Juntos pela *inovação.*

PRÊMIO **inventor** **PETROBRAS** 2025

CERTIFICADO

BRUNO LUIS SCHUTZ

Reconhecemos sua capacidade de inovação no desenvolvimento da invenção ***DISPOSITIVO E SISTEMA PARA MARCAÇÃO DE DEFEITOS EM ESTRUTURAS COM BASE EM IMAGENS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS,*** *que resultou em depósito de pedido de patente pela Petrobras.*

Rio de Janeiro, 19 de agosto de 2025.

Lilian Melo Barreto
Gerente Executiva do Cenpes

BR PETROBRAS

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTACATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETÔNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL

BRUNO LUIS SCHUTZ

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TELEMETRIA PARA UM PROTÓTIPO DE FÓRMULA SAE

FLORIANÓPOLIS, 2023.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTACATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETÔNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL

BRUNO LUIS SCHUTZ

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TELEMETRIA PARA UM PROTÓTIPO DE FÓRMULA SAE

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Industrial.

Orientador:
Prof.Pedro Giassi Júnior, Dr.

FLORIANÓPOLIS, 2023.

PÁGINA PARA COLOCAÇÃO
DA FICHA DE IDENTIFICAÇÃO DA OBRA

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Schutz, Bruno Luis
Desenvolvimento de um sistema de telemetria para um protótipo de Fórmula SAE / Bruno Luis Schutz; orientação **de Pedro Giassi Júnior. – Florianópolis, SC,** 2023.
105 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. CST **em Eletrônica Industrial.** Departamento Acadêmico de Eletrônica.
Inclui Referências.

1. Telemetria. 2. Aquisição de dados. 3. Fórmula **SAE. 4. Comunicação de Dados. I. Júnior, Pedro** Giassi. **II. Instituto Federal de Santa Catarina. III.** Desenvolvimento **de um sistema de telemetria para** um protótipo de Fórmula SAE.

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TELEMETRIA PARA UM PROTÓTIPO DE FÓRMULA SAE

BRUNO LUIS SCHUTZ

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Industrial e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Tecnologia em Eletrônica Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 05 de julho, 2023.

Banca Examinadora:

IFSC
Documento assinado digitalmente
PEDRO GIASSI JUNIOR
Data: 06/08/2023 23:16:00-0300
CPF: 219.227.438-60
Verifique as assinaturas em https://v.ifsc.edu.br

Pedro Giassi Júnior, Dr

gov.br
Documento assinado digitalmente
DANIEL LOHMANN
Data: 07/08/2023 18:19:15-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Daniel Lohmann, Me.
IFSC

IFSC
Documento assinado digitalmente
MURIEL BITTENCOURT DE LIZ
Data: 07/08/2023 18:05:16-0300
CPF: 892.994.699-20
Verifique as assinaturas em https://v.ifsc.edu.br

Muriel Bittencourt de Liz, Dr.
IFSC

Dedico este trabalho à equipe ATLAS E-racing.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, e pela sabedoria, a minha família pelo apoio, carinho e amor. Em especial a minha mãe Rosi e minha irmã Ana Carolina que compartilharam comigo todos os meus dias de vida acadêmica.

Agradeço a todo corpo docente do IFSC em especial aos meus orientadores, Professor Samir Bonho, que mesmo sem termos tido contato prévio aceitou na primeira etapa de desenvolvimento me orientar e acompanhar neste último desafio da graduação. Ao Professor Pedro Giassi que me acompanhou e me orientou até o final deste processo, ao Professor Robinson Pizzio, que foi meu professor, meu orientador de pesquisa e um grande aconselhador durante este processo, incentivando-me a realizar meu intercâmbio e também à Professora Cláudia, pelas orientações na escrita deste trabalho.

Agradeço ainda aos meus colegas de Atlas E-racing, amigos, parceiros de oficina, de estudos e de bons momentos. Em especial a (em ordem alfabética): João Calazans, João P. P. Pereira, José Francisco, Marcelo Viani, Vilian Nicoladeli, Rafael Aquino.

Aos meus amigos de curso, estendo a gratidão por de alguma forma contribuíram para que eu pudesse chegar ao êxito nesta caminhada (em ordem alfabética): Bernardo Maraschin, Gabriel Mees, Henrique Veleda, Letícia Matos, Pedro Maylon, Rafael Horn, Victoria Fabris.

E ao amigo Ygor Carrer, que o estágio me deu, que teve também importante contribuição na minha trajetória acadêmica.

Aos meus amigos de vida Daniel Fraga, Eduardo Ballmann, Leonardo Beche, Lucas Garcia, Gabriel Victor, Marcos Scheidt e Tiago Ballmann.

"Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista".
(Aldo Novak)

RESUMO

Este trabalho aborda o desenvolvimento de um sistema eletrônico de telemetria destinado a atuar em um veículo protótipo de competição Fórmula SAE da equipe ATLAS E-racing do IFSC. Seu papel consiste em realizar medições de velocidade, temperatura, posicionamento, rotação do motor e intensidade de frenagem, armazenar e disponibilizar essas medidas ao piloto e à equipe em tempo real, usando dispositivos de comunicação sem fio. O sistema eletrônico microcontrolado projetado foi programado para interagir com sensores, um módulo Xbee S2 Pro, um Display LCD e um cartão de armazenamento permanente de dados de maneira a implementar as funcionalidades desejadas pela equipe de competição. Testes de bancada realizados com os dispositivos propostos comprovaram as funcionalidades desejadas, apesar de algumas limitações encontradas no alcance da comunicação sem fio, com o dispositivo perdendo comunicação em momentos em que ocorre o bloqueio visual entre os módulos. Apesar disto, conclui-se obter um sistema de telemetria capaz de disponibilizar informações que auxiliam o desenvolvimento da equipe.

Palavras-chave: Telemetria, Aquisição de dados, Fórmula SAE, Comunicação de Dados.

ABSTRACT

This work addresses the development of an electronic telemetry system designed to operate in a prototype racing vehicle of the ATLAS E-racing team from IFSC's Formula SAE competition. Its role is to measure speed, temperature, position, engine rotation, and braking intensity, store and provide these measurements to the driver and the team in real time using wireless communication devices.
The designed microcontroller-based electronic system was programmed to interact with sensors, an Xbee S2 Pro module, an LCD display, and a permanent data storage card in order to implement the desired functionalities for the competition team. Bench tests conducted with the proposed devices confirmed the desired functionalities, although some limitations were found in the wireless communication range, with the device losing communication when there is visual obstruction between the modules. Nevertheless, it is concluded that a telemetry system capable of providing information that assists the team's development has been achieved.

Keywords: Telemetry, Data Acquisition, SAE Formula, Data Communication.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - AER24 23
Figura 2 - Display utilizado 24
Figura 3 - Tela aplicada 25
Figura 4 - BRM 1969 26
Figura 5 - Arquitetura interna de um Microcontrolador 29
Figura 6 - Evolução das linguagens de programação 30
Figura 7 - Comparativo de sintaxes 31
Figura 8 - Sinais do protocolo SPI 33
Figura 9 - Conexões do protocolo SPI 34
Figura 10 - Conexões do protocolo I2C 35
Figura 11 - Quadro de uma mensagem I2C 36
Figura 12 - Exemplo de barramento One Wire 37
Figura 13 - Estrutura de um endereço One Wire 37
Figura 14 – Pirâmide organizacional de memórias 38
Figura 15 - SD Card 39
Figura 16 - Alguns modelos de sensores de temperatura 43
Figura 17 - Diagrama Funcional 48
Figura 18 - Vista superior do Autódromo ECPA 49
Figura 19 - Módulo Neo 6M -V2 54
Figura 20 - Conexões do teste do módulo GPS 55
Figura 21 - Resultado prova de conceito GPS 55
Figura 22 - Localização obtida via prova de conceito 56
Figura 23 - ilustração do funcionamento do sensor Hall 57
Figura 24 - Conexões do teste do sensor Hall 58
Figura 25 - Estrutura de Teste do Sensor Hall 59
Figura 26 - Resultado do teste do Sensor Hall 60
Figura 27 - Sensor Resistivo 62
Figura 28 -Conexões do teste do sensor analógico 63
Figura 29 - Resultado do teste do Sensor de Frenagem 64
Figura 30 - Conexões do teste do sensor de temperatura 66
Figura 31 - Prova de conceito dos sensores DS18B20 66
Figura 32 - Resultado do teste de integração 67
Figura 33 - Módulo Xbee S2 Pro 69

Figura 34 - Mapa de pinos do Xbee S2 Pro 70
Figura 35 - Representação do fluxo de envio dos dados 71
Figura 36 - Local de testes do módulo Xbee 72
Figura 37 - Plataforma XCTU 73
Figura 38 - Dispositivo Localizado 74
Figura 39 - Parâmetros do Range Test 75
Figura 40 - Módulo SD Card 77
Figura 41 - Diagrama de portas do ATMEGA328P 78
Figura 42 - Diagrama Arquitetural 80
Figura 43 - Tela inicial da IDE do Arduíno 81
Figura 44 - Fluxo de envio de informações 83
Figura 45 - Ambiente de testes 84
Figura 46 - Plataforma desenvolvida 85
Figura 47 - Plataforma em funcionamento 86
Figura 48 - LOG dos pacotes via XCTU 88
Figura 49 - LOG em csv 89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dispositivos de transmissão 68
Quadro 2 - Resultados dos pacotes enviados 76
Quadro 3 - Estrutura do vetor de variáveis do projeto 82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sinais de uma comunicação SPI 32
Tabela 2 - Exemplo de tabela comparativa 51
Tabela 3- Tabela comparativa de módulos de GPS 53
Tabela 4 - Características do Módulo GPS 54
Tabela 5 - Tabela comparativa de sensores de temperatura 65
Tabela 6 - Tabela de custos 91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	Analog-to-digital Converter(Conversor Analógico -digital)
ANSI	American National Standards Institute
CAN	Controller Area Network
EV	Eletrical Vehicle(Veiculo Elétrico)
F1	Fórmula 1
F2	Fórmula 2
FPGA	Field Programable Gate Array
GB	Giga Byte
GHz	Giga Hertz
GP	Grande Prêmio
GPS	Global Position System
I2C	Inter Integrated Circuit (Circuito Interintegrado)
IDE	Integrated Development Environment
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
IoT	Internet of Things (Internet das Coisas)
ISM	Industrial Scientific And Medical
LCD	Liquid Crystal Display
LPDE	Laboratório de pesquisa e desenvolvimento em eletrônica
m	Metros

NMAE	National Marine Eletronics Association
PWM	Pulse Width Modulation
RF	Radio Frequencia
RISC	Reduced Instruction Set Computer
SAE	Society of Automotive Engineer
SPI	Serial Peripheral Interface
TI	Tecnologia da Informação
USAC	United States Auto Club
VLC	Visible light communication (Comunicação de luz visível)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17
1.1 Justificativa 19
1.2 Definição do Problema 19
1.3 Objetivo Geral 20
1.4 Objetivos Específicos 20
1.5 Estrutura do Trabalho 20

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 22
2.1 Fórmula SAE 22
2.1.1 ATLAS E-racing 23
2.2 Análise de dados no Motorsport 25
2.3 Telemetria 27
2.4 Microcontroladores 27
2.5 Linguagem C 30
2.6 Protocolos de comunicação 31
2.6.1 SPI 32
2.6.2 I2C 34
2.6.3 One Wire 36
2.7 Eletrônica Embarcada no projeto 38
2.7.1 Armazenamento de dados 38
2.7.1.1 SD Card 39
2.7.2 Sistema GPS 40
2.7.3 Velocidade 41
2.7.4 Rotação do Motor 41
2.7.5 Temperatura 42
2.7.6 Comunicação sem fio 43
2.8 Firmware 44
2.9 Trabalhos relacionados 45

