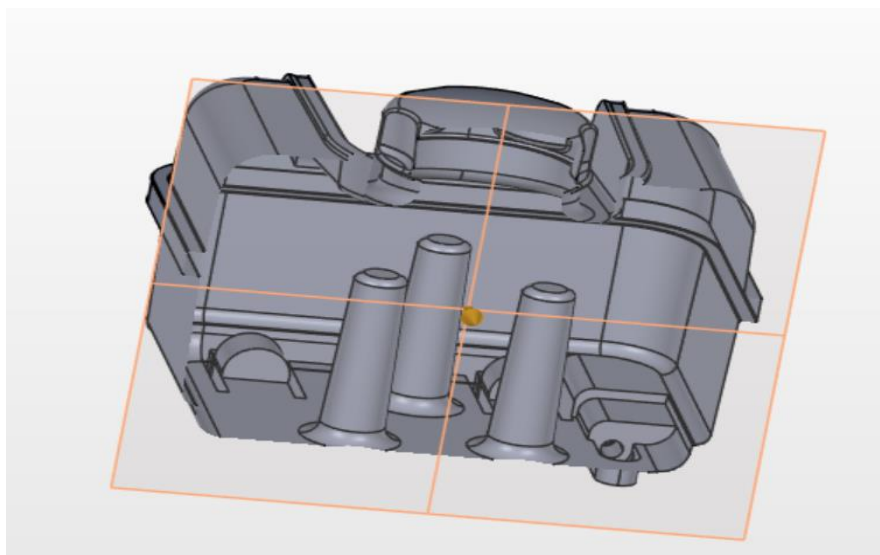


Disponível em: <https://www.seamar.com/item/POL-A5-OR/BUOY-POLYFORM-A5-90-ORANGE/>

Acesso em: 28/07/2019

A boia foi projetada utilizando o programa de *Cad3d SolidWorks*, tendo como requisito de tamanho possuir diâmetro superior ao do espaço entre os suportes internos do tanque, de forma a limitar o seu movimento somente ao eixo vertical.

Figura 26 - Vista em seção do tanque de combustível.

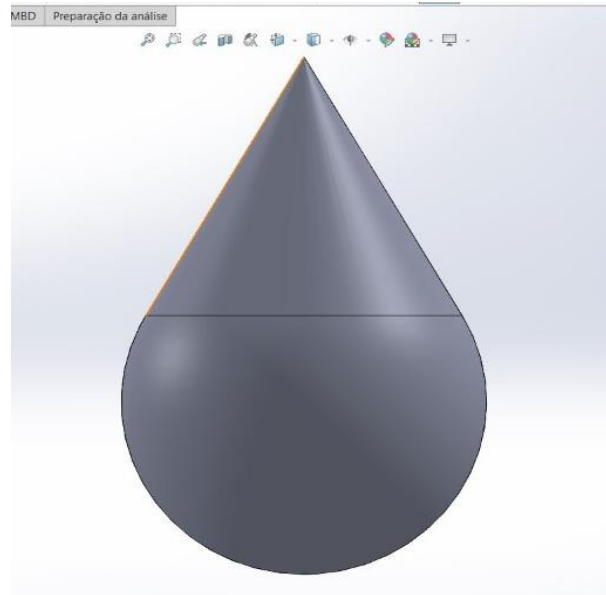


Disponível em: <https://grabcad.com/library/baja-sae-fuel-tank-1>

Acesso em: 25/07/2019

Além disso, foi levado em conta no projeto a necessidade de ser fabricada em duas partes, permitindo inserir na mesma um ímã de neodímio no interior da mesma, conferindo sua característica magnética.

Figura 27 - Projeto da boia no SolidWorks.

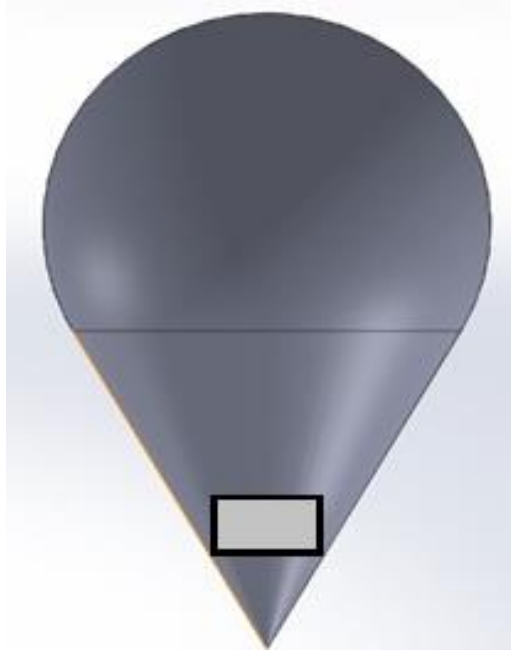


Fonte: os próprios autores.

A fabricação deve ser realizada através de um processo de manufatura aditiva, com o emprego de uma impressora 3D.

Segundo (ARCOVERDE, 2014), a manufatura aditiva consiste em um conjunto de tecnologias que possibilitam a fabricação de peças, objetos e estruturas tridimensionais por processos de adição de material por sobreposição de finas seções de materiais sucessivamente. Para permitir a inserção do ímã, a boia deve ser fabricada em duas partes separadas que serão coladas após a inserção do ímã de neodímio. O ímã será instalado na parte cônica da boia de forma a ficar mais próximo do sensor e melhorar a estabilidade da mesma.

Figura 28 - Protótipo da Boia Magnética

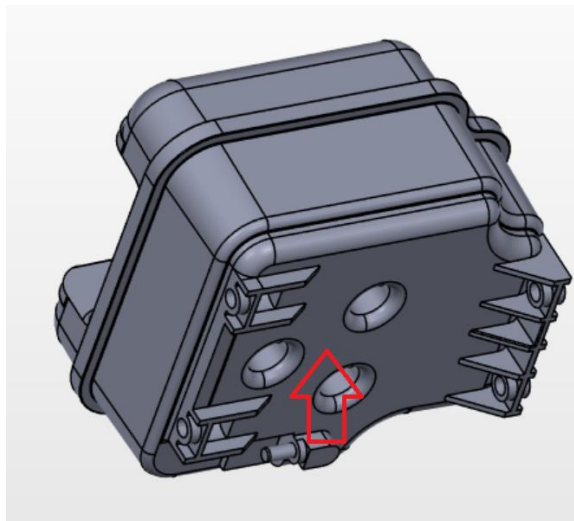


Fonte: os próprios autores

O protótipo de boia será fabricado com o material ABS, uma resina termoplástica formada por três monômeros: acrilonitrila, butadieno e estireno. O ABS foi escolhido inicialmente devido ao baixo custo, baixo peso, facilidade de fabricação e resistência à gasolina.

O sensor magnético será instalado na parte inferior externa do tanque, centrado entre os três pilares internos do tanque que limitam a movimentação da boia.

Figura 29 - Posição do Sensor KY-024



Fonte: os próprios autores.

5. ALIMENTAÇÃO DOS CIRCUITOS E NÍVEL DA BATERIA

Conforme regulamento da competição Baja SAE, a alimentação elétrica do veículo se dará pelo uso de baterias, devendo ser do tipo selado e não possuindo capacidade superior a 20 A.h, podendo as mesmas serem carregadas por um alternador ligado ao motor. No caso de baterias não carregadas por alternador, as mesmas devem alimentar somente os sistemas de segurança e sistemas de instrumentação.

Tendo em vista a não existência de sistemas de controle/atuação no veículo e afim de manter uma menor complexidade do sistema, não será utilizado o alternador no veículo.

A bateria a ser empregada é do tipo chumbo-ácido, 12 volts, selada, com capacidade de carga de 5 A.h, tal como presente na Figura 30.

Figura 30 - Bateria utilizada pelo Mini Baja.

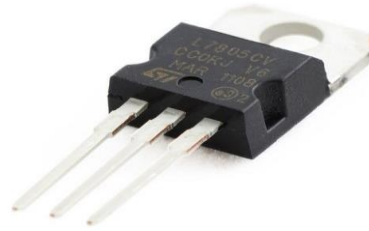


Disponível em: https://http2.mlstatic.com/bateria-selada-scrud-12v-5-v-D_NQ_NP_883561-MLB27164474550_042018-O.webp

Acesso em: 05/08/2019.

Tendo em vista que a maior parte dos componentes tem como tensão de alimentação de 5 V, se faz necessário realizar a regulação da tensão, de forma a atender a necessidade de alimentação dos circuitos e garantir que tal tensão se mantenha constante.

Figura 31 - CI regulador de tensão 7805



Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/regulador-de-tensao-7805-5v/>

Acesso em: 11/08/2019.

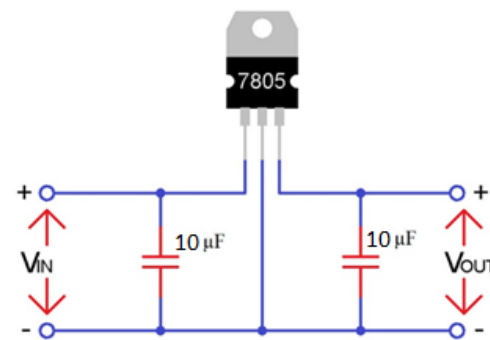
Para tal, foi utilizado um circuito integrado regulador de tensão modelo da família 7800, modelo 7805.

Sendo uma solução simples e robusta, com aproximadamente 3% de variação da tensão e baixa presença de ruídos na tensão de saída, atendendo as necessidades de projeto.

Apesar disso, tem como ponto negativo a tensão de *dropout* que é a tensão consumida pelo circuito integrado para realizar a regulação da tensão, de aproximadamente de 2 V, o que resulta em uma potência consumida de 3W para a corrente de saída máxima.

Foi montado o circuito conforme o esquema abaixo:

Figura 32 - Circuito do regulador de tensão 7805.



Fonte: os próprios autores.

No circuito são utilizados 2 capacitores de 10 μF , tendo função de *buffer* e necessários caso o regulador esteja a uma distância maior que 10 cm da fonte de alimentação.

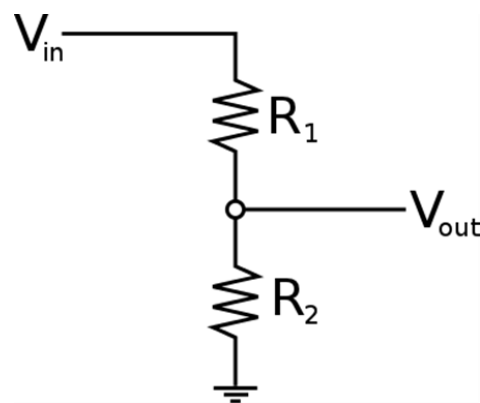
A informação quanto a carga da bateria é essencial para análise do veículo, pois a mesma alimenta não somente os sistemas de instrumentação do veículo, mas também suas sinalizações, de forma que uma descarga completa durante a operação do veículo pode acarretar em risco de segurança.

De forma a obter a informação referente ao nível de carga da bateria, será utilizada informação de tensão entre os terminais da mesma, pois é possível estabelecer uma relação entre a carga e a tensão nos terminais (é assumido que o consumo nominal dos componentes é constante, sendo assim a corrente também se faz constante). O circuito de medição deve possuir uma precisão razoável, robustez e baixo consumo, de forma a não impactar no funcionamento dos demais sistemas.

5.1. Método de Medição

Tendo em vista os requerimentos dispostos na sessão anterior, foi escolhido a prototipagem de um simples circuito divisor de tensão resistivo para realização desta medição, sendo dimensionado de forma que: quando a bateria esteja em plena carga (~12,5 V) a tensão de saída do divisor não exceda o limite de tensão da entrada analógica do microcontrolador (5V). Deve-se ressaltar que, visando otimizar o sensor de nível de bateria, levaremos em conta a obtenção do menor consumo de energia possível para este circuito presente na Figura 33.

Figura 33 - Imagem ilustrativa de um divisor resistivo.



Fonte: os próprios autores

Tendo em vista que a tensão de plena carga da bateria utilizada é de aproximadamente 12.5 V, foi considerada a $V_{in_{MAX}}$ de 14V, de forma proteger a porta analógica do Arduino da tensão máxima de trabalho de 5 V.