3 METODOLOGIA 47
3.1 Métodos aplicados 47
3.2 Desenvolvimento da plataforma e integração dos dispositivos 48
3.3 Escolha dos dispositivos 50
3.4 Teste dos dispositivos 51

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS 52
4.1 Resultados preliminares 52
4.1.1 Unidades de sensoriamento 52
4.1.1.1 Medição da Geolocalização 53
4.1.1.2 Medição da Velocidade e das Rotações do motor 57
4.1.1.3 Medição da Intensidade de Frenagem 62
4.1.1.4 Medição da Temperatura dos Pneus 65
4.1.1.5 Teste de Integralização 67
4.1.2 Módulo de comunicação sem fio 68
4.1.3 Módulo de armazenamento 76
4.1.4 Microcontrolador 78
4.1.5 Estrutura final 80
4.1.6 Estrutura de Software 80
4.2 Resultados do sistema 83

4.2.1 Resultados da plataforma 83
4.2.2 Validação dos dados 88
4.3 Discussão dos resultados 90
4.3.1 Análise de custos 91
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 92
5.1 Sugestões para trabalhos futuros 94
REFERÊNCIAS 94
APÊNDICES 100
APÊNDICE A – Fluxograma de execução geral do sistema de telemetria 100
APÊNDICE B – Fluxograma do microcontrolador para aquisição de dados do sensor Hall 101
APÊNDICE C – Fluxograma do microcontrolador para aquisição de dados do sensor de Temperatura 102
APÊNDICE D – Fluxograma do microcontrolador para a leitura de dados a partir módulo de GPS 103
APÊNDICE E – Fluxograma do microcontrolador para de aquisição de dados analógicos 104

1 INTRODUÇÃO

A Fórmula SAE (*Society of Automotive Engineer*) teve início nos Estados Unidos, em 1981, e é motivada pelas grandes fabricantes de veículos do país. Ela visava substituir a competição *Mini-Indy* (Competição de monopostos organizada pela USAC (*United States Auto Club*) que aconteceu nos Estados Unidos) e foi impulsionada pela carência de engenheiros voltados à atuação em veículos de alto desempenho. Desde então, a competição tem se difundido globalmente, atraindo um número crescente de equipes a cada edição. (SAE BRASIL, 2022).

Já no Brasil, a Fórmula SAE BRASIL tem como propósito propiciar aos estudantes de Engenharia (elétrica, eletrônica, mecânica etc.) a oportunidade de aplicar na prática os conhecimentos adquiridos durante o curso de graduação, desenvolvendo um projeto completo e construindo um carro para competição (SAE BRASIL, 2022). Desde o surgimento das primeiras competições de esporte, independente da modalidade, houve uma constante busca pelo melhor desempenho dos atletas. Categorias desportistas utilizam dados coletados, sejam eles métricas como números de cestas, rebotes defensivos e roubadas de bola, no caso do basquetebol, até dados coletados em veículos utilizados no automobilismo, como, por exemplo, nas corridas de carros, motos, caminhões etc.

Com o avanço da eletrônica embarcada, a telemetria que, segundo Mattos (2004, p. 6), significa " realizar medições à distância ou em local remoto”, tem se tornado cada vez melhor e mais importante para as equipes de competição. A partir dela, pode-se, por exemplo, visualizar e entender as consequências de cada ação tomada por um piloto em um veículo de competição. Segundo Cataldi (2018), a tecnologia presente nos carros de Fórmula 1 é tão avançada que os pilotos não fazem nem mesmo uma curva sem saber previamente de todas as informações possíveis: o quanto acelerar, onde pisar no freio, a forma como se deve virar o volante, em que ponto exatamente encostar na zebra, entre outros. Comprovação disso pode ser vista no depoimento de Sérgio Sette Câmara, automobilista brasileiro ao site *Start*, no GP de F2 de *Sakhir*, em 2018,: "Se eu disser que na curva 4, lenta, aqui no Circuito de *Sakhir*, o meu carro está saindo de frente, ou seja, viro o volante e a frente do carro segue em frente, não entra na curva, portanto estou perdendo

tempo, o meu engenheiro pode facilmente comprovar a veracidade ou não." (ORICCHIO, 2018).

Como visto, o sistema de telemetria em um ambiente de competição é de extrema importância nas mais variadas disputas. Isso não é diferente no cenário da Fórmula SAE, no qual a leitura das informações auxilia no monitoramento da vida útil dos componentes internos do veículo, como também no desempenho dos pilotos, o que proporciona até mesmo realizar comparativos de desempenho de dois ou mais pilotos em um determinado trecho de circuito, enriquecendo as reuniões da equipe e contribuindo para a evolução dos pilotos.

Os sistemas de transmissão de dados são desenvolvidos e implementados desde o século passado, com as mais variadas soluções sendo testadas e implementadas, visando obter o melhor resultado. Banerjee *et al.* (2021) utilizaram dispositivos FPGA para implementar um sistema de telemetria, medindo dados como aceleração, giroscópio e intensidade do acelerador, com o auxílio de um Xbee Pro.

Além deste, também se pode mencionar Fontanella *et al*. (2019) que desenvolveram um sistema para coleta da aceleração e velocidade de um veiculo a partir de dispositivos da família STM32. Com o intuito de possibilitar a análise desses dados coletados em um momento posterior, utilizou um sistema de comunicação baseado em uma tecnologia de transmissão por luz visível (VLC).

Dessa forma, esta pesquisa tem como objetivo desenvolver um sistema de telemetria para um protótipo de Fórmula SAE na modalidade elétrica, capaz de ler e enviar informações do veículo para a equipe. Para isso, foram realizadas pesquisas qualitativas do tipo descritiva e bibliográfica, realizadas no Laboratório LDPE (Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento em Eletrônica) do Departamento Acadêmico de Eletrônica do IFSC – Câmpus Florianópolis.

.

1.1 Justificativa

Apesar de o sistema de telemetria não ser obrigatório em competições do tipo Fórmula, percebe-se a importância da utilização desse sistema em veículos de competição. Segundo Lopes (2016), em um fim de semana de GP de F1, 75 GB de dados são armazenados e analisados por engenheiros na sede da fábrica da equipe, ou já diretamente na área de pista, para que seja possível tomar decisões imediatas que melhorem o rendimento do veículo.

Para que seja possível identificar o desempenho do carro mediante os ajustes realizados, ou a necessidade de novos ajustes, ou a qualidade entre um piloto e outro em uma determinada pista ou atividade de apresentação, como as realizadas na Fórmula SAE, a medição de dados de grandeza física como aceleração e velocidade são imprescindíveis (COLOMBARI, 2013).

Ainda que um protótipo de Fórmula SAE não exija uma quantidade de informações e dados similares a de um Fórmula 1, há a importância da coleta de dados a serem analisados. Segundo Santos (2018), em um veículo de Fórmula SAE os dados obtidos pelo sistema de telemetria fornecem à equipe várias vantagens durante os eventos dinâmicos da competição, especialmente no enduro (prova dinâmica com maior distância percorrida na qual vários parâmetros, como as temperaturas dos componentes, são críticos e muitas vezes eliminam equipes da competição).

Segundo Bocci (2020), é evidente o potencial para projetos eletrônicos e para a grande quantidade de variáveis que podem ser monitoradas por esse tipo de sistema, de forma que diversas equipes tanto nacionais como internacionais investem seus esforços em inovações e melhorias nessa área.

Assim, levando-se em consideração os dados expostos, este trabalho se justifica por desenvolver um sistema de telemetria, capaz de enviar e permitir a análise de dados de variados sensores dispostos no protótipo.

1.2 Definição do Problema

O sistema de telemetria automotiva é responsável pela aquisição, processamento e transmissão de dados do carro, como velocidade, rotação do

motor, temperatura de componentes etc. Essa aquisição de dados é realizada por meio de sensores interligados, dos mais diversos tipos e maneiras (ROCHA, 2019).

A criação de um sistema de telemetria passa por várias etapas, desde a definição dos dados a serem analisados e enviados, a escolha dos dispositivos que contemplarão o sistema eletrônico até o desenvolvimento dos *scripts* de programação que farão com que o sistema opere fornecendo os dados desejados (BOCCI,2020). Sendo assim, este trabalho questiona: como desenvolver um sistema de telemetria que permita a coleta e análise de grandezas físicas específicas para um protótipo de Fórmula SAE?

1.3 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de telemetria destinado a atuar em um veículo protótipo de competição Fórmula SAE EV (*Eletric Vehicle*).

1.4 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

a) projetar um sistema eletrônico para a aquisição de variáveis de temperatura dos pneus, velocidade, rotação do motor, intensidade de frenagem e de posicionamento. Armazenar e transmitir sem fio estas informações;

b) apresentar uma fundamentação teórica sobre os conceitos que englobam o projeto;

c) implementar uma interface gráfica para acompanhamento dos dados obtidos;

d) realizar a persistência dos dados medidos.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é composto de seis capítulos, sendo eles, a Introdução, Fundamentação Teórica, Metodologia de projeto, Apresentação de resultados,

Considerações Finais e Referências. Na Introdução, explica-se o tema do trabalho e apresenta-se de forma breve o conceito de telemetria e seus benefícios no mundo das competições de fórmula. Em seguida, desenvolve-se a Fundamentação Teórica, com o intuito de trazer a compreensão dos métodos e soluções aplicados para o entendimento do projeto. Posteriormente, no capítulo 3, determina-se a Metodologia, na qual se indicam os tipos de pesquisa utilizados e como foram constituídas as validações do tema; em seguida, têm-se os Resultados Obtidos após o desenvolvimento do sistema e, por último, as Considerações Finais e Referências utilizadas para a elaboração desta monografia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentada a Fundamentação Teórica. Estruturada em tópicos, apresenta os conhecimentos teóricos que foram aplicados durante a execução deste trabalho e que permitem uma compreensão clara do que foi desenvolvido.

2.1 Fórmula SAE

A Fórmula SAE é uma competição internacional de carros do tipo de fórmula organizada pela SAE, que visa promover a excelência em engenharia de universitários (TAN, 2011).

Considerando dados de 2019, a disputa ocorreu na Austrália, Itália, Inglaterra, Alemanha, Brasil e Estados Unidos, neste último onde ocorreu a competição envolvendo os mais bem colocados das demais competições. Sendo iniciada no Brasil em 2004, a competição atualmente ocorre em Piracicaba-SP em três modalidades diferentes, recebendo equipes de vários estados do Brasil e, também, equipes de fora do país (SAE BRASIL, 2022).

O torneio tem como seu principal objetivo proporcionar aos inscritos o contato com um projeto desafiador, multidisciplinar e desenvolvido em equipe, de maneira similar ao encontrado em um de trabalho em grandes empresas do setor automotivo. Para o inscrito, trata-se da oportunidade de obter visibilidade perante as grandes empresas, agregando ao seu currículo conhecimento técnico relevante para a área automotiva, além de desenvolver e fortalecer habilidades interpessoais. Para as empresas, o ambiente da Fórmula SAE é propício à obtenção de talentos com vivência nos fundamentos da engenharia automobilística (LAURO; BERNARDI, 2021).

Existem três categorias da competição: SAE EV, SAE Combustão e SAE BAJA.

.

2.1.1 ATLAS E-racing

No IFSC, a equipe ATLAS E-racing, formada por estudantes dos cursos de graduação da instituição, participa da modalidade EV. De acordo com Castillo (2021), a disputa desafia os estudantes membros das equipes a criarem um veículo do tipo Fórmula, de *PowerTrain* (conjunto dos itens que compõem o sistema de tração de um veículo) elétrico a partir da concepção de uma ideia envolvendo design, fabricação e implementação, assim fazendo uma demonstração de suas habilidades, criatividade e comparando aos outros protótipos, inscritos pelas demais universidades competidoras.