Para dimensionamento seguem cálculos:

$$V_{in_{MAX}} = 14V ; \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in_{MAX}} \leq 5V$$

$$14R_2 \leq 5(R_1 + R_2) \quad (II)$$

$$9R_2 \leq 5R_1$$

Arbitrando $R_1 + R_2 = 290K\Omega$:

$$R_1 = 180K\Omega \text{ e } R_2 = 110K\Omega$$

Dados os resistores calculados, calculamos o consumo máximo, considerando $V_{in_{MAX}}$ igual a 14V:

$$P = \frac{14^2}{290k} = 0,675mW \quad (III)$$

Utilizando os resistores calculados, o consumo previsto do divisor resistivo é bastante satisfatório. Tomando com tensão de alimentação 12V, o consumo do circuito seria de 0.0225A.h, aproximadamente 0.5% da carga disponível.

5.2. Interface com Microprocessador.

Para realização do teste foi montado o circuito, consistindo no divisor de tensão calculado, uma fonte de tensão 12V, um potenciômetro para simular a variação de carga da bateria e o Arduino conectado a um *notebook*. De forma a validar as medições obtidas, foi utilizado um multímetro eletrônico.

Também foi elaborado o código presente na Figura 34 para o teste:

Figura 34 - Código para Teste do Sensor de Bateria

```

int voltagepin = A2; // leitura da tensão bateria
float voltage =0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop(){

  voltage = analogRead(voltagepin);
  voltage = (voltage * (280/100) );
  Serial.print("V:");
  Serial.print(voltage);
  delay(1000);

}

```

Fonte: os próprios autores

5.3. Testes do Sensor.

Foi ajustado o potenciômetro inicialmente de forma a fornecer tensão de 12V.

Foram realizadas medidas sucessivas, decrementando a tensão em 0,25 V até que a tensão observada no multímetro seja 8V. Também foi observado se a mensagem de ‘Carga baixa’ foi exibida conforme programado. Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 5:

Tabela 5 - Resultado dos Testes do Sensor de Nível da Bateria

Tensão Potenciômetro (V)	Tensão Arduino (V)	Erro %
12	12,01	0,08%
11,75	11,75	0,00%
11,5	11,53	0,26%
11,25	11,26	0,09%
11	11,02	0,18%
10,75	10,74	-0,09%
10,5	10,48	-0,19%
10,25	10,27	0,20%
10	9,9	-1,00%
9,75	9,69	-0,62%
9,5	9,52	0,21%
9,25	9,23	-0,22%

9	9,02	0,22%
8,75	8,75	0,00%
8,5	8,49	-0,12%
8,25	8,26	0,12%
8	8,01	0,12%

Fonte: os próprios autores.

Podemos observar que o circuito proposto apresenta grande precisão, com erro máximo de 1% dentro do intervalo de medição, atendendo as necessidades do projeto.

6. MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DO MOTOR.

Conforme (NUNES, 2010), a informação da velocidade de rotação do motor é crucial para o acompanhamento do desempenho e rendimento do mesmo, sendo um dos dados mais importantes para o piloto.

Para entendimento desse parâmetro é necessária a diferenciação entre a velocidade de rotação absoluta no espaço e a velocidade de rotação relativa entre duas partes. Um exemplo de velocidade de rotação absoluta é a taxa de guinada do veículo em torno de seu eixo vertical ("*yaw velocity*"), sendo a mesma necessária para o controle da dinâmica do veículo. Exemplos de velocidade de rotação relativa são as velocidades do virabrequim e do comando de válvulas, as velocidades das rodas (para *ABS / TCS*) e a velocidade da bomba de injeção de diesel.

O método deve apresentar uma boa precisão, de forma que os dados obtidos possam ser utilizados para auxiliar os ajustes do motor e sistema de carburação.

O processamento deve possuir velocidade compatível ao processo, de forma a não gerar atrasos significativos na exibição das leituras obtidas e robustez, para suportar as condições adversas de operação do veículo.

6.1. Método de Medição

Para medição de velocidade do motor, estão sob análise três métodos:

- 1) A utilização do pico de tensão induzida no primário da bobina de ignição como sinal, pois devido as características do motor empregado no veículo (4 tempos, 1 cilindro) a ignição ocorre a cada 2 rotações do eixo do motor. Para tal método se faz necessário o uso de um acoplador óptico para proteger a entrada do Arduino e realizar o tratamento da tensão de entrada de aproximadamente 40V para os 5V suportados pela entrada digital do Arduino.
- 2) A construção de um sistema com ímãs acoplados ao eixo de saída do motor, e *reed switches*, de forma que o ímã, ao passar sob o sensor, fechará a chave magnética, fazendo surgir um pulso de tensão na entrada do Arduino.

- 3) Tacômetro com *Garagino*, emissor e receptor infravermelho para contagem de rotações a partir do número de vezes que o feixe infravermelho é interrompido.

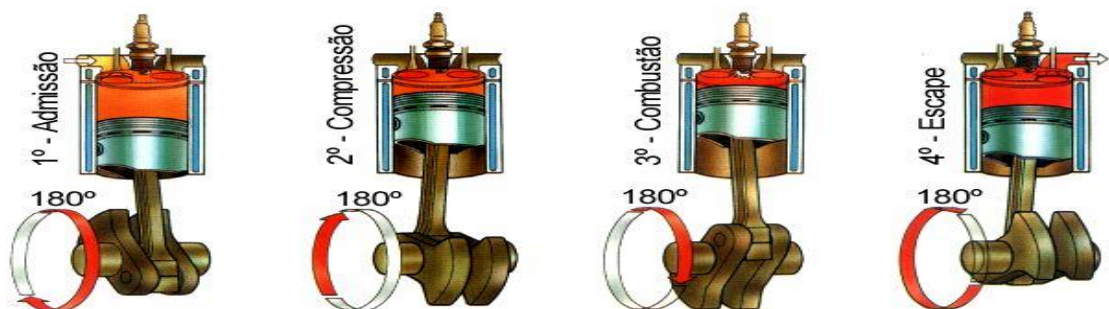
6.2. Análise preliminar

Dentre as opções analisadas e levando em consideração as características apontadas como principais para a escolha do sensor tido como ideal, optou-se pela primeira alternativa utilizando o pico de tensão induzida no primário da bobina de ignição como sinal, pois a mesma já encontra-se integrada ao motor atribuindo maior simplicidade ao processo de implementação, sendo apenas necessário seu isolamento para proteger a entrada do microcontrolador das tensões provenientes do enrolamento primário da bobina de ignição.

É necessário inicialmente entender o ciclo Otto do motor de combustão interna presente na Figura 35. O início se dá com a admissão da mistura composta por ar mais combustível na câmara de combustão, em seguida ocorre sua compressão. Quando o pistão chega no seu nível máximo ocorre a queima do combustível através da centelha promovida pela vela de ignição.

O pistão desce até o seu nível mínimo inferior e os gases de escapamento saem pelo duto de exaustão do veículo. Portanto, sabendo que a centelha da vela de ignição ocorre uma vez a cada duas revoluções do motor, podemos utilizar o sinal da bobina de ignição. A obtenção desse sinal é realizada através de um circuito opto acoplador, pois dessa forma é possível separar, de forma segura, as partes de alta tensão (bobina de ignição) para o lado de baixa tensão (microcontrolador). Mais ainda, a forma de captura se dá através do método do cálculo de janela de tempo, ou seja, o tempo que é calculado entre n pulsos consecutivos, de forma a permitir maior precisão.

Figura 35 - Os 4 tempos do Ciclo de Otto.



Disponível em: <http://www.antonioguilherme.web.br.com/Arquivos/motores.php>

Acesso em: 20/07/2019

As outras opções foram descartadas devido as condições pelas quais o veículo *off-road* do Baja estariam submetidos em pleno funcionamento ou pela complexidade que seria criada em sua adoção para a medição requisitada.

O Tacômetro com *Garagino*, emissor e receptor infravermelho teria seu princípio de funcionamento extremamente afetado pelas condições ambientes as quais o veículo é submetido. A presença de lama e poeira acabaria por obstruir o receptor e/ou emissor, causando a interrupção das contagens ou a realização de contagens incorretamente.

Já a opção utilizando *reed switches* foi descartada devido à fragilidade do componente, o manuseio e soldagem *do reed switches* que deve ser minuciosamente cuidadosa, pois a dilatação térmica e torção mecânica dos conectores podem trincar ou quebrar a cápsula de vidro, inutilizando-o completamente. Além disso a necessidade de fixação de um ímã no eixo de saída do motor acaba por dificultar ainda mais sua implementação.

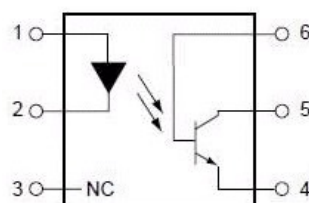
6.3. Sensor Escolhido

Para a realização da medição da velocidade de rotação do motor, foi definida a utilização do pico de tensão induzida no primário da bobina de ignição, sendo tal sinal isolado através do uso do opto acoplador (4N25), responsável por proteger a entrada do Arduino.

Para entendimento do funcionamento de um opto acoplador, o mesmo funciona como uma chave baseada em sinais óticos, realizando o desacoplamento elétrico entre o circuito de entrada e o circuito de saída. O seu lado de Entrada (conectado ao primário da bobina de ignição) controla um LED localizado dentro do CI. Quando fazemos passar corrente por esse LED interno do chip, ocorre a emissão de luz, a outra parte do CI contém um fotodiodo, de forma que a corrente na saída é controlada pela entrada.

Assim, o acoplador óptico, presente na Figura 36, permite que um circuito controle outro, assim como um transistor ou um relé também permitem.

Figura 36 - Esquemático de um Opto acoplador.



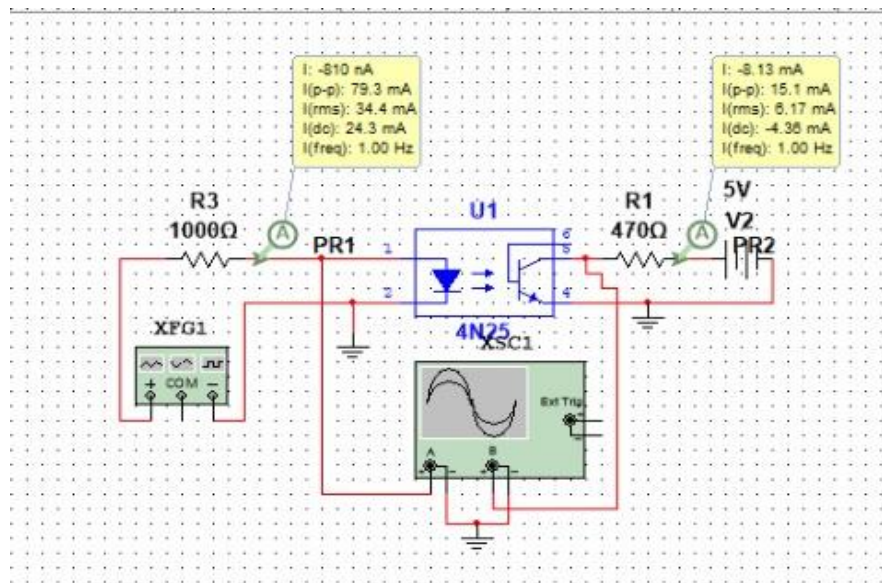
Fonte: os próprios autores

6.4. Circuito de Medição

O circuito projetado tem como função de tratar os pulsos negativos do primário da bobina de ignição do motor do veículo, resultantes do chaveamento da mesma, que tem ordem de grandeza de aproximadamente 40 V e o converter para sinais de nível de tensão TTL (5V DC), para que os mesmos sejam processados pelo microcontrolador.

Foi realizado o projeto e simulação do circuito utilizando o NI *Multisim*, que é um programa de captura e simulação de esquemas eletrônicos da *National Instruments* (NI). A simulação está presente na Figura 37.

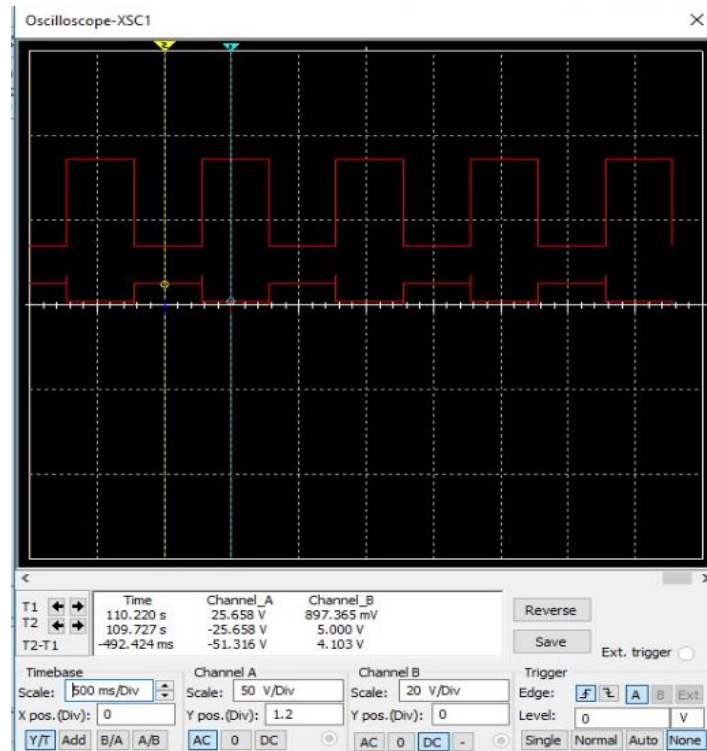
Figura 37 - Simulação do circuito de isolamento.