A Fórmula SAE EV (*Eletric Vehicle*) foi a última modalidade a ser iniciada no Brasil, passando a ocorrer a partir do ano de 2010. Ela segue um regulamento que fornece diretrizes para a criação e desenvolvimento do protótipo, o qual utiliza motor elétrico acionado por um inversor de frequência, e alimentado por um *pack* de baterias (SAE BRASIL, 2022). A Figura 1 mostra o projeto do AER24, protótipo em desenvolvimento pela Atlas E-*racing*.

Figura 1 - AER24

Fonte: ATLAS E-racing (2022)

Com o primeiro protótipo em fase de desenvolvimento pela equipe, alguns sistemas já foram concluídos e validados para serem aplicados ao veículo. Um destes é o Display LCD (*liquid Crystal Display*) que forneceu algumas informações ao piloto, durante a execução da pilotagem.

Uma vez que as informações pertinentes ao piloto foram lidas por ele, foram enviadas ao *display* posicionado no volante para que o piloto do protótipo AER-24 as acompanhasse. Este *display* é apresentado na Figura 2 a seguir.

Figura 2 - Display utilizado

Fonte: Autor (2022)

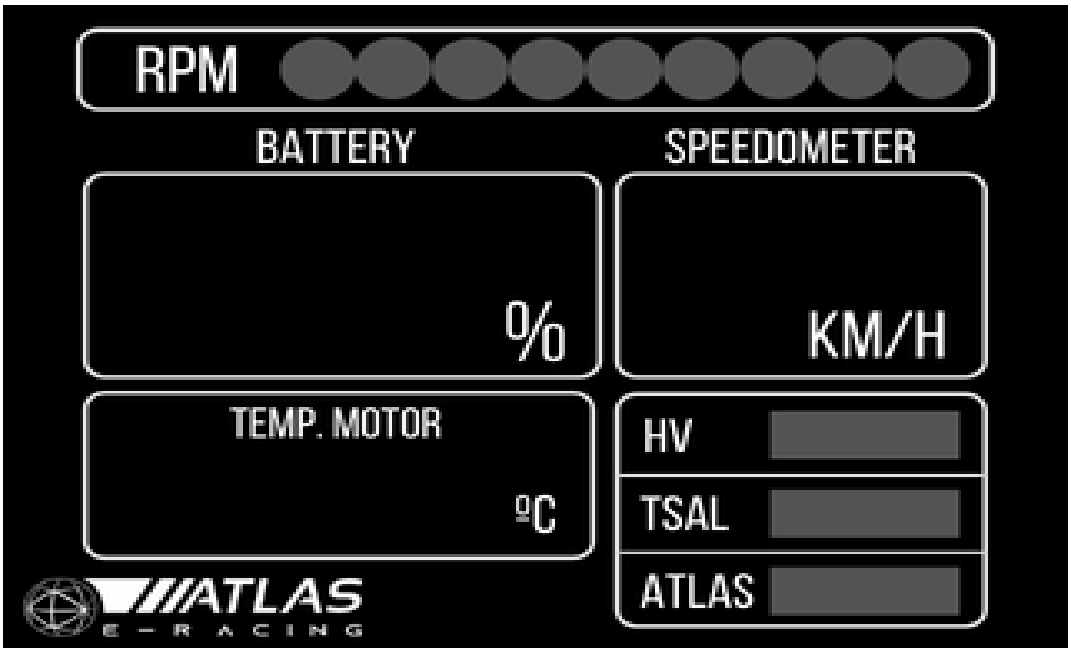
O *display* utilizado no projeto é fabricado pela *Victor Vision* e possui 3.5 polegadas de tamanho que, em conversas com os pilotos da equipe, definiu-se como um tamanho razoável para a utilização deste no veículo. Já a sua configuração, bem como a criação do leiaute de visualização das informações, foi feita através de software proprietário *Unic View AD*, no qual foi possível organizar as telas a serem exibidas, bem como a desenvolvida para este projeto,

Além de contar com software proprietário para desenvolvimento do leiaute, o *display* também conta com biblioteca específica e proprietária compatível com a plataforma Arduíno. Sua comunicação ocorre de forma serial, facilitando a sua programação e utilização no projeto. Por conta destes fatores, foi optado optou-se pela sua utilização.

As informações, que podem ser consultadas constantemente, foram dispostas nas telas. Essas informações foram discutidas com os pilotos da equipe,

para encontrar a forma mais otimizada a partir dessa visualização. A Figura 3 a seguir apresenta esta tela.

Figura 3 - Tela aplicada



Fonte: Autor (2022).

Conforme citado anteriormente, definiram-se em reuniões da equipe quais informações seriam exibidas no *display* para consulta dos pilotos. Chegou-se então no consenso da tela exibida na Figura 3, acima, apresentar a rotação do motor, o nível de bateria, a velocidade, a temperatura do motor e três indicações de sistemas.

O HV indica que a alta tensão do veículo está habilitada, o TSAL indica que a luz indicativa do sistema de tração está acesa e, por último, o ícone ATLAS indica que o sistema de comunicação do veículo está operando.

Este *display* complementa o Sistema de Telemetria, porém seu desenvolvimento ocorreu anteriormente às atividades realizadas neste trabalho.

2.2 Análise de dados no Motorsport

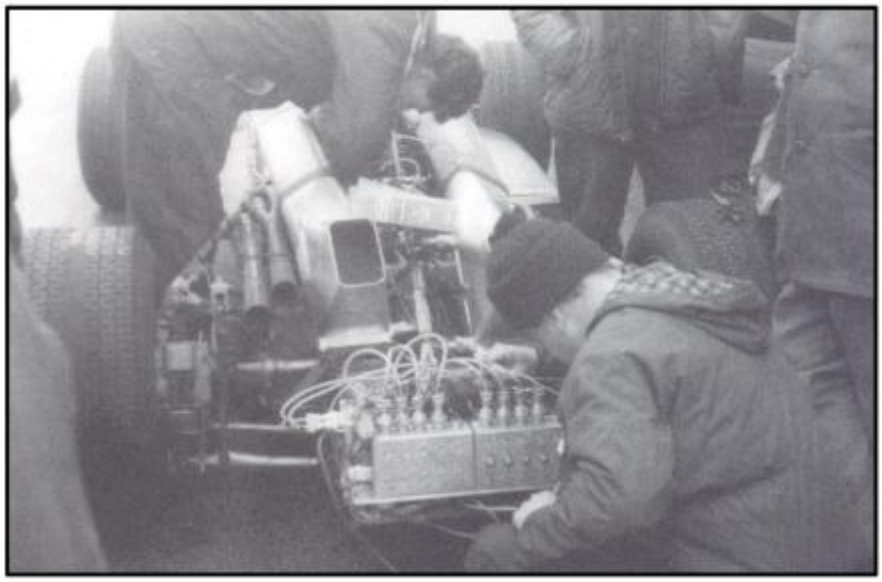
Segundo Wodehouse (2022), as equipes de corrida de F1 compreendem uma variedade de engenheiros, profissionais de TI, mecânicos e especialistas em eletrônica que coletam e analisam dados e ações na pista durante todo o fim de semana. Por exemplo, a equipe Mercedes-AMG Petronas F1, que foi campeã na temporada de 2021, inclui engenheiros de corrida, estratégia, desempenho,

eletrônicos de pista, de TI *Trackside*, de fluidos de via, e operações de apoio à corrida. Além de uma série de outros profissionais atuantes na fábrica.

Ainda de acordo com Wodehouse (2022), os dados são essenciais para todas as funções de uma equipe de F1. Insights ajudam os engenheiros, fornecendo informações que os motoristas não podem obter apenas no *cockpit*.

Segundo Wright (2001 *apud* SERRALVO NETO, 2010, p. 52), já na década de 1960, por meio de um sistema do tipo analógico, como pode ser visto na Figura 4, as equipes já se utilizavam de técnicas para realizar a coleta informações do veículo em operação, visando extrair a máxima performance do carro.

Figura 4 - BRM 1969



Fonte: Serrvalvo Neto (2010)

Assim como ocorre nas mais variadas categorias do automobilismo, as equipes que disputam a Fórmula SAE sabem que um sistema que realiza a aquisição de parâmetros do protótipo tem suma importância no desenvolvimento do carro e no treinamento dos pilotos. As mais variadas regulagens possíveis no carro, assim como as diversas formas de pilotagem, são fatores que, combinados, geram uma lista vasta de possibilidades de resultados. Esses resultados são gerenciados pelos *softwares* dos sistemas de aquisição de dados e são fundamentais para a equipe tomar alguma decisão (SANTOS, 2018).

2.3 Telemetria

A telemetria tem seu surgimento datado de 1845, com o aparecimento do primeiro sistema de transmissão de dados entre *o Winter Palace* (palácio que serviu como residência oficial do imperador russo) e o quartel da armada russa (QUEIROS, 2011).

Pode-se definir a telemetria como sendo uma tecnologia que permite a medição e comunicação de dados de interesse do operador ou desenvolvedor de um determinado sistema. O termo deriva do Grego *tele* = remoto mais m*etron* = medida. Assim a telemetria envolve variadas tecnologias, como sensores, microcontroladores, princípios de comunicação e propagação de informações, softwares de análise etc. (TEBALDI, 2019).

Em um ambiente de competição de Fórmula, por meio de uma série de sensores dispostos pelo veículo, o sistema de telemetria recolhe dados como temperatura, pressão, carga mecânica e aerodinâmica, e aceleração. Todos esses dados medidos são processados eletronicamente e apresentados de variadas formas aos membros da equipe em telas que, instalados em seus boxes, ou na fábrica, fazem as análises e são capazes de informar o piloto sobre as condições citadas anteriormente; além disso, podem montar estratégias, como por exemplo, a definição da volta em que o piloto deve entrar nos boxes, por meio da frase “box box box”, que pode ser ouvida pelo rádio do piloto durante as corridas (ATLAS, 2021).

A telemetria e o gerenciamento de dados compõem uma parte fundamental das competições modernas. Fica evidente também a importância de uma boa instalação e gerenciamento do equipamento para o sucesso na competição (ATLAS, 2021).

2.4 Microcontroladores

Um microcontrolador é um dispositivo eletrônico programável, repleto de circuitos digitais, capaz de realizar operações lógicas e aritméticas. Possui uma quantidade variável de pinos que depende da sua complexidade e função específica. Para programar e utilizar esses microcontroladores é necessário montá-los em placas adequadas e conectá-los a um computador. Além disso, as placas também

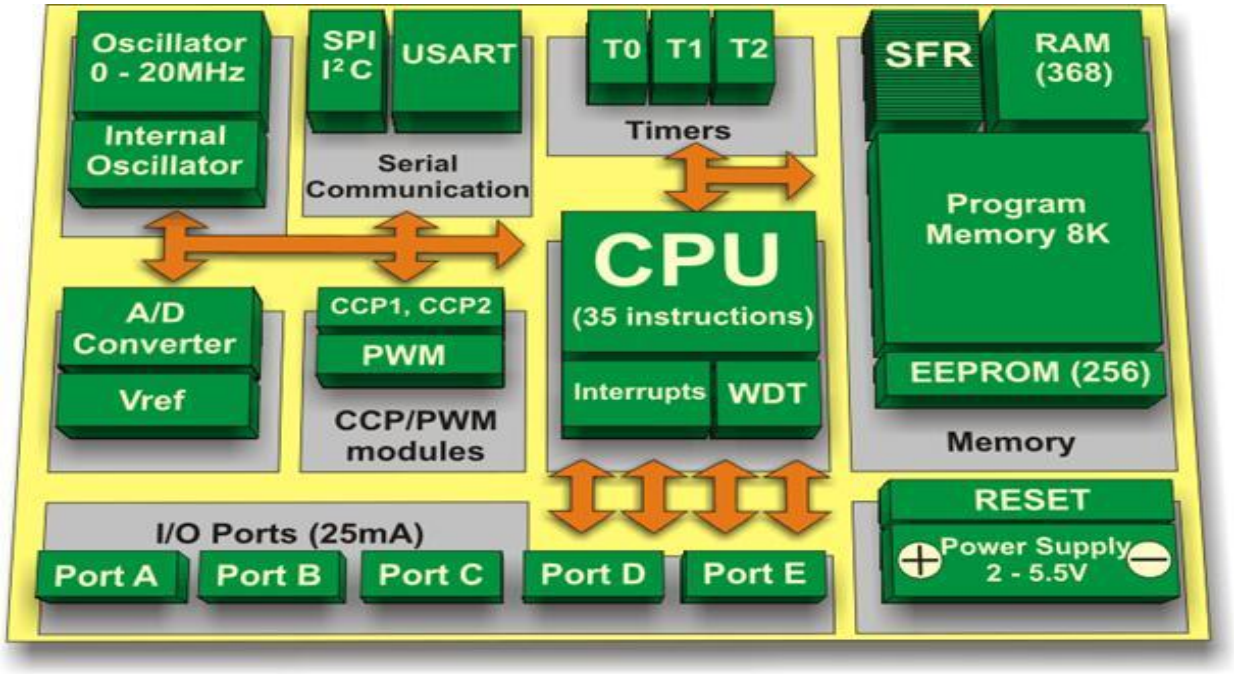
permitem a conexão com outros circuitos que o microcontrolador deve controlar e com aqueles que fornecerão informações relevantes, como sensores, interruptores, teclados externos, entre outros.

Na realidade, utilizar o microcontrolador dessa forma pode ser bastante incômodo, já que exige a elaboração de uma placa, o que pode ser problemático em alguns casos, especialmente quando se trata de microcontroladores projetados para montagem em superfície e com tamanho reduzido. Esses microcontroladores compactos são mais apropriados para aplicações industriais ou para uso em placas prontas, ou ainda em situações em que os circuitos nos quais serão empregados são montados por máquinas (SANTOS, 2018).

Para utilizar o microcontrolador de forma mais fácil em projetos experimentais, didáticos ou aplicações que não serão industrializadas, existem as placas prontas. Estas placas possuem microcontroladores já montados em pequenos circuitos impressos com todos os recursos necessários para programação, podendo ser conectados a outros circuitos, sensores, dispositivos de controle e fonte de alimentação. Além disso, muitas placas possuem seu próprio circuito de alimentação que permite a aplicação externa em uma faixa de tensão adequada (SANTOS, 2018).

O componente mais fundamental do microcontrolador é a Unidade Central de Processamento (UCP), também chamada de *Central Processing Unit* em inglês, como ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Arquitetura interna de um Microcontrolador



Fonte: Guimarães (2020)

A UCP é composta por um processador capaz de realizar operações lógicas com sinais digitais. Pode-se considerá-la como o "cérebro" do microcontrolador, pois é responsável por fazer cálculos e processar informações de maneira lógica. Esse processamento é realizado através de um programa interno.

Da mesma maneira como nos processadores dos computadores, os microcontroladores compreendem apenas a linguagem digital fornecida a eles e são capazes de processar informações usando apenas o que é conhecido, que é determinado por um conjunto de instruções (set de instruções) que reconhecem e executam quando as informações são enviadas. Por exemplo, em um programa de controle que requer a soma das temperaturas de dois sensores, os valores digitais devem ser transmitidos para a CPU, que reconhecerá a operação de soma (SANTOS, 2018).

Além da CPU, como visto no Microcontrolador de exemplo da Figura 5, outros componentes presentes no microcontrolador também são importantes: conversor A/D, timer, Ports, Comunicação Serial, entre outros periféricos, que segundo Volkmann (2022) são aplicados nos mais variados projetos envolvendo aplicações de microcontroladores.

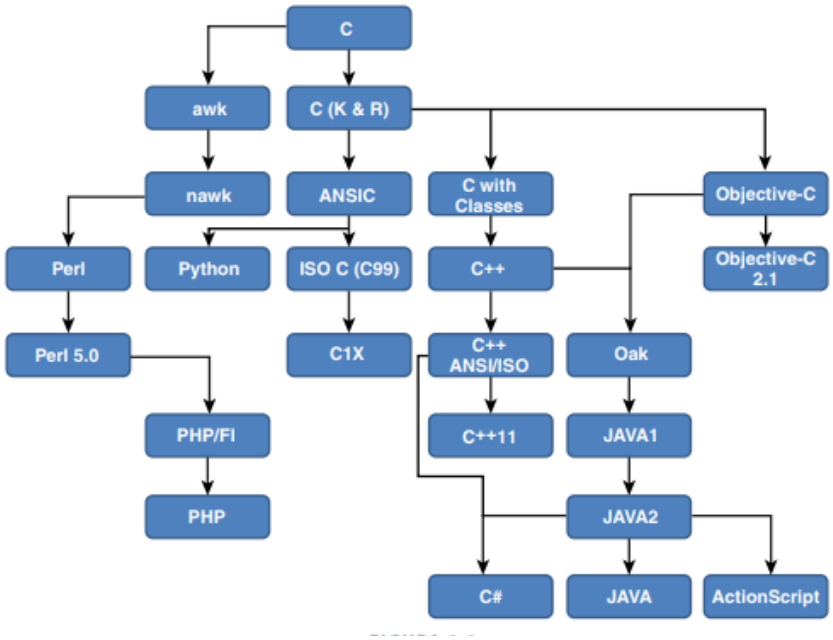
2.5 Linguagem C

A linguagem C foi desenvolvida inicialmente por Dennis Ritchie, na Bell *Telephone Laboratories Inc*, em 1972, com o intuito de elaborar um sistema operacional, por meio de uma linguagem de alto nível (SALES; NZE, 2016).

Ainda segundo Sales & Nze (2016), a linguagem C é definida como uma uma linguagem compilada, estruturada, imperativa, procedural e de propósito geral. Isto significa que o C pode ser utilizado para desenvolver os mais variados tipos de projetos. Devido a este e outros fatores, Backes (2013) cita que a linguagem C pode ser considerada como uma das linguagens mais bem sucedidas da história, haja visto a sua ampla aplicabilidade.

Por benefício das características mencionadas e de outros fatores, segundo Backes (2013), a linguagem C influenciou de forma direta ou indireta o surgimento de outras linguagens de programação, como por exemplo o C++, Java, C# e o PHP. A Figura 6 mostra as linguagens de programação existentes atualmente, originando-se na linguagem de programação C.

Figura 6 - Evolução das linguagens de programação



Fonte: Backes (2013)

De acordo com Cocian (2004), a linguagem C que é uma linguagem considerada de alto nível, por se aproximar mais da forma como os humanos escrevem, pode ter sua expansão entre os desenvolvedores, e sua influência na criação de outras linguagens de programação, devido a sua sintaxe, devido a sua característica de alto nível, isto é exemplificado na Figura 7 a seguir.

Figura 7 - Comparativo de sintaxes

```
unsigned int num,n,tab;
scanf("%d",&num);
for(n = 1; n <= 10; n++){
        tab = num * n;
        printf("\n %d", tab);
}
```

```
MOV CX,0          ; coloca zero no registrador CX
IN  AX,PORTA      ; coloca um valor do buffer de teclado no registrador AX
MOV DX,AX         ; copia o valor de AX para DX
LABEL:
INC CX            ; incrementa em um o valor armazenado em CX
MOV AX,DX         ; copia o valor de DX para AX
MUL CX            ; multiplica o valor armazenado em CX pelo valor em AX
OUT AX, PORTB     ; o valor resultante é enviado ao buffer de saída de display
CMP CX,10         ; o valor armazenado em CX é comparado com 10
JNE LABEL         ; se a contagem ainda não chegou a 10, pula para LABEL e repete
```

Fonte: Adaptado de Concian (2004)

Na parte superior da Figura 7 temos o código desenvolvido em linguagem C, enquanto na inferior temos o mesmo código desenvolvido em linguagem *Assembly.* O objetivo do código apresentado é receber uma variável "num" e apresentar os 10 primeiros múltiplos deste número. Nota-se não somente a quantidade menor de linhas utilizadas, como também a maior facilidade na compreensão dos comandos.

2.6 Protocolos de comunicação

Dentre a vasta quantidade de protocolos de comunicação existentes para uso, os protocolos de comunicação utilizados no desenvolvimento deste trabalho, serão abordados em três seções, visando explicar o funcionamento, em paralelo a uma contextualização histórica.

.

2.6.1 SPI

O protocolo *Serial Peripheral Interface* (SPI), desenvolvido pela empresa Motorola, nasceu com o intuito permitir a realização de comunicação entre periféricos (SOUZA; CASTRO; CARRIJO, 2015).

A comunicação SPI tem algumas características básicas. Inicialmente, os sinais de comunicação possuem uma direção fixa e definida. Isso significa que sempre existem dois transistores indicando o estado de um pino (Push-Pull). Essa característica é uma das grandes diferenças entre outras comunicações seriais como I2C e *OneWire*, que possuem um mesmo barramento de dados para os sinais de entrada e saída por meio do esquema de dreno-aberto (*Pull-Up*) (SACCO, 2014).

Segundo Okamoto (2019), a operação do protocolo SPI é do tipo mestre/escravo, na qual se tem a produção de um sinal de *clock*, pelo mestre. Este, por sua vez, é enviado a todos os escravos da comunicação em forma simultânea. Cada escravo tem sua distinção realizada a partir de um sinal de seleção, que determina a comunicação com o mestre naquele determinado momento. Os sinais presentes em uma comunicação do tipo SPI são apresentados na Tabela 1:

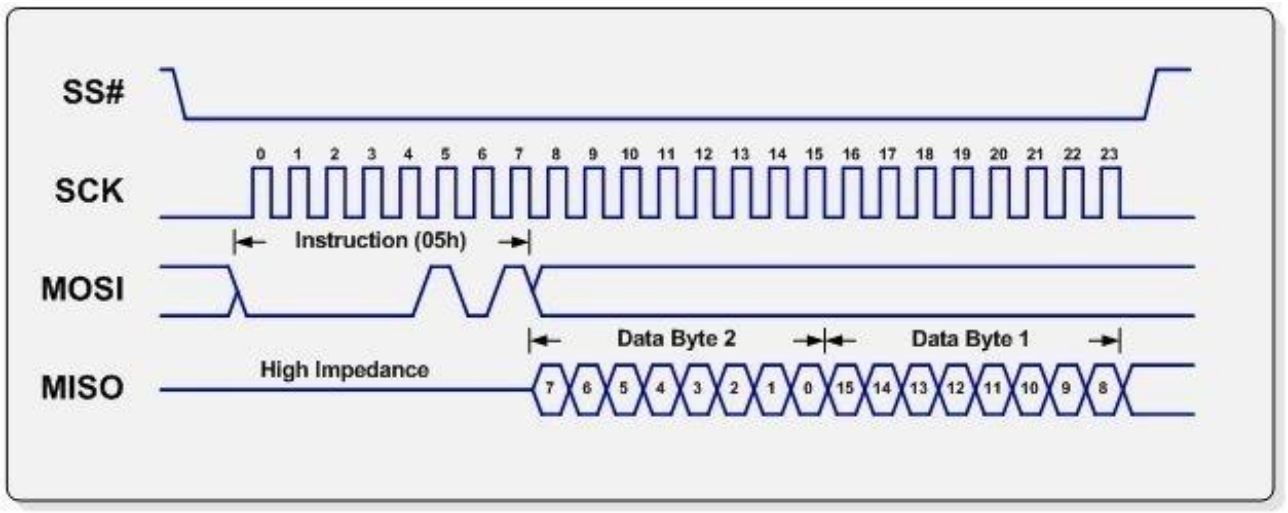
Tabela 1 - Sinais de uma comunicação SPI

Sinal	Descrição
SCK	Sinal de *clock* produzido pelo mestre, enviado aos escravos
MOSI	Saída de dados serial do mestre e de entrada nos escravos
MISO	Forma oposta ao MOSI, saída dos escravos, entrada no mestre
SS	Sinal de seleção do mestre, indica a comunicação com o escravo.