Fonte: os próprios autores.

Como podemos observar, o circuito de medição só emite um pulso (sempre positivo), quando o motor emite o pulso negativo, sendo o mesmo observado de forma mais detalhada na Figura 38:

Figura 38 - Resultado da simulação do circuito de medição da velocidade do motor.



Fonte: os próprios autores

Foram escolhidos os valores de resistores para limitar a corrente drenada do primário da bobina de ignição e garantir que a corrente drenada da entrada digital do Arduino fique abaixo da corrente máximo de 40ma.

6.5. Interface com Protótipo de Medição

Para realizar as medições, foi elaborado um código, se utilizando do conceito de interrupção externa no Arduino, que consiste em pausar a execução do programa principal para que seja realizada uma função específica, retomando a execução do programa principal do exato ponto da chama da interrupção após o fim da execução do mesmo. Devido a isso, a função de interrupção deve ter algumas características como não receber ou retornar valores, ser o mais curta possível, entre outras características.

Com base nessas premissas, foi elaborado o código da Figura 39:

Figura 39 - Código de cálculo da velocidade do motor.

```

const byte interruptpin = 2;
int Contrpm = 0;
int Rpm = 0;
int interruptPin = 2; // pino 2 entrada de sinal da bobina motor
long T1;
long T0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(interruptpin, INPUT_PULLUP);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptpin), RPM, FALLING);
}
void RPM ()
{
  Contrpm ++;
}
void loop(){
  unsigned long currentMillis = millis();
  T0 = millis();
  if (Contrpm >= 10)
  {
    detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptPin));
    T1 = millis();
    Rpm = ((Contrpm/(T1-T0))*120000);
    Rpm = round(Rpm);
    Contrpm = 0;
    T0= millis();
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptPin), RPM, FALLING);
  }
  Serial.print('RPM:');
  Serial.print(Rpm);
}

```

Fonte: os próprios autores.

7. MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DO VEÍCULO.

7.1. Método de Medição

A informação da velocidade do veículo é de vital importância para o operador do mesmo, sendo crucial para adequar a pilotagem do veículo as condições de terreno, obstáculos etc. Tal medição também possibilitará futuramente determinar a distância percorrida pelo veículo.

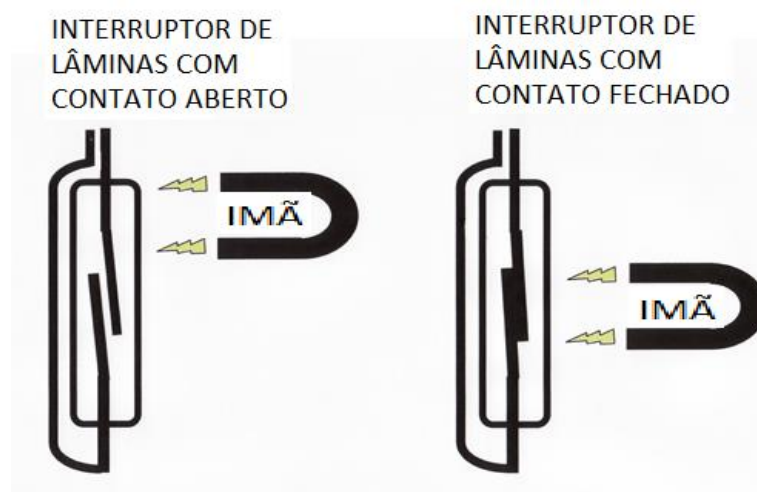
De tal forma, o método empregado deve possuir uma boa precisão e elevada robustez.

O processamento deve possuir frequência compatível a do processamento, de forma a não gerar erros significativos de medição.

Para medição de velocidade do motor foram analisados os seguintes métodos:

- 1) A utilização de um interruptor de lâminas (também conhecido como *reed switch*) juntamente a um elemento magnético acoplado ao eixo de saída da transmissão do veículo, conforme Figura 40. O interruptor de lâminas é um dispositivo constituído por bulbo de vidro no interior do qual existem duas lâminas flexíveis construídas de materiais ferromagnéticos. Também possuem o interior do bulbo de vidro preenchido por um gás inerte de modo a evitar a corrosão das lâminas e eventual perda de contato elétrico.

Figura 40 - Interruptor de lâminas.



Traduzido de : <https://www.deeterelectronics.com/reed-switch-how-it-works/>

Acesso em: 27/07/2019

Com a fixação do imã ao eixo traseiro do veículo, a cada passagem do imã frente ao interruptor o contato será fechado, o que ocasionará na geração de um pulso que será lido pelo microcontrolador. A velocidade do veículo poderá ser calculada através da relação entre o intervalo de tempo entre os pulsos e a distância física percorrida pelo veículo no intervalo da geração dos mesmos pulsos, podendo o intervalo de frequência dos pulsos ser ajustado através da quantidade de imãs instalados no eixo do veículo.

- 2) A utilização de um sensor indutivo, exemplificado na Figura 41, instalado próximo à engrenagem do eixo de saída do veículo. O sensor indutivo é constituído por um núcleo de ferrite envolto por uma bobina, um circuito oscilador e um circuito disparador (*Schmitt Trigger*). Um campo eletromagnético variável é gerado através da ação do oscilador sob a bobina disposta na extremidade do sensor. Quando ocorre a penetração do campo magnético gerado por um material metálico, ocorre a indução de correntes parasitas. Com a indução no metal, ocorre uma diminuição na energia do campo magnético e, conseqüentemente na amplitude do sinal proveniente do oscilador. Com a diminuição da amplitude causa o disparo do circuito do disparador, gerando um pulso de nível alto ou baixo na saída do sensor.

Figura 41 - Exemplo de sensor indutivo.



Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-proximidade-indutivo-npn-6-36v/>

Acesso em: 14/07/2019

Ao posicionar o sensor próximo a engrenagem do eixo de saída, seria gerado um pulso a cada detecção de um dente desta engrenagem, permitindo calcular o intervalo de tempo entre tais pulsos, que estão associados à distância percorrida pelo veículo, permitindo o cálculo de sua velocidade.

7.2. Sensor Escolhido

Os dois métodos descritos na seção anterior foram analisados conforme suas características funcionais, construtivas, facilidade de implementação e manutenção e robustez da solução.

Devido a estrutura do dispositivo empregado ser constituída principalmente por um bulbo de vidro, o método do interruptor de lâminas possui uma fraqueza intrínseca, devido a fragilidade do bulbo de vidro. Além disso, devido ao chaveamento mecânico do dispositivo o mesmo possui uma quantidade de ciclos limitada, podendo ser severamente reduzida dependendo da frequência de operação.

Devido ao emprego de uma bobina para geração do campo magnético, o sensor indutivo apresenta um elevado consumo de corrente (aproximadamente 300mA) quando comparado aos demais dispositivos empregados neste projeto.

Por tais motivos, foi escolhido o método do sensor indutivo para a medição em questão em detrimento ao método do interruptor de lâminas

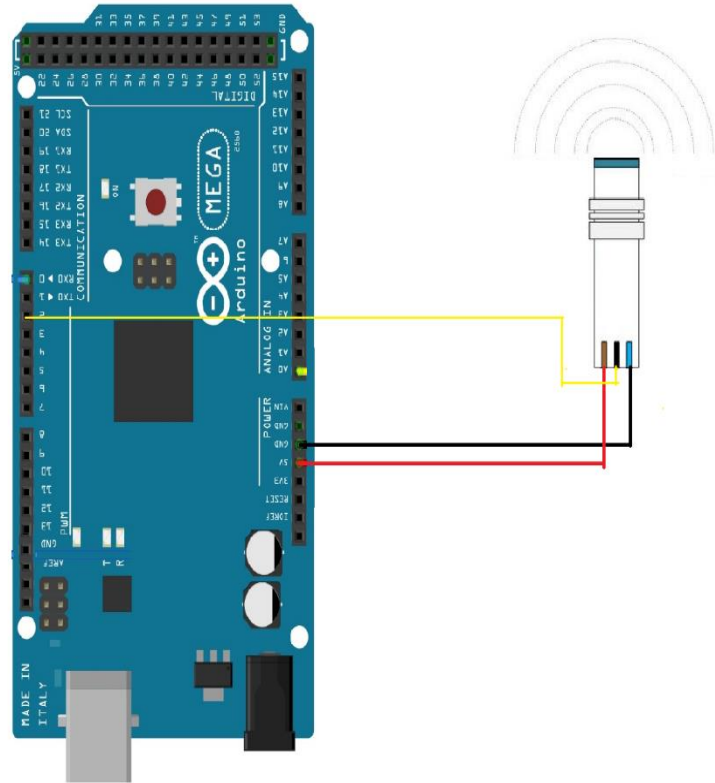
Dentre os sensores disponíveis no mercado, foi escolhido o modelo LJ12a3-4-Z/BX devido ao baixo custo, grande disponibilidade, robustez e seu emprego em aplicações industriais como tornos CNC.

7.3. Circuito de Medição

Devido ao sensor empregado ser do tipo NPN, o circuito de medição a ser construído é muito simples, pois drena corrente fornecida pelo microcontrolador, ao contrário de um sensor do tipo PNP.

Para realização das medições foi construído o circuito da Figura 42:

Figura 42 - Circuito do sensor indutivo.



Fonte: os próprios autores.

7.4. Interface com Protótipo de Medição

Para a realização das medições da velocidade do veículo e futuro teste do mesmo foi desenvolvido o código presente na Figura 43:

Figura 43 - Código do sensor indutivo.

```

int interruptpin = 2;
int contpulse =0;
long t0;
long t1;
int vel = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(interruptpin, INPUT);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptpin),Vel,FALLING);
}
void Vel()
{
  contpulse ++;
}

void loop() {
  unsigned long currentMillis = millis();
  t0 = millis();
  if (contpulse >=10)
  {
    detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptpin));
    t1= millis();
    vel = (contpulse/(t1-t0));
    vel = (vel*(1.755/41)*3600);
    t0 = millis();
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptpin),Vel,FALLING);
  }
  Serial.print('velocidade(km/h):');
  Serial.print(vel);
}

```

Fonte: os próprios autores

Para evitar a possibilidade de um erro de medição causado por um pulso de elevada duração (por exemplo: um dente de engrenagem parado sob o sensor), o disparo da interrupção foi feito através da transição do nível alto pra o nível baixo, com a opção *FALLING* dentro do comando *attachInterrupt*.

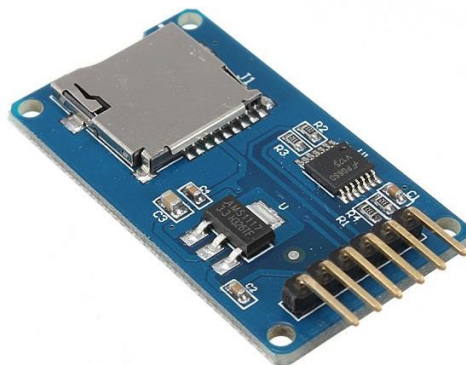
8. REGISTRO DAS MEDIÇÕES E PAINEL DE INTERFACE

8.1. Datalogger

Para otimizar o desempenho do veículo Baja SAE e de seu piloto, os dados referentes aos sistemas do veículo devem não somente ser coletados e exibidos ao condutor, mas também armazenados e interpretados, de forma a permitir a realização de ajustes no veículo, mudanças no modo de condução do piloto e melhorias e correções de projeto.

Dada essa necessidade, foi implementada a funcionalidade de *data logger* no projeto, empregando um módulo microSD 4MD36, ilustrado na Figura 44, juntamente ao microcontrolador *Arduino*.

Figura 44 - Módulo microSD.



Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-cartao-micro-sd/>

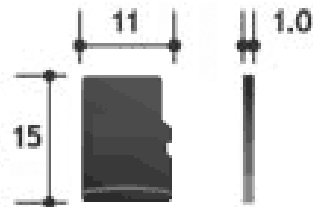
Acesso em: 24/07/2019

Cartões do tipo *Secure Digital (SD)* são cartões de memória não voláteis desenvolvidos pela *SD Association* para utilização em dispositivos portáteis, tendo sido adotados como padrão pela indústria a partir dos anos 2000.

Dentre os seus diferenciais, temos como principais: compatibilidade com determinações de segurança da *Secure 29 Digital Music Initiative (SDMI)*, que visa evitar a distribuição ilegal de músicas; uma pequena trava de segurança que impede a eliminação de dados do dispositivo. Cartões SD, tal como o representado na Figura 45, são, atualmente, o tipo de memória de

armazenamento de dados mais popular, sendo amplamente empregados em dispositivos como celulares, câmeras digitais, consoles de videogame entre outros.

Figura 45 - Cartão tipo microSD.



[mm]

Fonte: <https://www.sdcard.org/developers/overview/index.html>

Acesso em: 17/07/2019

Foi escolhida tal tecnologia devido ao amplo acesso a esse tipo de dispositivo devido a adoção com padrão em dispositivos portáteis, baixo custo, farta quantidade de publicações de soluções empregando tal tecnologia e a não volatilidade deste tipo de armazenamento, garantindo a integridade das informações nele contidas mesmo sem a alimentação elétrica.

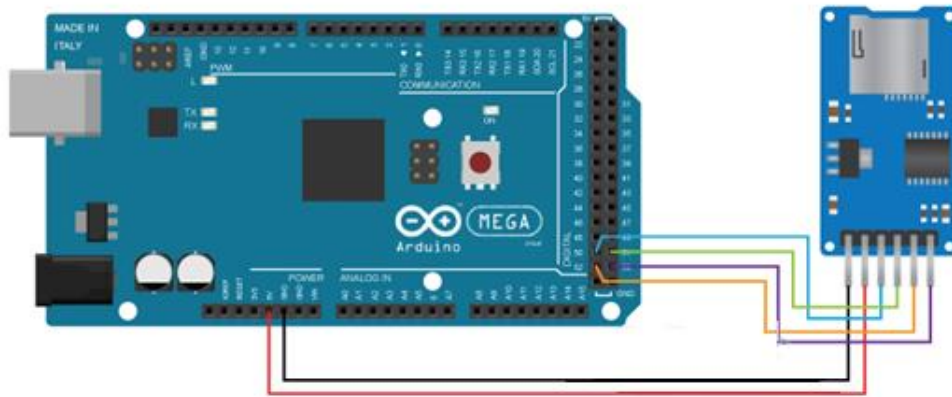
As dados captados e processados pelo microcontrolador foram armazenados no cartão microSD através da criação e atualização de um documento do tipo *csv* (*Comma-separated values*), um formato de arquivo de texto definido pela RFC4180, consistindo no armazenamento de dados de forma tabular, cujas colunas são separadas por vírgulas, sendo amplamente utilizado para manipulação de dados, facilitando a análise das informações obtidas.

A comunicação entre o módulo SD e o Arduino é realizada através do protocolo SPI (*Serial Peripheral Interface*), protocolo de comunicação serial síncrono de arquitetura do tipo “mestre-escravo” para comunicação de um ou mais dispositivos periféricos, sendo constituído por 4 vias de dados, sendo estas:

- 1) Comunicação sentido mestre-escravo (MISO)
- 2) Comunicação sentido escravo-mestre (MOSI)
- 3) Clock serial (SCK)
- 4) Seleção de escravo (SS)

Foi implementado o circuito da Figura 46, empregando os pinos definidos pelo fabricante do Arduino para a comunicação SPI, sendo estes os pinos de 50 a 53, além dos pinos de alimentação. Cabe uma importante observação que apesar da alimentação do módulo seja 5V, os sinais MISO, MOSI e SCK são de 3.3V.

Figura 46 - Esquemático de ligação do modulo SD



Fonte: os próprios autores.

Após realizadas as medições e os dados salvos no cartão microSD, os mesmos podem ser utilizados para construção de análises de desempenho e revisões de projeto.

8.2. PAINEL DE MEDIÇÃO

Tão importante quanto as medições realizadas, também se faz necessário informar o piloto quanto as informações essenciais à operação do veículo, permitindo -o adequar sua forma de condução às circunstâncias da competição e condição do veículo.

Para tal, foi escolhido como periférico de saída o módulo JHD162A, presente na Figura 47, consistindo num display monocromático de cristal líquido (LCD) e o módulo controlador baseado no Hitachi HD44780, integrados em uma única placa. O display possui 16 colunas e 2 linhas, permitindo a escrita de 32 caracteres ASCII ao mesmo tempo na tela.

Figura 47 - Módulo JHD162A



Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1258891481-display-lcd-jhd-162a-back-verde-letra-preto-80x36x13-novo- JM>

Acesso em: 12/08/2019

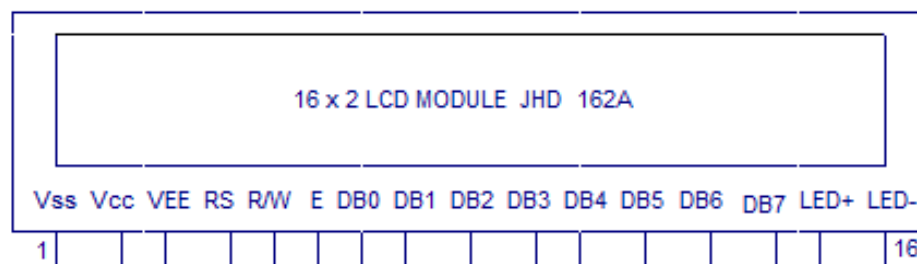
A módulo JHD162a possui 16 pinos, podendo ser operado no modo 4bits (utilizando 4 linhas de dados) ou 8bits (utilizando 8 linhas de dados). Para nossa aplicação, utilizamos o mesmo no modo 4bits, utilizando os pinos DB4 a DB7 como linhas de dados. Os pinos Vss e Vcc são respectivamente o Terra do modulo e a alimentação 5V do módulo. O pino VEE ajuste de contraste da tela, sendo ajustado através de um divisor resistivo ou potenciômetro ligado a uma fonte de 5V.

O pino RS é o pino de seleção dos registradores do módulo. O pino R/W é utilizado para alternar entre os modos de escrita e leitura do módulo.

O pino E é utilizado para habilitar a tela e os pinos LED+ e LED- são utilizados para alimentação da luz de fundo do *display*.

A pinagem do módulo JHD162a está presente na Figura 48:

Figura 48 - Pinagem do módulo JHD162A

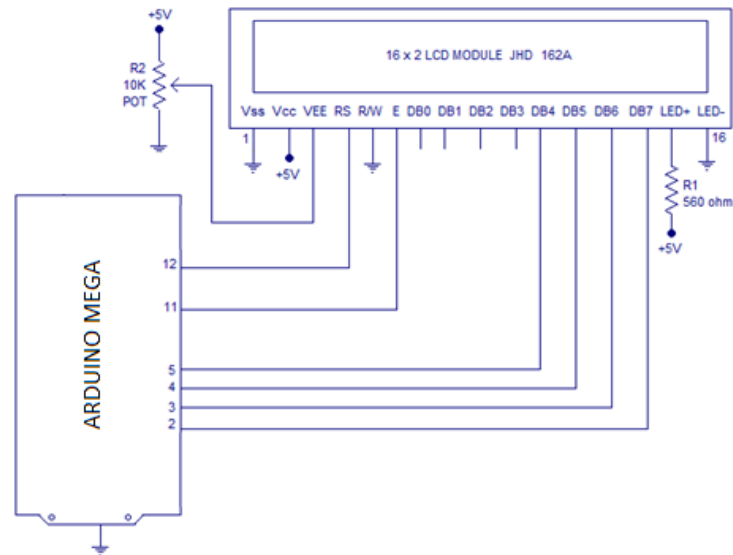


Disponível em: <http://www.circuitstoday.com/interfacing-lcd-to-arduino>

Acesso em: 22/07/2019

O circuito de comunicação entre o Arduino e o *display* foi elaborado conforme esquemático da Figura 49:

Figura 49 - Esquemático de ligação do Modulo LCD e Arduino



Fonte: os próprios autores

Foi utilizado um trimpot de 10K ohms para realizar o ajuste de contraste do *display*, e um resistor de 560 ohms para limitar a corrente no LED de retro iluminação do *display*.

Para implementação do código iremos utilizar a biblioteca LiquidCrystal.h, desenvolvida para controlar *displays* baseados no Hitachi HD44780, já possuindo funções predefinidas para interagir com o *display* empregado.

Durante a realização dos testes com os outros sensores foi observada a necessidade da utilização de um *display* maior, de forma a permitir melhor visualização dos dados, e mais dados simultâneos na tela. Para tal, foi substituído o *display* utilizado anteriormente por um JHD204A, possuindo as mesmas características do *display* anterior salvo maior quantidade de linhas e colunas, como pode ser visualizado na Figura 50.

Figura 50 - Display JHD204A

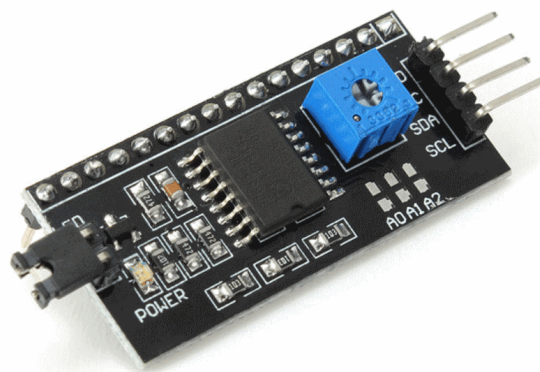


Disponível em: <https://www.soldafria.com.br/display-lcd-20x4-back-branco-letra-azul-escuro-jhd204a-p-669.html>

Acesso em 09/08/2019

Outra melhoria empregada juntamente com a troca do display foi a substituição da ligação anterior por uma mais simplificada com a utilização de um módulo I2C baseado no CI PCF8574, presente na Figura 51.

Figura 51 - Módulo I2C LCD



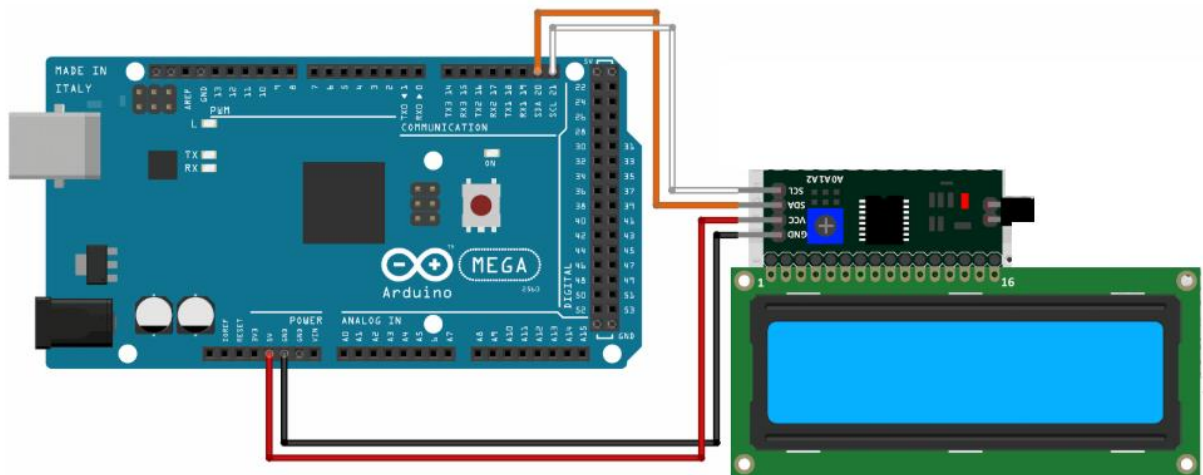
Disponível em: <https://www.arduinoecia.com.br/2014/12/modulo-i2c-display-16x2-arduino.html>

Acesso em 09/08/2019

O modo de funcionamento do protocolo I2C é baseado na interação entre elementos seguindo a hierarquia mestre/escravo, com uma estrutura de barramento que consiste em um arranjo em que todos os elementos se encontram conectados a um ramal principal, podendo suportar até 127 dispositivos escravos em um mesmo barramento.