Fonte: Adaptado de Okamoto (2019)

A Figura 8 apresenta os sinais indicados na Tabela 1.

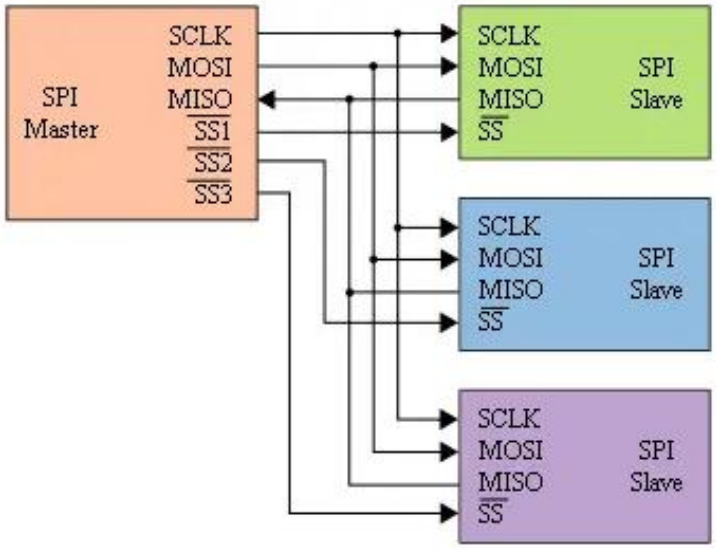
Figura 8 - Sinais do protocolo SPI



Fonte: Naver (2019)

Em uma comunicação SPI, toda troca de dados acontece sempre em ambas as direções. Isso implica que cada bit trocado entre o *Master* e um *Slave* traga um bit do *Slave* para o *Master*, definindo, assim, uma comunicação do tipo *Full Duplex* (SACCO, 2014) como demonstra a Figura 9.

Figura 9 - Conexões do protocolo SPI



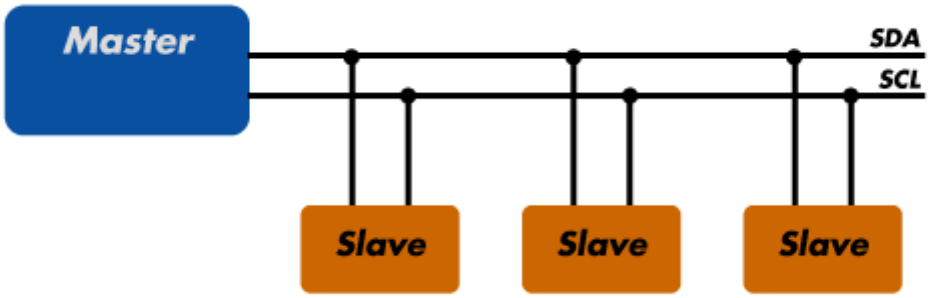
Fonte: Embarcados (2014)

Diferente do protocolo I2C, apresentado em seguida, o protocolo SPI traz a obrigatoriedade de um pino de seleção de escravos para habilitar a comunicação entre os periféricos (SACCO, 2014).

2.6.2 I2C

O protocolo I2C ou *Inter-IntegratedCircuit* tem seu desenvolvimento datado de 1982, sendo desenvolvido pela Philips Semiconductors. Consiste em um barramento de comunicação de dados bidirecional de 2 fios para comunicação entre circuitos integrados (Cis). São necessárias apenas duas linhas de barramento: uma linha de dados serial (SDA) e uma linha de *clock* (SCL) para que seja realizada a comunicação (NXP *Semiconductors*, 2021), conforme pode ser visto na Figura 10.

Figura 10 - Conexões do protocolo I2C

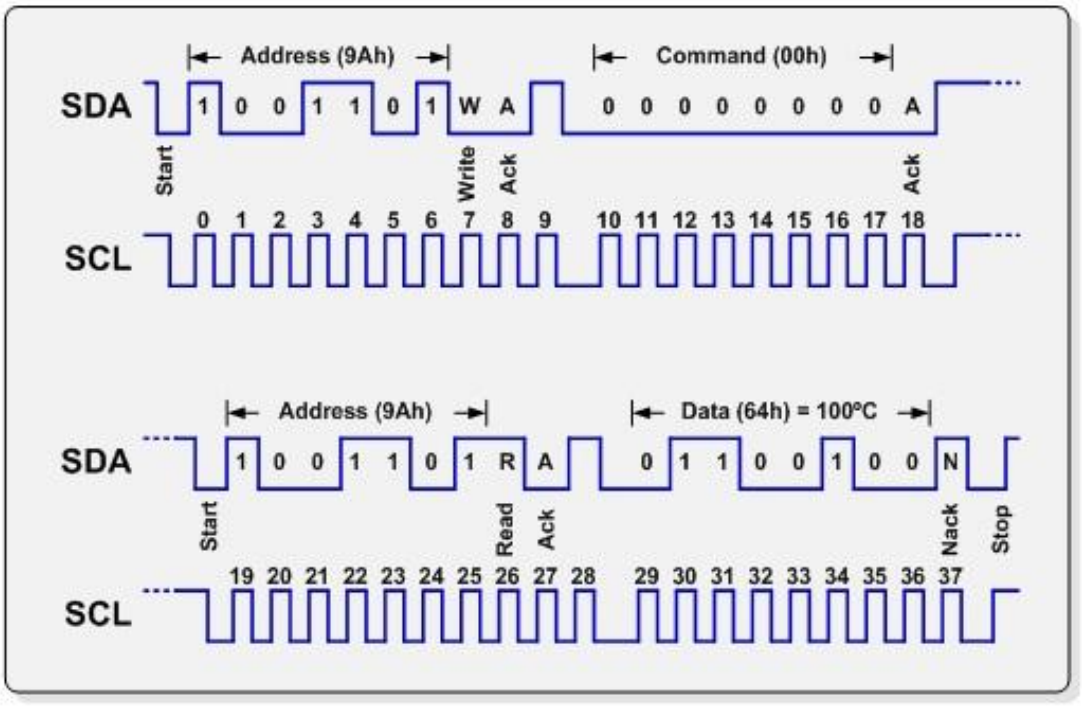


Fonte: Autocore (2019)

Segundo Santos (2018), o dispositivo mestre é sempre o que controla a linha de *clock* (SCL) e os escravos são os dispositivos que respondem ao mestre. O dispositivo escravo nunca inicia uma transmissão sem que o mestre tenha requisitado.

De acordo com Delbergue (2017), ao contrário do protocolo SPI, os quadros I2C são padronizados. Esses quadros contêm endereços que realizam o controle do conteúdo e das informações de dados em pacotes; reitera-se que esses dados, uma vez transferidos, são armazenados em 8 bits. Conforme estipulado pelo padrão I2C, o primeiro mestre busca escrever um “0” enquanto um segundo mestre escreve um “1” perde a arbitragem do barramento. O I2C também possui conceito de reconhecimento de quadro. Na Figura 11, apresenta-se uma mensagem I2C.

Figura 11 - Quadro de uma mensagem I2C

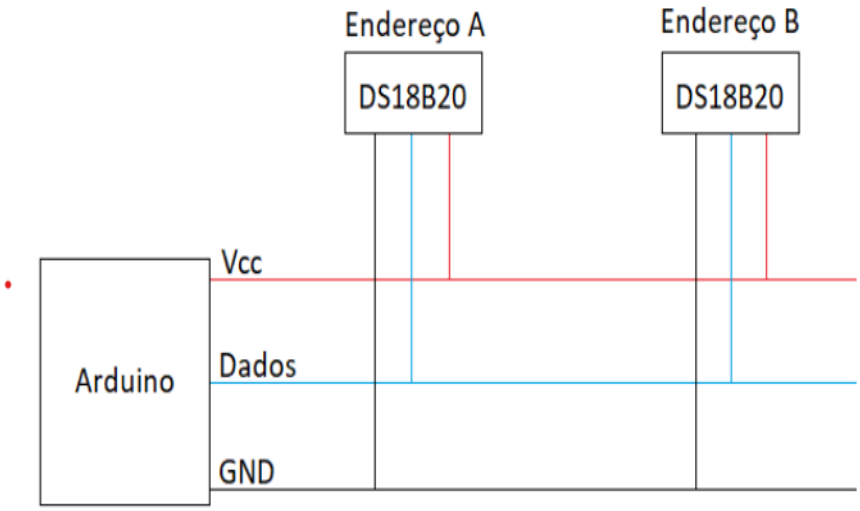


Fonte: Delbergue (2017)

2.6.3 One Wire

No protocolo *One Wire* cada elemento inserido no barramento possui um determinado endereço, no qual o próprio barramento por meio de um algoritmo próprio de busca consegue determinar quais são os endereços que estão sendo utilizados naquele momento e, assim, enviar as informações. Desta forma, permite que o mestre realize a interação com esses dispositivos (Madeira, 2018). A Figura 12, a seguir, exemplifica o mencionado anteriormente ao apresentar um barramento de 2 sensores de temperatura modelo DS18B20

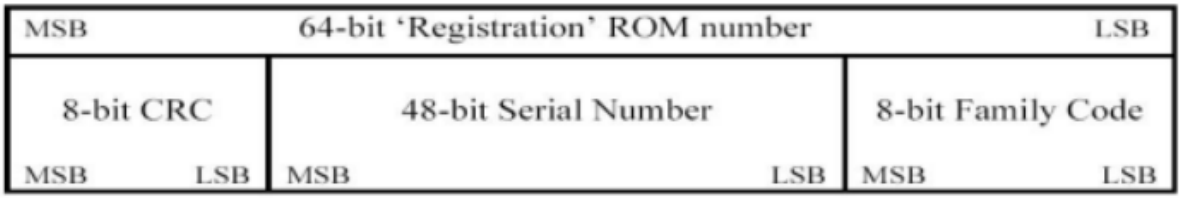
Figura 12 - Exemplo de barramento One Wire



Fonte: Madeira (2018)

Segundo HERNÁNDEZ (2003), os endereços dos dispositivos que operam com protocolo *One wire* têm um tamanho total de 64 bits na forma apresentada na Figura 13 a seguir.

Figura 13 - Estrutura de um endereço One Wire



Fonte: Hernández (2003)

Segundo STEIDLE NETO (2003) é válido ressaltar que em uma comunicação *One Wire*, um único mestre pode se conectar e se comunicar com múltiplos escravos, o que traz para o protocolo versatilidade e simplicidade na sua utilização.