Como principal vantagem desta troca, temos a diminuição da complexidade de ligação e comunicação entre o conjunto módulo/tela e o Arduino, diminuindo o número de conexões de 12 (no modo 8 bits) para 4, sendo 2 para alimentação e 2 para dados e *clock* (pino SDA e SCL). O circuito empregado é tal conforme Figura 52:

Figura 52 - Esquema de Conexão Arduino Mega – Módulo i2c – LCD



Disponível em: <https://www.arduinoecia.com.br/2014/12/modulo-i2c-display-16x2-arduino.html>

Acesso em 09/08/2019

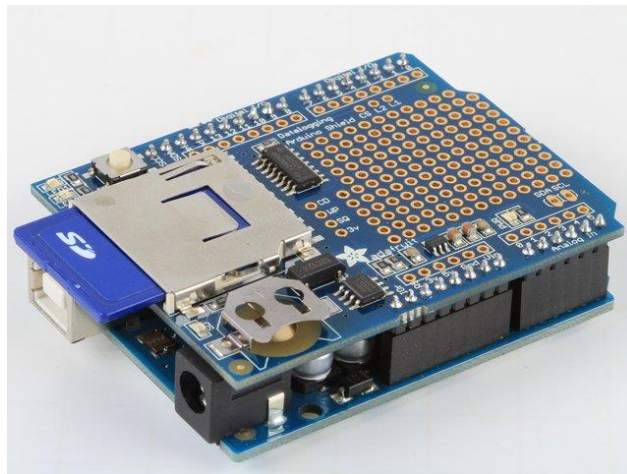
Tais modificações também tornaram necessária a troca da biblioteca empregada para o controle do display, sendo utilizada a biblioteca `liquidcrystal_i2c.h`, possuindo a mesmas funcionalidades da biblioteca empregada anteriormente, mas com a adição da funcionalidade de comunicação pelo protocolo I2C.

9. CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

De forma a permitir uma implementação mais compacta, o protótipo foi construído como uma placa de circuito única, contendo os circuitos de alimentação, módulo SD, display, circuito de isolamento e conexões com os demais sensores de forma a se conectar diretamente ao Arduino MEGA, em um formato conhecido popularmente com *sheild*.

De forma a adequar os circuitos elaborados para os testes de implementação conjunta, houveram alteração das portas empregadas para cada circuito, sendo o esquemático disponibilizado no Apêndice deste trabalho.

Figura 53 - Exemplo de sheild acoplado à Arduino



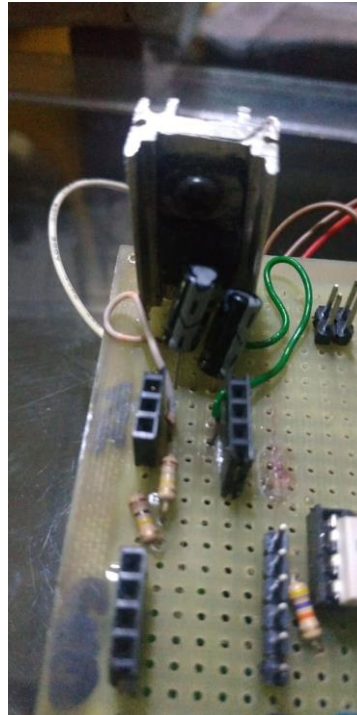
Disponível em: <https://learn.adafruit.com/adafruit-data-logger-shield/light-and-temperature-logger>

Acesso em: 25/07/2018

Foi realizada a construção do protótipo conforme esquema elétrico elaborado com base nos esquemas expostos anteriormente para cada medição, conforme circuito final disponível no Apêndice.

Na construção do regulador de tensão foi empregado um dissipador de calor em alumínio, de forma a evitar o aquecimento excessivo do conjunto.

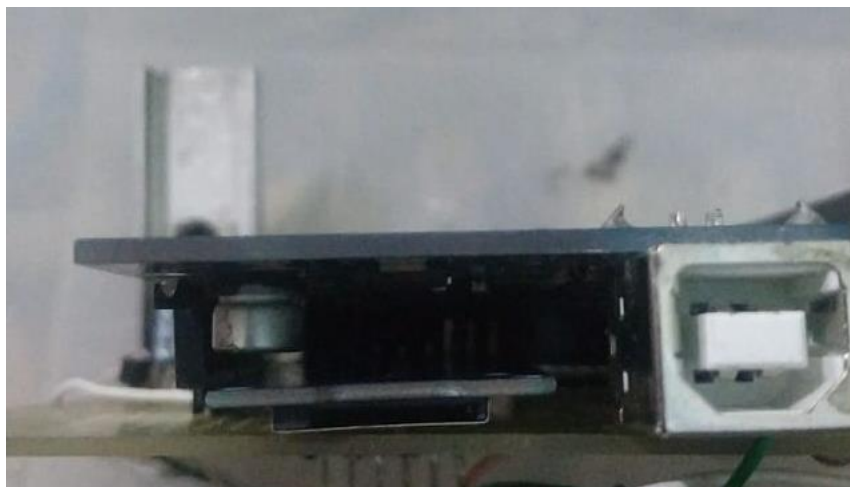
Figura 54 - Regulador de tensão.



Fonte: Os próprios autores

Dado que alimentação do Arduino se dará pelo pino de alimentação externa do Arduino Vin, o conector de alimentação de 5.5mm foi removido da placa, permitindo o posicionamento do módulo SD entre o Arduino e a placa de circuito na posição anteriormente ocupada pelo pino de alimentação, contribuindo para um melhor aproveitamento da área disponível.

Figura 55 - Arranjo do módulo SD

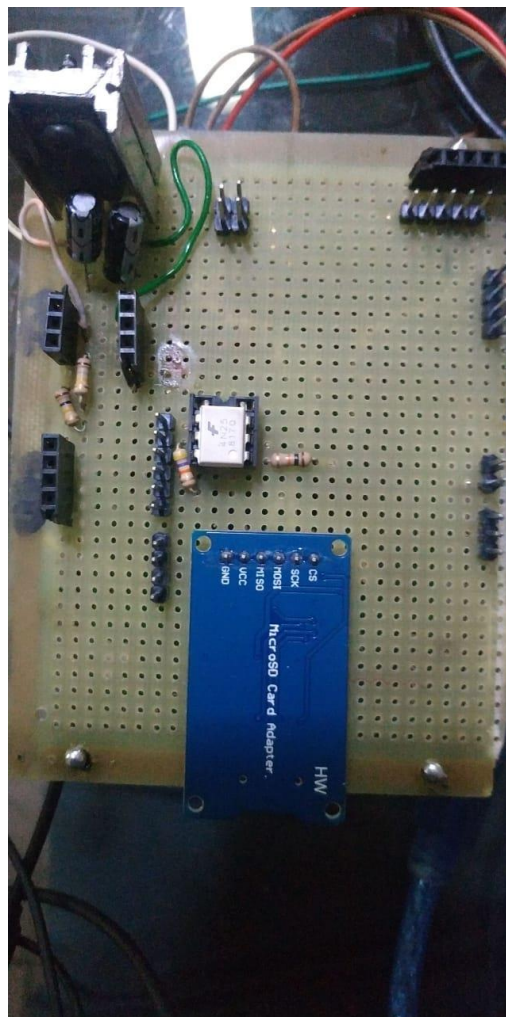


Fonte: Os próprios autores

O circuito de medição da velocidade de rotação do motor foi implementado fazendo o uso de um soquete de CI para o opto-acoplador, facilitando uma eventual substituição deste componente em caso de falha e eliminando a possibilidade de danos térmicos devido ao processo de soldagem do CI.

De forma a diminuir o tamanho final do circuito, o circuito do opto-acoplador foi instalado de forma a ficar embaixo do Arduino quando o mesmo estiver acoplado ao circuito.

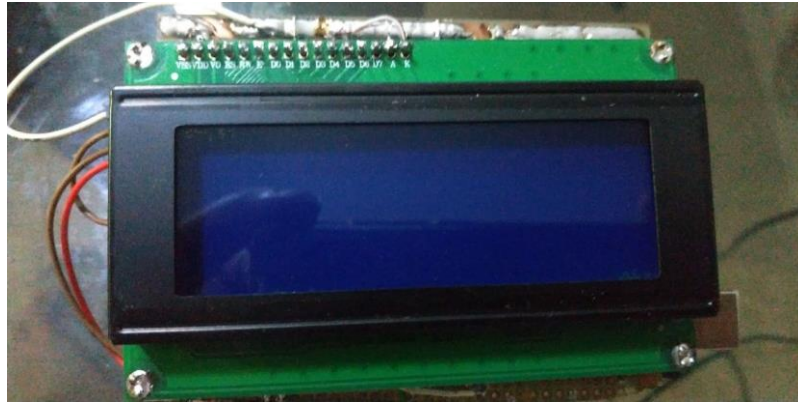
Figura 56 - Circuito opto-acoplador



Fonte: os próprios autores

Para a instalação do display LCD foram empregados conectores macho-fêmea ao invés de instalar o display diretamente na placa para permitir maior facilidade na substituição do mesmo. A tela também foi posicionada no outro lado da placa, de forma a deixar o protótipo mais compacto.

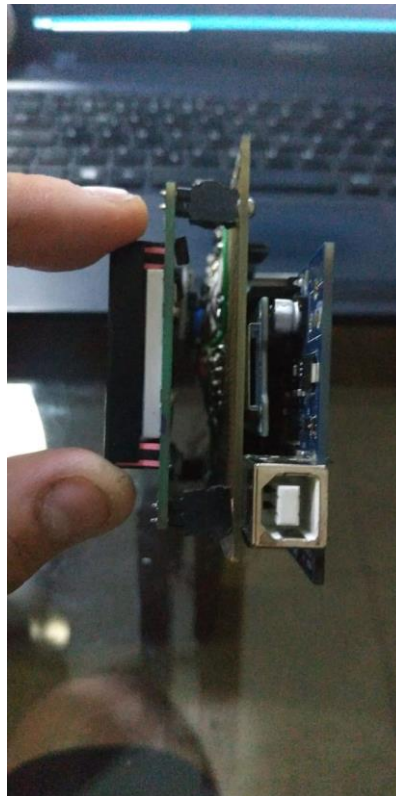
Figura 57 - Novo Display LCD



Fonte: os próprios autores.

Após todas as modificações citadas nesse capítulo, chegamos ao layout final do protótipo com todos os dispositivos instalados e o novo display já presente e devidamente fixado, conforme imagem presente abaixo:

Figura 58 - Resultado Final do protótipo mais compacto.



Fonte: os próprios autores.

10. TESTES DO PROTÓTIPO

Essa seção tem como principal objetivo relatar os testes dos sensores contidos no protótipo de instrumentação do BAJA da equipe *Quarter Mile*. Com todos os sensores e dispositivos previamente discutidos e fabricação conceitual da placa de instrumentação realizamos os testes individualmente e de todo o protótipo para garantir o funcionamento como previsto pela teoria utilizada como referência para esse projeto de graduação.

10.1. Testes Individuais

Inicialmente, após finalização da montagem da placa de instrumentação, realizamos os testes dos sensores de forma individual visando garantir o funcionamento de todas as partes componentes dos dispositivos e consequente análise de seus resultados.

A ordem de teste que permeará esse capítulo seguirá a de apresentação dos sensores anteriormente vistas:

- 1) Sensor de Nível do Combustível.
- 2) Sensor de Nível de Bateria.
- 3) Sensor para Medição da Velocidade de Rotação do Motor
- 4) Sensor para Medição da Velocidade do Veículo
- 5) Análises dos dados obtidos e registrados no Cartão *MicroSD*

10.1.1. Sensor de Nível do Combustível

Após análise das dimensões do tanque do veículo foi definido que o sensor deverá ser acionado à uma distância de 4,5 cm do fundo do mesmo, definindo aproximadamente 20% da capacidade total do tanque como nível baixo.

Foi realizada a montagem do conjunto sensor e circuito e utilizado o imã de neodímio, aproximando o mesmo do sensor de forma que ao alcançar a distância de 4,5 cm do sensor o mesmo deve ser acionado e deverá aparecer a mensagem ‘combustível baixo’ no display.

Figura 59 Teste do Sensor de Nível de Combustível



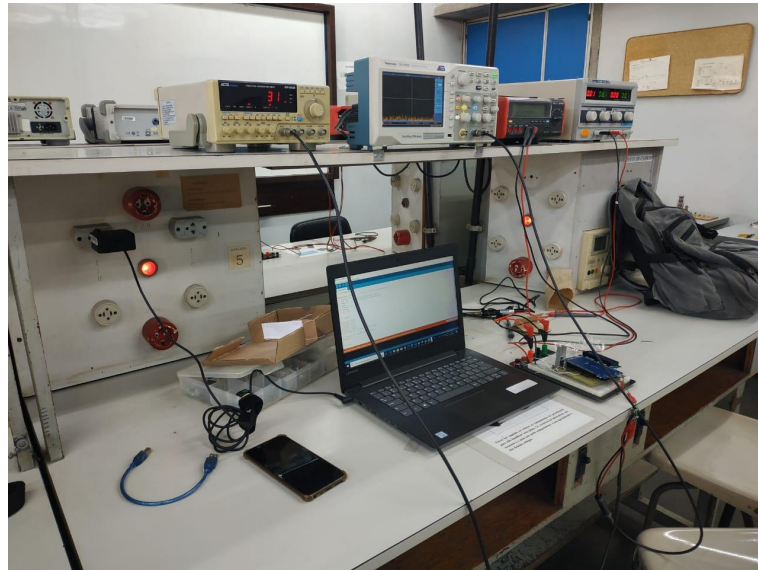
Fonte: os próprios autores.

Através desse teste pudemos avaliar o funcionamento do sensor conforme o previsto, permitindo obter a informação de nível baixo de combustível diretamente do display do protótipo.

10.1.2. Sensor de Nível de Bateria.

De forma a testar o funcionamento foi utilizada uma fonte CC ajustável e um multímetro digital. Foi ajustada a fonte de forma que a tensão vista pelo sensor varie entre 12V e 7V, devendo a tensão medida ser observada na tela do painel.

Figura 60 - Teste em Bancada do Sensor de Nível de Bateria



Fonte: Os próprios autores.

Figura 61 - Resultado do Teste do Sensor de Bateria junto ao Display



Fonte: Os próprios autores.

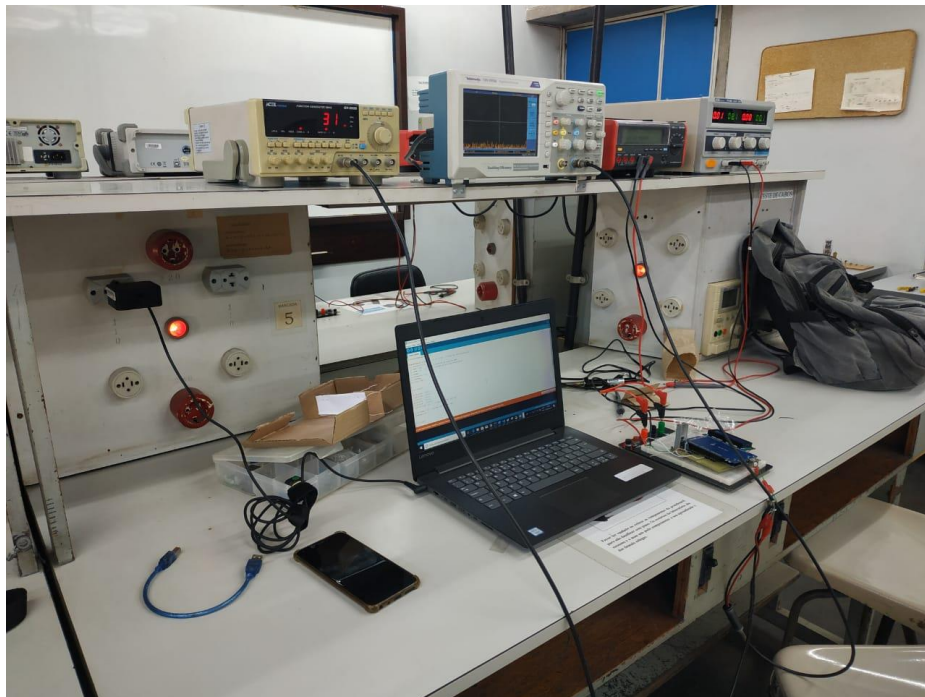
Conforme esperado, foi observado que a diferença entre as tensões observadas pelo multímetro e na tela do protótipo foi mínima, evidenciando o funcionamento dentro do esperado para o protótipo.

10.1.3. Sensor para Medição da Velocidade de Rotação do Motor

Para a validação do circuito foi elaborado um procedimento a ser realizado no laboratório de eletrônica. Dada a natureza do veículo, o tipo de sistema de ignição empregado e o limite de rotação máxima do motor, ocorre um pulso da bobina de ignição por rotação, tendo como frequência máxima 66,6 Hz.

Foi empregado um gerador de sinais ajustado para uma onda quadrada para simular a saída do primário da bobina de ignição e um osciloscópio para validar a frequência do sinal de entrada.

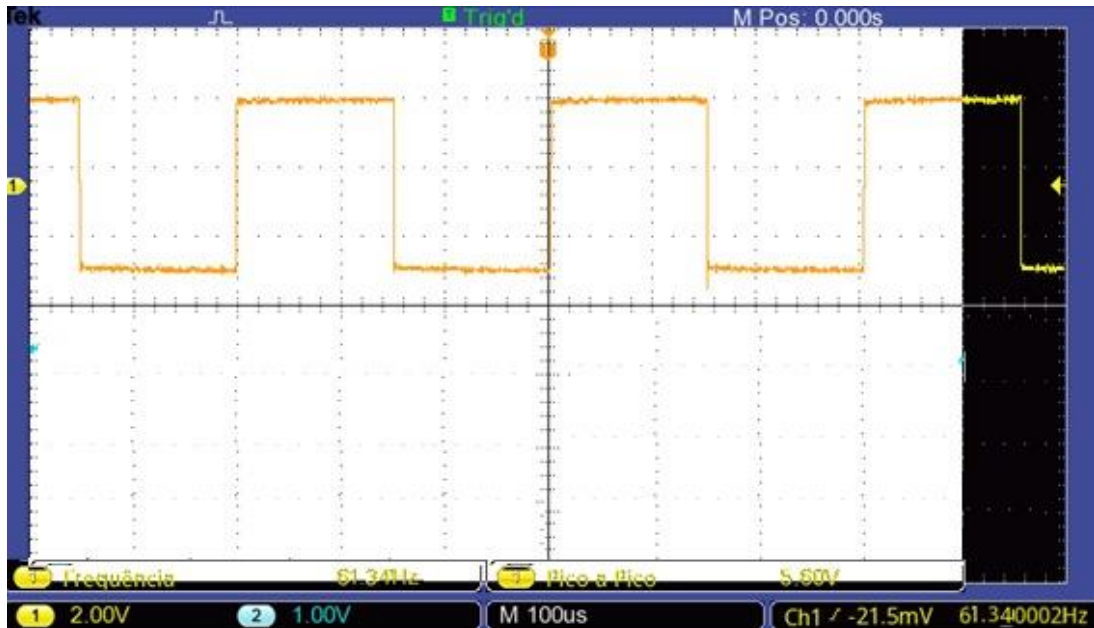
Figura 62 - Teste em Bancada do Sensor de Velocidade de Rotação do Motor



Fonte: Os próprios autores.

Foi realizada a excursão em frequência do sinal, entre 28,3Hz e 66Hz com passo de 3Hz, frequências que representam os extremos da excursão de rotação do motor.

Figura 63 - Imagem do Sinal de entrada no Osciloscópio



Fonte: os próprios autores

Foi montada a tabela comparativa abaixo entre a velocidade simulada pelo gerador de sinais e a velocidade observada na tela do protótipo.

Tabela 6 – Tabela Comparativa (Velocidade Protótipo x Velocidade do Motor).

Frequência gerador de sinais	Velocidade do motor simulada	Velocidade do motor medida pelo protótipo	erro
28,34	1700,4	1714	0,8%
31,34	1880,4	1937	3,0%
34,34	2060,4	2149	4,3%
37,34	2240,4	2218	-1,0%
40,34	2420,4	2403	-0,7%
43,34	2600,4	2668	2,6%
46,34	2780,4	2833	1,9%
49,34	2960,4	3052	3,1%
52,34	3140,4	3184	1,4%
55,34	3320,4	3393	2,2%
58,34	3500,4	3531	0,9%
61,34	3680,4	3706	0,7%
64,34	3860,4	3818	-1,1%
67,34	4040,4	3968	-1,8%

Fonte: Os próprios autores.

Podemos observar que a metodologia empregada atende as necessidades do projeto e apresenta precisão compatível com a aplicação no veículo Baja SAE apresentando erro máximo de 4,3%.

10.1.4. Sensor para Medição da Velocidade do Veículo

Para a validação do circuito foi elaborado um procedimento a ser realizado no laboratório da equipe *Quarter Mile* Baja SAE. Será posto o veículo em funcionamento suspenso por cavaletes, de forma a permitir que o eixo traseiro se movimente sem deslocar o veículo, e será medida a velocidade do eixo traseiro com o protótipo.

Foi posicionado o sensor próximo a engrenagem da redução final, de forma que as medições tomadas sejam referentes ao eixo de saída. A velocidade calculada foi exibida no painel do veículo, juntamente com as demais informações do veículo.

Figura 64 - Montagem do Sensor de Velocidade do Veículo



Fonte: os próprios autores

Figura 65 - Teste do Sensor de Velocidade do Veículo Mini Baja



Fonte: Os próprios autores.

Com bases nos testes pudemos observar o funcionamento do método proposto, apresentando comportamento conforme o esperado.

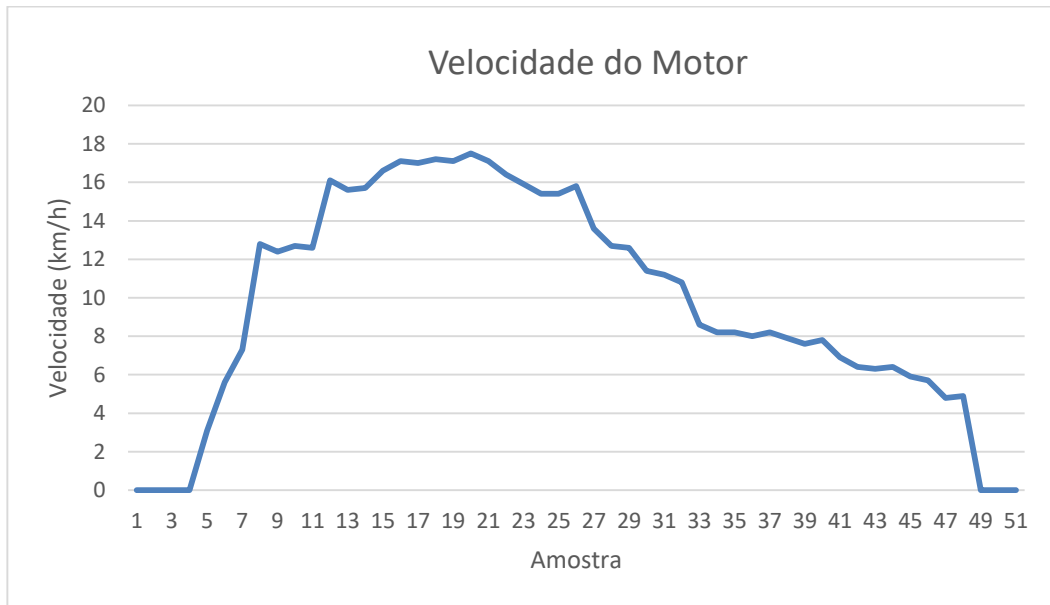
10.1.5. Análise dos dados obtidos e registrados no Cartão MicroSD

Complementando o sistema de instrumentação criado para o veículo *off-road* da equipe *Quarter Mile*, o projeto de graduação aqui realizado tinha como uma de suas principais propostas permitir a análise do veículo e de variáveis de grande importância para o futuro do projeto Baja na UERJ.

Os dados obtidos por cada sensor têm como finalidade servir como base de análises de desempenho automotivo, sendo de fácil manipulação pela equipe e garantindo que o veículo seja melhorado continuamente.