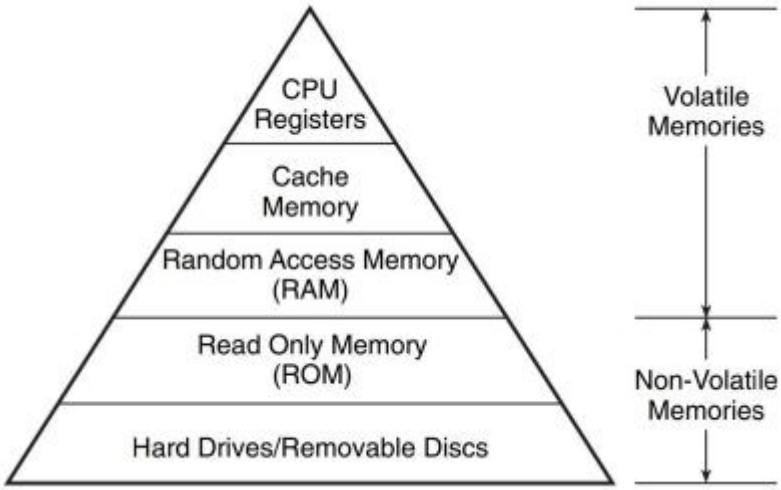
2.7 Eletrônica Embarcada no projeto

2.7.1 Armazenamento de dados

Os dispositivos eletrônicos usados para armazenar dados binários, seja de forma permanente ou temporária, são conhecidos como memórias de computador. Estas memórias podem ser simplificadas como um conjunto de entidades endereçáveis, que são chamadas de *words*, e são formadas por bits ou células. É importante observar que o número de *words* presentes em um dispositivo de memória, bem como o número de células em uma *word,* difere de acordo com o tipo de memória. Além disso, algumas memórias permitem que sejam realizadas operações de leitura e escrita (MAINI, 2007).

A Figura 14 traz uma apresentação dos tipos geralmente encontrados de memória em um computador. As memórias são separadas em duas categorias em relação à sua persistência.

Figura 14 – Pirâmide organizacional de memórias



Fonte: Maini (2007)

Na Figura 14, acima, apresenta-se os tipos de memória, com a classificação entre voláteis e não voláteis. Na base da pirâmide encontram-se as memórias do tipo não volátil, que além desta característica também são definidas por uma maior capacidade de armazenamento, e menor velocidade de operação. De acordo com Weber (2017), podem-se categorizar estas memórias pelo seu comportamento na ocorrência de uma queda de energia, com a memória não volátil,

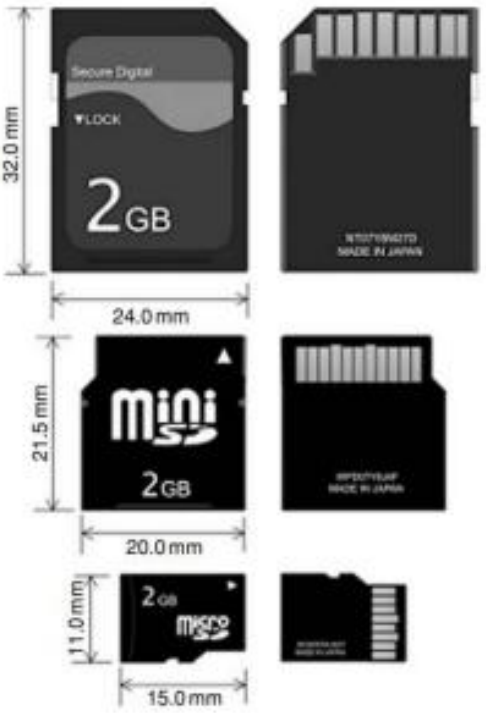
conseguindo manter suas informações armazenadas em caso deste tipo de ocorrência, enquanto a memória do tipo volátil perde suas informações.

2.7.1.1 SD Card

Secure Digital (SD) cards são dispositivos de armazenamento não volátil de estado sólido criados pela Panasonic, SanDisk e Toshiba em 2000, baseados na tecnologia *Multimedia Card* (MMC) (IBRAHIM, 2010). Apresentam tecnologia *NAND* e se destacam por característica como grande capacidade de armazenamento, segurança e alto desempenho. Possuem mecanismos de proteção de conteúdo, autenticação e algoritmo de cifra para garantir a segurança contra uso ilegal dos dados, além de suportar sistemas de segurança padronizados, como o ISO-7816, permitindo que sejam usados como dispositivo de identificação eletrônica (ASSOCIATION, 2020).

Segundo Lauro e Bernardi (2021) Além disso, eles vêm em três tamanhos distintos, como mostrados na Figura 15.

Figura 15 - SD Card



Fonte: IBrahim (2010)

Estas particularidades tornaram os cartões SD a primeira opção no setor de armazenamento externo, tornando a tarefa de salvar e recuperar dados muito mais veloz e ágil.

2.7.2 Sistema GPS

No sistema de telemetria, como forma de mensurar o desempenho do protótipo, foram empregados diversos sensores para obter algumas métricas. Dentre esses sensores, pode-se destacar a aplicação do módulo GPS que, de acordo com Bocci (2020), a partir de seu uso pode-se obter a rota do protótipo, e assim definir o traçado da pista, bem como a distância total percorrida seja nos momentos de testes, ou ainda na competição.

Como exemplo, apresenta-se o módulo NEO-6M V2 que, ainda de acordo com Bocci (2020), opera com o protocolo de comunicação National *Marine Electronics Association* (NMEA-183), o qual é utilizado como padrão de comunicação entre dispositivos náuticos e possui uma tensão de alimentação que varia entre 3.3V e 5V. As mensagens enviadas por esse módulo seguem o padrão citado, como mostra o exemplo a seguir.

$GPGGA,104549.04,2447.2038,N,12100.4990,E,1,06,01.7,00078.8,M,0016.3,
M„*5C
Onde::
• GPGGA – GP é sigla para GPS e GGA é uma sigla para sistema de posicionamento global com dados fixos;
• 104549.04 – Horário Universal HHMMSS.SS;
• 2447.2038 – Latitude, 24 graus e 47.2038 minutos;
• N – Hemisfério latitudinal, N para norte e S para sul;
• 12100.4990 – Longitude, 121 graus e 00.4990 minutos;
• E – Hemisfério longitudinal, com E para leste e W para oeste;
• 1 – Indicador de correção da posição, sendo 0 para posição inválida, 1 para posição válida;
• 06 – Número de satélites usados, este varia entre 0 e 12;
• 01.7 – Diluição horizontal da precisão, variando entre 0.0 a 99.9;
• 00078.8,M – Altitude em metros em relação ao nível do mar, varia de -9999.9 até 17999.9;
• 0016.3,M – Altitude geoidal em metros, varia entre -999.9 até 9999.9;
• *5C – Valor do checksum, número hexadecimal iniciado por “*”.

De acordo com Nunes (2016) a presença da navegação por GPS tem se tornado cada vez mais necessária em sistemas desse tipo, conforme o avanço da eletrônica embarcada nas mais variadas áreas.

2.7.3 Velocidade

A velocidade do veículo é, de acordo com Bocci (2020), uma das principais informações que devem ser aferidas, pois é um parâmetro essencial para o aprimoramento da *performance* da direção.

Segundo Serralvo Neto (2010), a velocidade é uma das principais variáveis para o entendimento do comportamento do veículo. Pois, a partir da análise destas em momentos de frenagem, por exemplo, é possível compreender se o balanço dos freios está correto, se há ou não perda de tração entre outros parâmetros.

Através da informação da velocidade, é possível que a equipe analise e ajuste os parâmetros do veículo, como aerodinâmica, motorização e transmissão, de forma a otimizar o desempenho (VINTACOURT, 2021).

2.7.4 Rotação do Motor

A revolução do motor é uma das principais propriedades de seu desempenho e, identificando-a, é possível fazer sua ajustagem de modo que seu giro continue dentro de um intervalo mais apropriado para uma maior eficiência. O motor usado pela equipe possui um ímã no volante, que é a seção responsável por transmitir a força gerada pelo virabrequim para o câmbio de marchas para ajudar a preservar o equilíbrio e limitar as vibrações do motor, permitindo que ele continue girando com a mesma velocidade. Como é de fácil acesso, torna-se uma ótima opção para medir a sua rotação (BOCCI, 2020).

De acordo com Lauro e Bernardi (2021), a medição da Rotação do motor é de alta prioridade em um sistema de telemetria, tanto para a equipe como para o piloto. Uma vez que a partir destas diversas métricas podem ser traçadas, envolvendo tanto *performance* do carro, como do piloto.

As informações de rotação do motor auxiliam os setores de motores e mecânica das equipes na obtenção dos ajustes ideais, nas quais é possível estimar as forças longitudinais máximas, em conjunto a outros parâmetros do carro, para uma velocidade específica (LOPES, 2021).

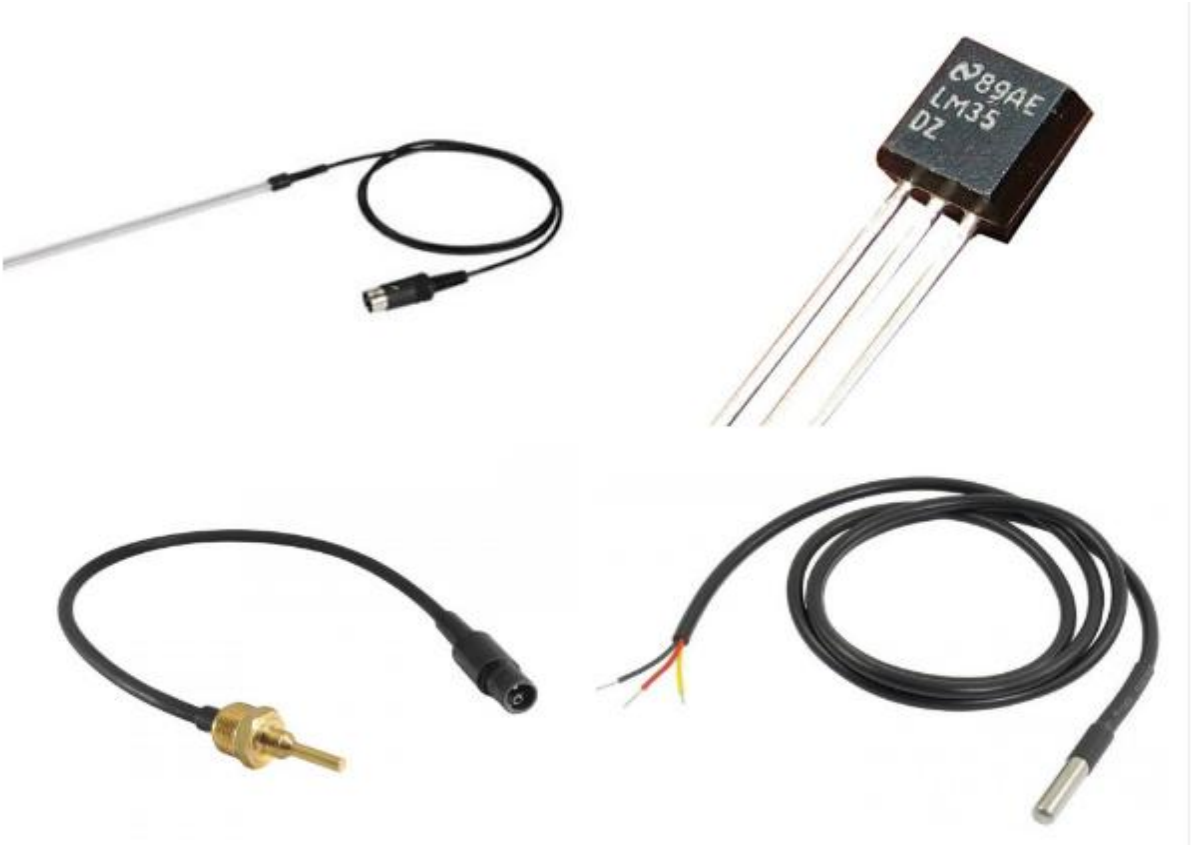
2.7.5 Temperatura

Em baixas temperaturas, o desempenho de um pneu é reduzido, uma vez que quando ele está “frio”, não existe resistência à tensão de cisalhamento; consequentemente ocorre o esfarelamento, ou seja, a liberação de pedaços de borracha na pista. Esse problema é reduzido quando o pneu passa a atuar em uma faixa ideal de temperatura; por essa razão, é importante que ocorra o monitoramento constante de sua temperatura (WERLANG; SILVEIRA, 2013).