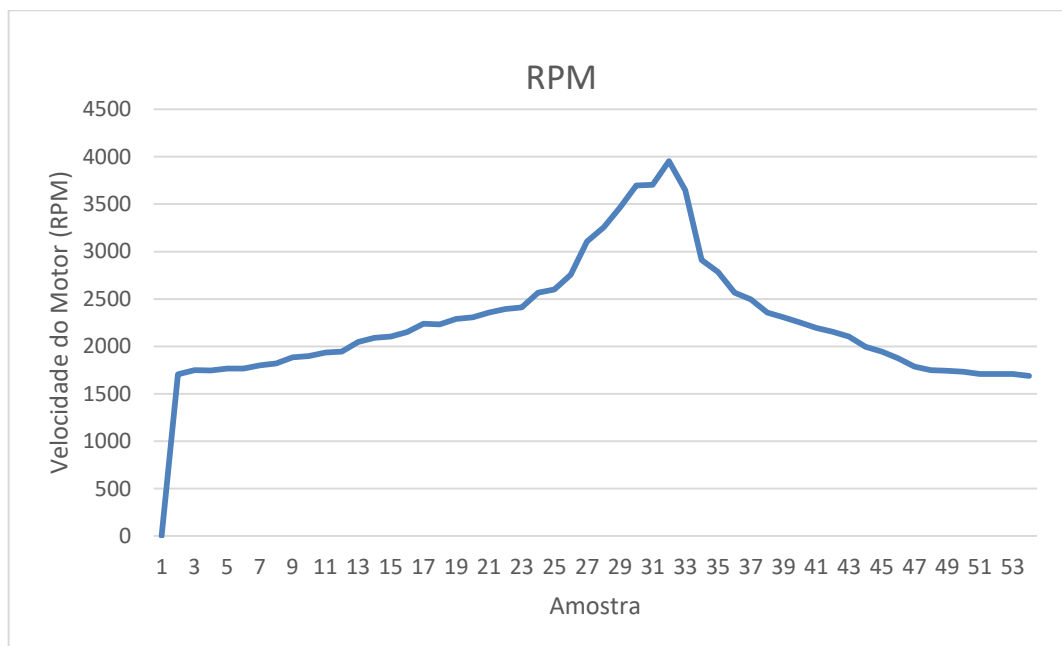
Com os testes citados acima foram gerados os arquivos “csv” que nos permitem a análise do veículo conforme gráficos abaixo realizados no Excel:

Figura 66 - Gráfico Velocidade do Motor - MicroSD



Fonte: os próprios autores.

Figura 67 - RPM - MicroSD



Fonte: os próprios autores.

Tais gráficos possibilitam analisar o comportamento do motor, da transmissão, forma de condução pelo piloto, permitindo levantar possíveis pontos de anomalia e melhorias, contribuindo bastante para que as evoluções do projeto sejam baseadas mais em dados coletados do que em observações empíricas.

11. CONCLUSÕES

11.1. Considerações Finais

Este trabalho relatou o projeto e desenvolvimento de um sistema de instrumentação embarcada para um veículo tipo Baja SAE da equipe “*Quarter Mile* UERJ”.

Os testes experimentais foram realizados com sucesso e os valores experimentais encontrados são coerentes se comparados aos valores esperados. Destacando-se o funcionamento de todos os sensores de forma individual e junto ao protótipo.

Objetivou-se com este projeto o estudo dos conceitos relacionados a instrumentação, eletrônica embarcada, microcontroladores e sua programação e a aquisição de dados por meio de sensores diversos.

Inicialmente, os circuitos esquemáticos foram simulados com o uso de software como Multisim e os programas foram desenvolvidos individualmente para cada aplicação com o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do Arduino, o que levou à montagem de protótipos de cada sensoramento em protoboard e após testes, ao projeto de circuito em uma placa única, com o emprego de conectores/soquetes que facilitem a substituição de componentes em caso de danos.

As ressalvas deste projeto ficam apenas pelo período de testes no automóvel que foram impossibilitados em sua grande maioria pois, devido ao calendário extenso de competições, o veículo encontrou-se em processo de prototipagem e manufatura por boa parte do ano, impossibilitando a realização periódica dos testes aqui discutidos.

Em suma, este trabalho mostrou o desenvolvimento de um sistema de instrumentação de bordo para um veículo tipo Baja SAE, a partir do qual foi possível estudar e pôr em prática conceitos valiosos de eletrônica embarcada, sensoramento e desenvolvimento de softwares para microcontroladores.

11.2. Propostas de Continuação do Projeto

Neste capítulo de encerramento serão discutidas algumas ideias de continuação do projeto em estudo, visando conforme objetivo inicial garantir a produção acadêmica dentro do campo de instrumentação automotiva de veículos *off-road* e promover a melhoria contínua do veículo da equipe *Quarter Mile*.

11.2.1. Medição de Temperaturas do Veículo

As medições de temperatura em veículos motorizados são realizadas quase inteiramente explorando a sensibilidade à variação de temperatura encontrada em materiais de resistência elétrica com um coeficiente de temperatura positivo (PTC) ou negativo (NTC) como termômetros de contato. A conversão da variação de resistência em tensão analógica é realizada predominantemente com o auxílio de resistores suplementares de temperatura neutra ou inversamente sensíveis como divisores de tensão (também proporcionando maior linearidade).

O monitoramento da temperatura de operação dos componentes do veículo é de vital importância para garantir o bom funcionamento e longevidade dos mesmos.

O motor utilizado no veículo *baja* é do tipo refrigerado a ar, dependendo da circulação do ar sob as partes quentes para refrigeração do mesmo.

Segundo (COBENGE, 2006), cabe ao piloto do veículo a avaliação do regime de trabalho e nível de esforço mecânico a qual o motor está submetido, tendo como indicador a temperatura do mesmo.

A transmissão CVT utilizada no veículo é constituída de duas polias interligadas através de uma correia polimérica. O rendimento da transmissão está diretamente relacionado com a temperatura, devido à grande variação do coeficiente de atrito da correia em função da temperatura. Logo, também é necessário o acompanhamento de sua temperatura de funcionamento.

Para ambos os casos, o sensor a ser utilizado deve suficientemente robusto, resistindo ao uso severo da aplicação em um veículo *off-road*, possuir resolução e extensão adequadas e ter boa disponibilidade no mercado para eventual necessidade de substituição.

Visando ampliar a gama da instrumentação criada para o veículo do *Baja* da equipe *Quarter Mile* UERJ, foram analisadas (sem realizar a prototipagem) a modelagem de sensores para medição da temperatura do motor e correia da CVT.

Para aferição da temperatura do motor, foram analisados os sensores LM35, DS18B20, Termistores NTC e PTC e o conjunto do Termopar Tipo K acoplado ao CI MAX6675, comparando as características de precisão de medição, sinal de saída, resistência mecânica e custo, de forma a obter o mais adequado a cada aplicação.

Figura 68 - NTC 10 K – DS18B20 – LM35 – Termopar TIPO K

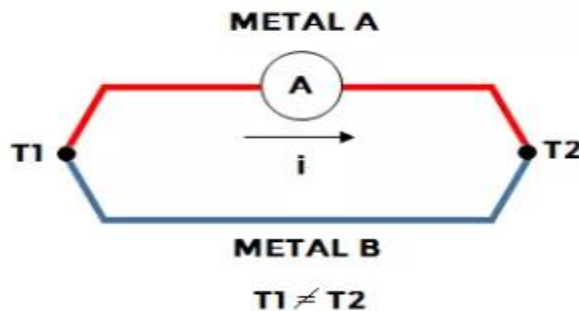


Fonte: os próprios autores.

Dentre as opções analisadas e levando em consideração as características apontadas como principais para a escolha do sensor tido como ideal, é sugerido a opção pelo conjunto Termopar Tipo K, pois além de tudo sua simplicidade inerente os torna resistentes a choques e vibrações (maior robustez).

Um termopar é um dispositivo elétrico formado por dois materiais metálicos diferentes que quando uma de suas extremidades está unida forma-se uma conexão ou junta que gera uma pequena tensão devido a variação de temperatura. Esses níveis de tensão serão interpretados para representar temperaturas obedecendo ao princípio do efeito termoelétrico descoberto por Thomas Seebeck em 1821.

Figura 69 - Princípio de Funcionamento Termopar K



Fonte: os próprios autores.

Termopar tipo K é um termopar de uso genérico. Tem um baixo custo e, devido à sua popularidade estão disponíveis variadas sondas. Cobrem temperaturas entre os -200 e os 1200 °C, tendo uma sensibilidade de aproximadamente $41\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

O nível de tensão gerada pelo termopar tipo K é extremamente baixo, na ordem de $41\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, logo para medirmos o sinal de um termopar utilizando um microcontrolador será necessário o acoplamento a um sistema composto por um amplificador operacional de instrumentação com alto ganho, um sensor de temperatura para medição da junta fria, um circuito para filtrar ruídos e de preferência um conversor analógico-digital de alta resolução.

Devido a isso, é sugerido por acoplá-lo ao circuito integrado MAX6675 da Maxim Integrated, que possui um conversor AD de 12 bits de resolução, um sensor para compensação de junta fria, um controlador digital e a saída dos dados de temperatura já convertidos via protocolo SPI para conexão a qualquer tipo de microcontrolador (tal como o já existente da placa de instrumentação).

Os demais sensores analisados esbarram em características tidas como cruciais para adequação as condições de operação de um veículo *off-road*

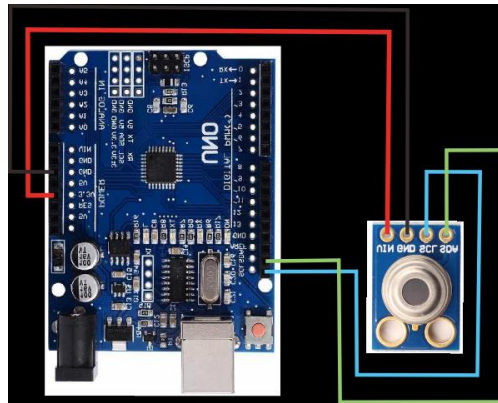
O sensor DS18B20 apresenta range de temperatura de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, o que o descaracteriza mediante a temperatura de operação do motor do veículo do Baja, que pode alcançar valores superiores ao seu limitante positivo segundo testes já realizados pela equipe.

Os sensores do tipo NTC e PTC, apesar de operarem na faixa de temperatura compreendida entre -200°C a $+1000^{\circ}\text{C}$ (com os NTC possuindo estabilidade na faixa compreendida entre -50°C até 150°C), tem suas escolhas descartadas devido a suas especificidades de atuação. Os sensores do tipo NTC possuem uma incrível sensibilidade ao aumento de temperatura, esta característica apresenta uma desvantagem direta, pois devido à alta sensibilidade de sua curva de temperatura a mesma acaba se tornando não linear, apresentando um comportamento exponencial. Esta desvantagem causa a necessidade de um circuito que aproxime a curva exponencial de uma curva linear com fatores de correção. Por sua vez os sensores do tipo PTC apresentam a característica de, somente a partir de certa temperatura (ponto de transição) apresentarem variação em sua resistência.

Por último, devido a maior robustez do Termopar K em contrapartida a sensibilidade do sensor LM35, é sugerido seguir com o Termopar acoplado ao CI MAX 6675. Ressalta-se que o uso do LM35 apresentaria menor complexidade ao sistema, porém a exibição digital do sinal faz com que seja preferível seguir mesmo com o sensor escolhido.

O sensor de temperatura sugerido para a medição na correia polimérica da transmissão CVT é o MLX90614. Diferentemente das demais áreas de temperatura, a transmissão CVT utilizada no veículo é constituída de duas polias interligadas através de uma correia polimérica, sendo necessário o uso de um sensor não invasivo pois não é possível o contato direto para obtenção da temperatura como nos demais pontos medidos. O Sensor de Temperatura infravermelho MLX90614 já vem calibrado de fábrica e detecta temperaturas entre -40 e 125°C , com precisão de $0,5^{\circ}\text{C}$, possuindo ainda vários modos de calibração configuráveis pelo usuário.

Figura 70 - Circuito ligação MXL90614



11.2.2. Obtenção de Dados por Telemetria

Como complemento a captura e armazenamento dos dados do veículo, a construção de um sistema de telemetria forneceria à equipe uma ferramenta para avaliar o desempenho do veículo, podendo a mesma informar o piloto sobre como melhorar o seu desempenho e obter melhores resultados nas diversas provas de uma competição.

Se valendo de comunicação de dados via rádio frequência de forma contínua com um computador a disposição da equipe, permitiria uma melhor adequação da estratégia para cada prova e detecção de possíveis falhas de forma antecipada, podendo evitar maiores danos ao veículo.

Para tal funcionalidade poderia ser empregado um conjunto de módulos de transmissão e recepção RF 433Mhz, sendo uma opção amplamente empregada para aquisições de dados com microcontroladores. Nesse modulo a comunicação é unidirecional, isto é, os dados são enviados pelo transmissor e recebidos pelo receptor. O tipo de modulação da portadora de Rádio frequência empregado no modulo é o ASK (*amplitude shift keying*), modulação por chaveamento de amplitude.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

4N25 Datasheet (HTML) - Motorola, Inc. Disponível em
<<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/2846/MOTOROLA/4N25.html>> Acesso em:
10 mai. 2019.

ARCOVERDE, Caio Chelli. **Projeto de um Extrusor de Plástico para impressora 3D**. 2014.
Trabalho de conclusão de curso - Universidade estadual de campinas, Campinas, 2014.

DRUNN, Jonathan. **Estudo e desenvolvimento de um sistema de transmissão automatizada para um veículo de competição baja sae**. 2018. Trabalho de conclusão de curso –
Universidade regional do noroeste do estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2018.

FIALHO, Arivaldo Bustamante. **Instrumentação Industrial: conceitos, aplicações e análises**. 7a ed. SÃO PAULO: ÉRICA, 2010.

HP Ferreira, **Force Measurement**, NRCS Legal Metrology Division, 2009.

Interfacing LCD to Arduino – Display text and characters on lcd screen using arduino
Disponível em: <<http://www.circuitstoday.com/interfacing-lcd-to-arduino>>. Acesso em: 10
mai. 2019.

Goundar J. A. "**Mechatronic design solution for fuel level monitoring using pressure sensor**," Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering, Nadi, 2014, pp.
1-8. doi: 10.1109/APWCCSE.2014.7053857

FLEMING, J. William. (2008). **New Automotive Sensors—A Review**. Sensors Journal, IEEE.
8. 1900 - 1921. 10.1109/JSEN.2008.2006452.

Liquid Crystal Library. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Reference/LiquidCrystal>>.
Acesso em: 12 abr. 2019

M. Ishihara, M. Shiina, S. Suzuki, “**Evaluation of Method of Measuring Distance Between**

Object and Walls Using Ultrasonic Sensors”, Journal of Asian Electric Vehicles, Volume 7, Number 1, June 2009

MOREIRA, Gustavo Leão. **Sistema de Telemetria e Painel de Informações para Veículos de Competição.** 2011. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

N. Anju Latha, B. Rama Murthy, K. Bharat Kumar. **Distance Sensing with Ultrasonic Sensor and Arduino** (Department of Instrumentation, Sri Krishnadevaraya University, Anantapur, A.P., India)

SD Standard Overview. Disponível em:

< <https://www.sdcard.org/developers/overview/index.html>> Acesso em: 22 abr. 2019

SPI library. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/reference/SPI>>. Acesso em: 2 jun. 2019.

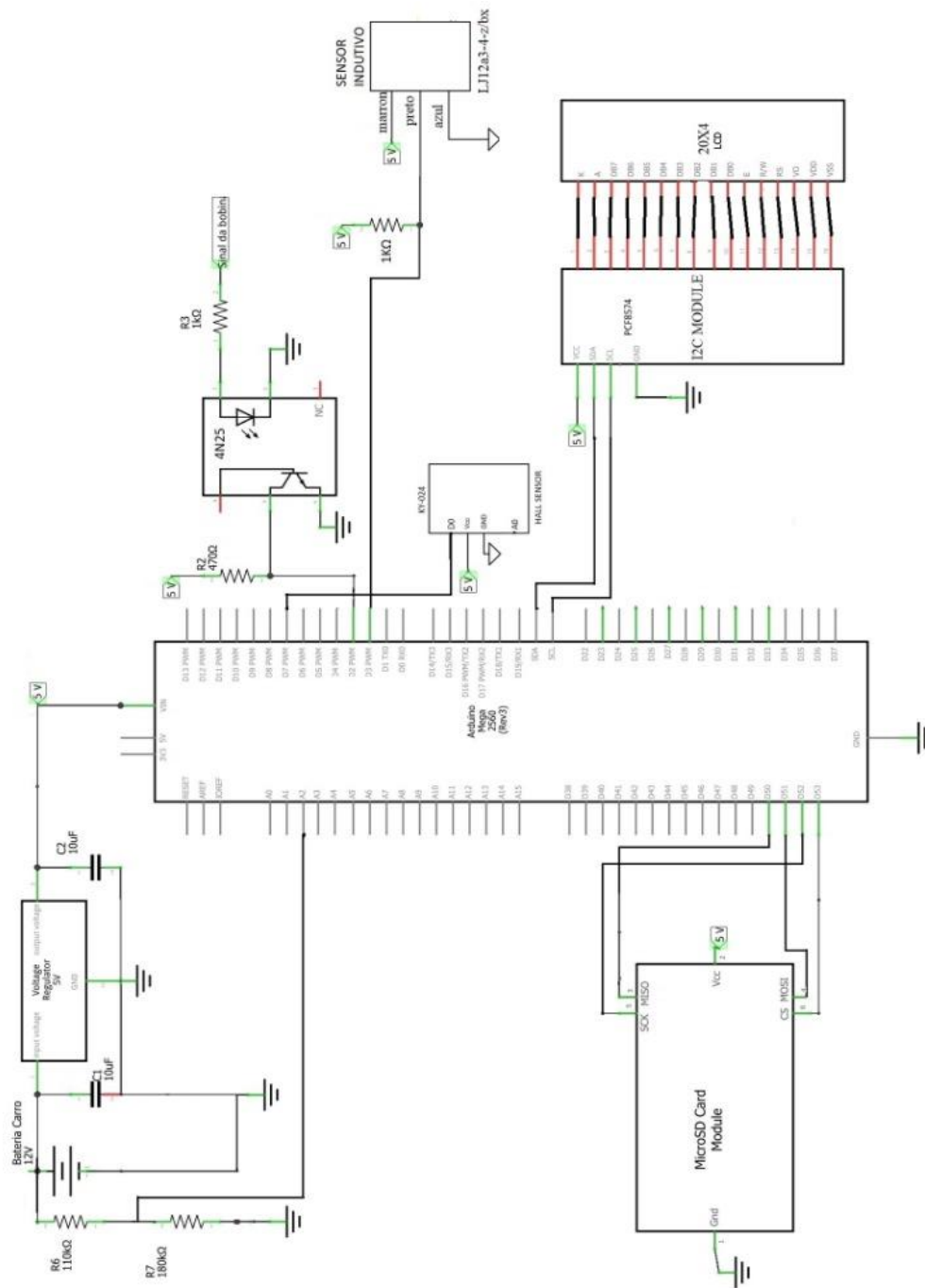
SUBRAMANIAN, Chamakuzhi. (2012). **Measurement and Management of Fuel System of Aero- Engines of Modern Aircraft.**

T. V. Gonçalves Pereira Araújo, J. M. Ramos de S. Neto, L. G. Martins Vale e A. M. Nogueira Lima, “**Projeto Mini Baja como estudo de caso para Instrumentação Eletrônica,**” COBENGE, pp. 1776-1789, Setembro 2006.

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.

APÊNDICE 1: Layout Esquemático do Sistema Completo.



APÊNDICE 2: Programa do Painel.

```

#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <SdFat.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
int digitalPin = 7; // sensor magnetico Hall combustivel
int voltagepin = A2; // leitura da tensão bateria
float voltage =0;
int digitalVal ;
const byte interruptpinrpm = 2;// pulso da bobina
const byte interruptpinspeed = 3;// sensor de velocidade indutivo
long T3;
long T2;
long T1;
long T0;
int Contrpm = 0;
int Contspeed = 0;
int Rpm = 0;
int vel = 0;
int pinCS = 53;
char filename[] = "Temp000.CSV";
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE);
SdFat SD;
File;

void setup()
{
  lcd.begin (20,4);
  SD.begin();
  for(unsigned int i = 0; i < 1000; i++)
  {
    filename[4] = i/100 + '0';
  }
}

```

```

filename[5] = ((i% 100)/10) + '0';
filename[6] = i% 10 + '0';
if(! SD.exists(filename))
{
file = SD.open(filename, FILE_WRITE);
break;
}
}
file = SD.open(filename, FILE_WRITE);

// verifica espaço disponível no cartão sd
uint32_t freeKB = SD.vol()->freeClusterCount();
freeKB *= SD.vol()->blocksPerCluster()/2;
uint32_t freeMB= freeKB/1024;
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("espaco MB:");
lcd.setCursor(0,10);
lcd.print(freeMB);
delay(1000);
if(freeKB <= 500)
{
lcd.setCursor(1,0);
lcd.print("pouco armazenamento");
delay(1000);
}
pinMode(pinCS,OUTPUT);
float sensorVals[] = {0};
pinMode (digitalPin, INPUT);
pinMode(interruptpinrpm,INPUT_PULLUP);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptpinrpm),RPM,FALLING);
pinMode(interruptpinspeed,INPUT_PULLUP);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptpinspeed),SPEED,FALLING);
lcd.clear();

```

```
lcd.print("Quarter Mile");  
delay(1000);  
lcd.clear();  
}
```

```
void LogToSDcard()  
{  
  file = SD.open(filename, FILE_WRITE);  
  if (file)  
  {  
    file.print(Rpm);  
    file.println(",");  
    file.print(vel);  
    file.println(",");  
    file.print(voltage);  
    file.println(",");  
    file.print(digitalVal);  
    file.close();  
  }  
}
```

```
void RPM ()  
{  
  Contrpm ++;  
}
```

```
void SPEED ()  
{  
  Contspeed ++;  
}
```

```
void loop ()  
{
```

```

lcd.setCursor(0,0);

// leitura rpm
unsigned long currentMillis = millis();
T0 = millis();
if (Contrpm >= 10)
{
  detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptpinrpm));
  T1 = millis();
  Rpm = ((Contrpm/(T1-T0))*120000);
  Rpm = round(Rpm);
  Contrpm = 0;
  T0= millis();
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptpinrpm), RPM,FALLING);
}
lcd.print("RPM:");
lcd.setCursor(5,0);
lcd.print(Rpm);

// leitura velocidade
unsigned long currentMillis2 = millis();
T2 = millis();
if (Contspeed >= 10)
{
  detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptpinspeed));
  T3 = millis();
  vel = (Contspeed/(T3-T2));
  vel = (vel*(1.755/41)*3600);
  vel = round(vel);
  Contspeed = 0;
  T2= millis();
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(interruptpinspeed),SPEED,FALLING);
}

```

```
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(vel);
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print("KM/H");

// leitura bateria
voltage = analogRead(voltagepin);
voltage = (voltage * (280/100) );
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("V:");
lcd.setCursor(3,2);
lcd.print(voltage);

// leitura Combustivel
digitalVal = digitalRead(digitalPin) ;
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("combustivel baixo");
if (digitalVal == HIGH)
{
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("combustivel baixo");
}
if (digitalVal == LOW)
{
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("          ");
  Serial.print(digitalVal);
}
LogToSDcard();
}
```

APÊNDICE 3: Custos do Protótipo.

Esse apêndice apresenta os custos estimados para a realização da prototipagem do sistema de medição para a equipe *Quarter Mile* da UERJ.

Item	custo
Arduino Mega 2560	R\$ 70,00
Sensor indutivo LJ12A3-4-Z/BY	R\$ 25,00
Sensor Magnético KY-024	R\$ 14,90
Tela lcd 20x4	R\$ 28,00
Modulo lcd i2c	R\$ 13,00
modulo sd	R\$ 15,00
regulador de tensão 7805 + dissipador	R\$ 20,00
placa 10x10	R\$ 10,00
fios,resistores capacitores,soquetes,etc	R\$ 30,00
Total	R\$ 225,90

Foram extirpados desse cálculo a utilização de HH remunerados dos membros autores deste projeto.

APÊNDICE 4: Procedimento de Teste

Teste 1 – Ultrassom

Este informativo técnico tem como objetivo definir o procedimento de teste de sensor de ultrassom para aplicação de medição de distância.

Procedimento:

Realizar a montagem do sistema de medição e sensor(ex: arduino + sensor), posicionando o alvo a uma distância mínima de 15 cm do sensor.

Deslocar o alvo em direção ao sensor com passo de 1 cm, validando a distância com emprego de uma régua e realizando a leitura da distância através do sistema montado.

Preencher a tabela abaixo com o resultado de cada medição, calculando o erro percentual a cada medida.

Obs:

Para testar capacidade de lidar com obstáculos entre o alvo e o sensor, posicionar um obstáculo de pequena espessura(ex: folha de papel) juntamente a face do sensor e repetir o procedimento de teste.

Distância Real	Distância medida	Erro %

Teste 2: Sensores Magnéticos

Este informativo técnico tem como objetivo definir o procedimento de teste de sensor magnético linear para aplicação de medição de distância.

Procedimento:

Realizar a montagem do sistema de medição e sensor (ex: arduino + sensor), posicionando o elemento magnético a uma distância mínima de 15 cm do sensor.

Deslocar o alvo em direção ao sensor com passo de 1 cm, validando a distância com emprego de uma régua e realizando a leitura da intensidade magnética e detecção através do sistema montado.

Preencher a tabela abaixo com o resultado de cada medição.