Normalmente, funcionando em gamas que variam entre temperaturas negativas e aproximadamente 125ºC, os sensores de temperatura são amplamente utilizados em numerosas aplicações, considerando-se sua facilidade de utilização e seu baixo custo. Circuitos elementares podem ser aproveitados para operar com esses equipamentos.

A Figura 16, a seguir, apresenta alguns modelos de sensores desse tipo disponíveis no mercado, para a escolha conforme a necessidade do projeto.

Figura 16 - Alguns modelos de sensores de temperatura



Fonte: Autor (2023)

Dentre os sensores disponíveis, ao se criar um projeto, necessita-se que os mais variados fatores sejam levados em conta, como por exemplo, a presença ou não de proteção contra água, poeira, e demais efeitos naturais. Além disto, considera-se o protocolo de comunicação do sensor e a faixa de leitura dos sensores, que em geral, como visto, atuam desde valores negativos até próximos dos 125ºC (Candell, 2018).

2.7.6 Comunicação sem fio

A comunicação por radiofrequência (RF) trata-se de qualquer forma de comunicação que utilize ondulações eletromagnéticas em uma gama de frequências, que vai de 3 kHz a 300 GHz. A maior parte das transmissões acontecem entre 300 MHz e 6 GHz. Na comunicação por RF, um sinal elétrico variável é modulado para transportar as informações. O sinal é convertido em campos elétricos e magnéticos que são enviados no ar na forma de ondas.

O protocolo *Zigbee* tem uma arquitetura básica que segue o Modelo *Open Systems Interconnection* (OSI). Está dividido em vários blocos denominados Camadas. As três primeiras se dedicam às tarefas comparáveis às Camadas 1-3 (Física, Controle de Meio e Rede) do OSI, enquanto a Camada de Aplicação (APL) se ocupa das funções das Camadas 4-7 (Transporte, Sessão, Apresentação e Aplicação) do OSI (BRONZATTI, 2013).

2.8 Firmware

Segundo Holanda (2016), resume-se a definição de um Firmware como as instruções básicas do Hardware. Um pacote de software, que faz com que um determinado hardware atue de forma padronizada, com sequências de comandos definidos previamente, programados diretamente no hardware, em geral um microcontrolador.

Com a difusão do que conhecemos por IOT, tem-se diversos produtos que utilizam firmware presentes no cotidiano (GARCIA, 2022).

Este conjunto de instruções é previamente definido e pode ser substituído (atualizado) caso necessário através de ferramentas de desenvolvimento compatíveis com aquele microprocessador (HOLANDA, 2016).

2.9 Trabalhos relacionados

Segundo Lauro e Bernardi (2021), de modo similar ao que vem ocorrendo na indústria automobilística, a inclusão de elementos de eletrônica embarcada também se consolidou nos protótipos de Fórmula SAE. As equipes vêm desenvolvendo e aprimorando seus sistemas de telemetria que em alguns casos se tornam trabalhos acadêmicos. Como exemplo, destaca-se o trabalho de Bocci(2020), que desenvolveu para a equipe M8, da modalidade Baja, um sistema de telemetria constituído por um ATMEGA328P, sensores como o GPS Neo 6M-V2, LM35, que foi responsável por realizar a medição da temperatura de alguns componentes do protótipo. Seu sistema também conta com transmissão sem fio, por meio de um dispositivo Lora.

Em geral, microcontroladores da família ATMEGA e a linguagem C se destacam em trabalhos deste tipo. Podem-se citar também os trabalhos de Santos (2018) e o de Nunes (2016), que fazem uso deste microcontrolador atrelado a alguns sensores, que realizam a leitura dos dados que a equipe julga necessário, que em geral seguem um mesmo padrão.

No caso de Nunes (2016), as informações de velocidade, rotação do motor, temperatura, tensão da bateria e nível de combustível de um protótipo Baja são adquiridas e fornecidas apenas ao piloto, destacando neste trabalho a implementação do protocolo CAN (*Controller Area Network*), que permite mais microcontroladores aplicados em simultâneo no mesmo veículo.

Em trabalhos que realizam envio das informações sem fio, como destaca Santos (2018), os módulos da linha Xbee são geralmente utilizados pelas equipes para o envio destas informações que são posteriormente exibidas em sistemas gráficos desenvolvidos pelas equipes. Em alguns trabalhos, há também a implementação para *Smartphone.*

Em geral, observou-se que apesar de não obrigatório por nenhum dos regulamentos da SAE, as equipes desenvolvem seus sistemas próprios de telemetria, focando em atender as suas necessidades particulares. Estes sistemas, uma vez criados e validados, são expandidos pela equipe. Com o passar do tempo, tornam-se cada vez mais peça fundamental da equipe, trazendo benefícios no desempenho nas competições.

Diante dos conceitos fundamentais para o entendimento do trabalho realizado, na sequência, apresenta-se a Metodologia utilizada neste TCC, na qual se especifica o tipo de pesquisa, bem como as etapas adotadas para que seja possível alcançar os resultados esperados, com o intuito de alcançar os objetivos propostos para este estudo.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa pode ser caracterizada de natureza aplicada, qualitativa, do tipo explicativa e bibliográfica.

A pesquisa desenvolvida se aplica como uma pesquisa qualitativa, que de acordo com Oliveira (2011) tem o ambiente natural como sua fonte natural, como sua fonte direta para obtenção de dados e o pesquisador como o seu principal instrumento.

Por fim, a pesquisa desenvolvida também é aplicada como sendo do tipo bibliográfica, pois tem seu desenvolvimento partindo de materiais de cunho científico já elaborados, considerando-se principalmente de livros e artigos científicos (VERGARA 2000, apud OLIVEIRA 2011, p. 41).

3.1 Métodos aplicados

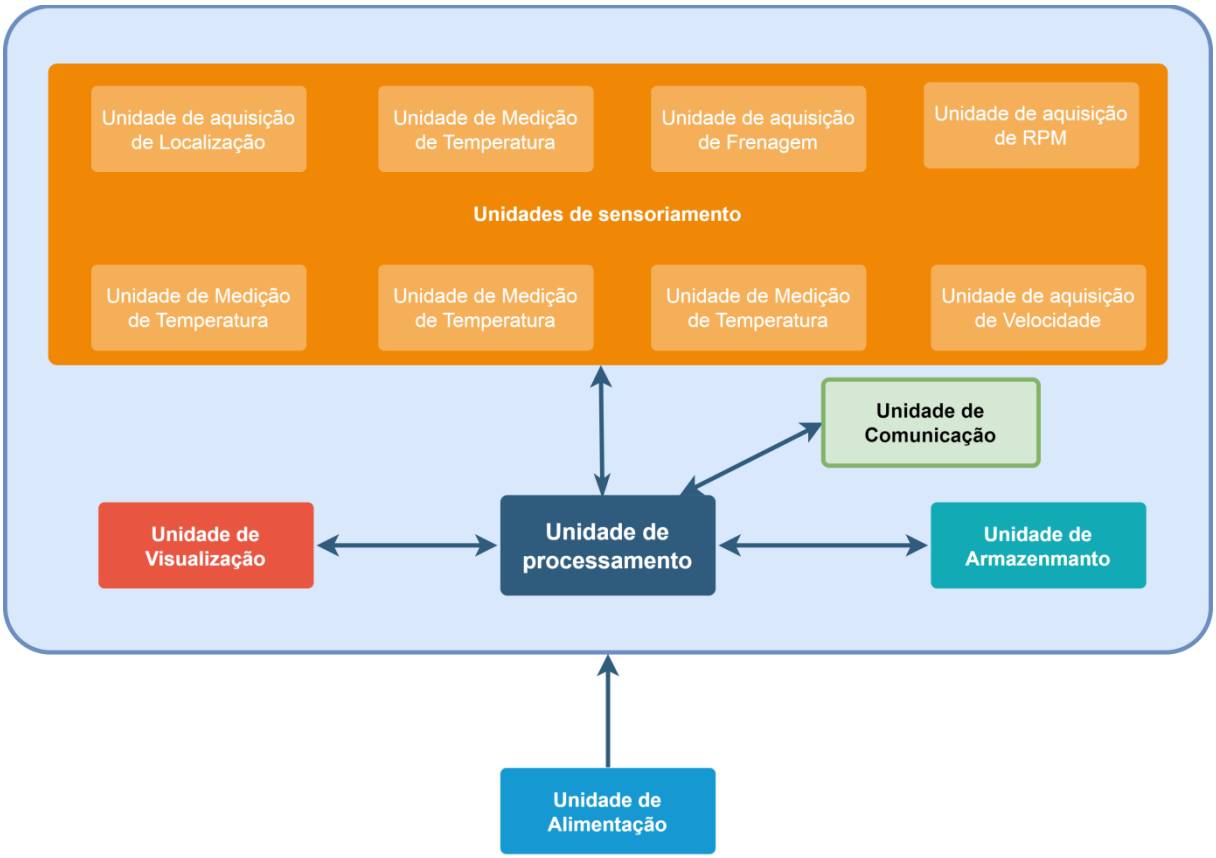
O desenvolvimento do sistema de telemetria foi realizado com base no funcionamento de outros sistemas existentes nas mais variadas categorias de automobilismo e focou majoritariamente nos sistemas aplicados na SAE, onde há mais sistemas de custo reduzido, em comparação a outras categorias.

Para o desenvolvimento do sistema de telemetria foram definidas, juntamente aos demais membros da equipe ATLAS E-*racing*, e com o professor orientador desta monografia, as funcionalidades a serem atendidas pelo sistema, que são estas:

a) medir o valor da velocidade;
b) medir o valor das rotações do motor;
c) medir o valor da temperatura de cada um dos pneus (4);
d) medir o valor da intensidade de frenagem;
e) obter o geolocalização;
f) armazenar os valores lidos via *SD Card*;
g) realizar a transmissão sem fio dos valores lidos;
h) desenvolver uma Interface gráfica para o sistema.

O diagrama funcional geral do projeto é exibido na Figura 17:

Figura 17 - Diagrama Funcional



Fonte: Autor (2023)

O projeto consiste em realizar a leitura dos dados desejadas pela equipe através dos sensores selecionados. Estes dados passam a ser enviadas e recebidos pela equipe por meio de uma unidade de comunicação sem fio e são então repassadas a uma unidade de armazenamento. Na sequência, são apresentados para a equipe por meio de um sistema próprio.

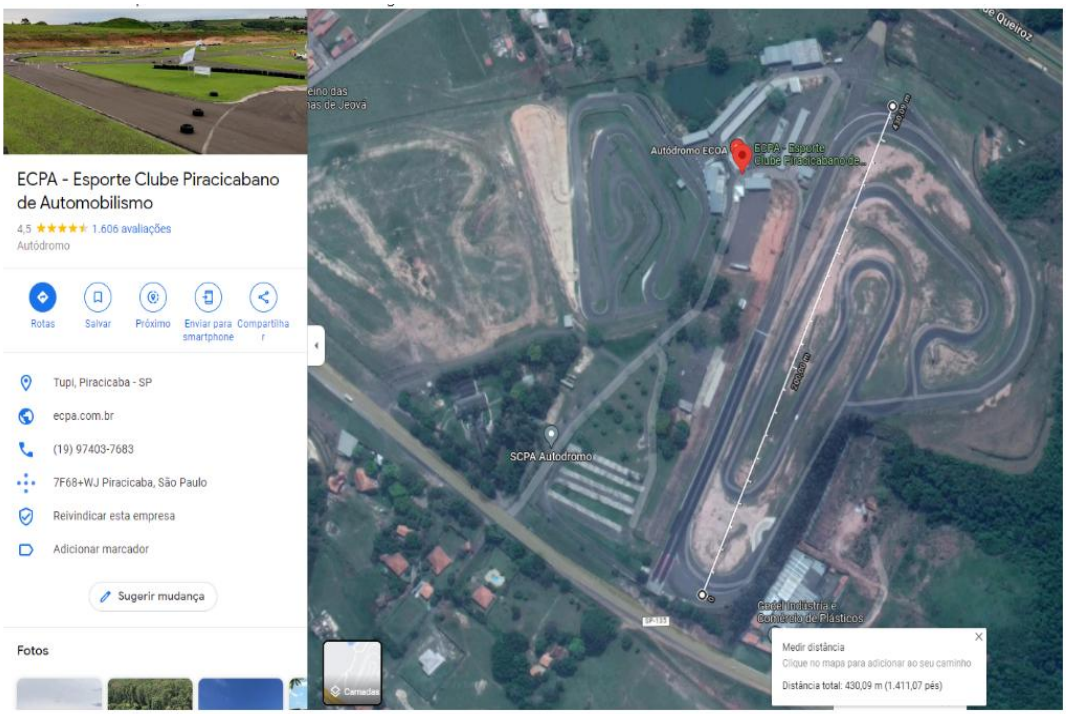
3.2 Desenvolvimento da plataforma e integração dos dispositivos

Um sistema de telemetria é constituído de três (grandes) estruturas principais, sendo estas o banco de sensores, o qual realiza a leitura de todos os parâmetros do veículo de que a equipe necessita; o dispositivo, que irá fazer a transmissão dos pacotes de dados provenientes das leituras dos sensores e seu similar, que fará a recepção destes dados; e, ainda, a plataforma gráfica, que fará a exibição dessas informações.

A escolha dos sensores varia de acordo com as informações de que a equipe necessita, as quais podem modificar, conforme a competição, o veículo etc. Tais sensores realizam a leitura dessas informações e, posteriormente, enviam-na para um dispositivo de processamento, que pode tanto fazer a transmissão em tempo real para um outro local ou, ainda, apenas realizar o armazenamento para visualização posterior, como visto no trabalho de Fontanella *et al* (2019).

O dispositivo de transmissão dos dados é escolhido com base na definição dos sensores utilizados e em como eles se comunicam. Além disso, é levado em consideração o alcance necessário entre a transmissão e a recepção dos dados. No caso desse trabalho específico, o alcance desejado é de 900 metros, levando em conta as características do autódromo ECPA em Piracicaba, que é apresentado a seguir na Figura 18.

Figura 18 - Vista superior do Autódromo ECPA



Fonte: Google (2022).

Na Figura 18, acima, apresenta-se uma vista superior do autódromo ECPA (Esporte Clube Piracicabano de automobilismo, localizado em Piracicaba-SP), local no qual a competição Brasileira da Fórmula SAE é realizada. Esta é a pista na qual o carro desenvolvido pela equipe realiza as etapas da competição, portanto é necessário que o sistema de telemetria tenha alcance suficiente para operar em toda a sua extensão.

Como não é possível que sejam instalados dispositivos auxiliares, como antena, repetidores de sinal e afins na estrutura da pista, se faz necessário que o sistema desenvolvido atenda a um alcance de 900m, esta que é a distância máxima que o veículo da equipe se afasta do ponto onde a equipe fica localizada, durante a realização das provas da competição.

A definição dos dispositivos, bem como os resultados dos testes individuais dos testes, será apresentada na sequência.

3.3 Escolha dos dispositivos

Uma vez definidas as funcionalidades que o sistema deverá ter, é necessário definir quais os dispositivos que serão empregados no sistema.

Dentre estes temos sensores, dispositivo de armazenamento e transmissão de dados. A escolha dos dispositivos utilizados passa por uma série de fatores, dos quais podemos destacar o custo e a capacidade de atender às demandas necessárias do sistema. Além da facilidade na aplicação de um determinado dispositivo, uma vez que apesar de serem testados isolados, como será mencionado a seguir, estes dispositivos precisam operar em conjunto em um momento posterior.

Sendo assim, um processo de pesquisa foi realizado, localizando dispositivos possíveis para cada uma das funcionalidades e este levantamento em outro momento foi apresentado à equipe ATLAS para que se possa definir uma compra.

Um exemplo de tabela comparativa é apresentado a seguir.

Tabela 2 - Exemplo de tabela comparativa

COMPARATIVO DE SENSORES					
Modelo	A	B	C	D	E
Tensão Min	Volts	Volts	Volts	Volts	Volts
Tensão Max	Volts	Volts	Volts	Volts	Volts
Temperatura	°C	°C	°C	°C	°C
Temperatura	° C	° C	° C	° C	° C
Marca	Fabricante	Fabricante	Fabricante	Fabricante	Fabricante
Protocolo de	-----	-----	-----	-----	-----
Peso	g	g	g	g	g
Valor	R$	R$	R$	R$	R$

Fonte: Autor (2022)

Na Tabela 2, acima, é apresentado um exemplo de tabela de pesquisa, para os sensores de temperatura.

3.4 Teste dos dispositivos

Como mencionado em tópico anterior, nesta pesquisa realizou-se o processo de validação do funcionamento dos sensores demais periféricos.

Estes testes foram realizados fazendo uso de uma plataforma de prototipação baseada em ATMEGA328P, e os periféricos necessários para cada teste. Nos testes, um código voltado à testagem de cada dispositivo era executado visando garantir o funcionamento de cada sensor. Concluídos estes testes, os dispositivos foram aplicados na montagem do sistema, do qual os sensores realizaram a leitura, em forma sequencial, a fim de serem criados os vetores de dados, que posteriormente serão apresentados em um apresentados em um LCD, armazenados em um *SD Card* enviados através do módulo de comunicação *Xbee S2 Pro*, a partir do módulo de comunicação, que também passou por uma rotina de testes.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentar-se-á e discutir-se-á os resultados obtidos provenientes do desenvolvimento deste TCC.

4.1 Resultados preliminares

Inicialmente apresentar-se-á os resultados preliminares, obtidos das pesquisas para escolha dos dispositivos utilizados no projeto, bem como os testes de validação realizados com estes dispositivos em questão.

4.1.1 Unidades de sensoriamento

Todos os testes apresentados neste capítulo foram realizados com apoio de uma plataforma de prototipação baseada em ATMEGA328P, que a partir de códigos executados, exibia os valores obtidos nos testes através da porta serial.

4.1.1.1 Medição da Geolocalização

Para a escolha do módulo de GPS elaborou-se uma tabela comparativa entre os principais dispositivos disponibilizados no mercado, como apresentado na Tabela 3 a seguir.

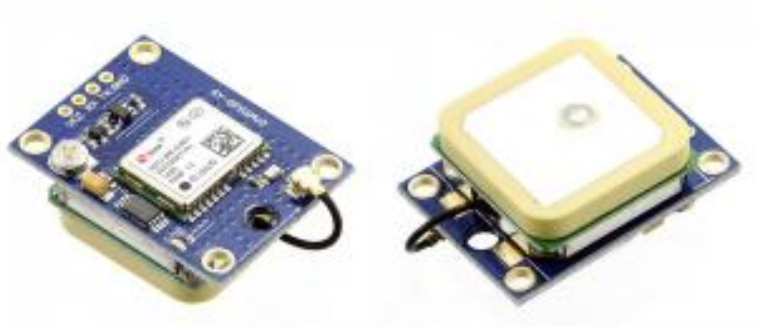
Tabela 3- Tabela comparativa de módulos de GPS

COMPARATIVO DE SENSORES					
Modelo	NE0 7M	Neo 6M V1	NEO 6M V2	APM 2.5	GTU7
Tensão Min	3V	3.3V	2.7V	3.3V	3V
Tensão Max	5V	5V	5V	5.5V	5V
Marca	Marca 1	Marca 2	Marca 3	Marca 4	Marca 5
Protocolo de	I2C	I2C	I2C	SPI	I2C
Peso	52g	18g	18g	-------	100g
Valor	R$73,37	R$52,02	R$45,09	R$53,00	R$43,78

Fonte: Autor (2023)

Para a aplicação do GPS, por possuir uma ampla documentação a respeito de sua utilização nos mais variados projetos tanto no campo da telemetria, como em outros campos, foi selecionado o Modulo NEO-6M V2 que é apresentado na Figura 19 a seguir.

Figura 19 - Módulo Neo 6M -V2



Fonte: Robocore (2022).

Na Figura 19 acima é mostrado o módulo NEO-6M V2 que é constituído de duas partes, uma antena e um transmissor. Suas características de funcionamento são apresentadas na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Características do Módulo GPS

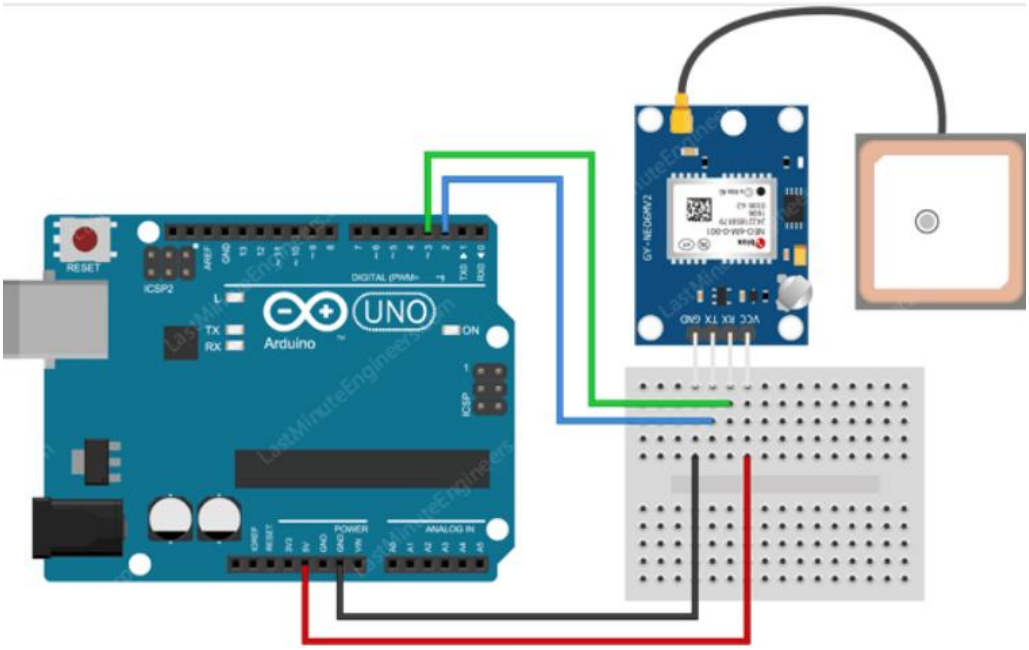
Parâmetro	Informação
Tensão de alimentação	5V
Corrente de trabalho	37 mA
Frequência	5 Hz
Precisão	2,5m

Fonte:Autor (2023)

Uma vez definido o uso deste dispositivo, o mesmo passou por um processo de validação, de seu funcionamento, conforme visto anteriormente, a chamada prova de conceito.

Na Figura 20 a seguir, é apresentado a estrutura das conexões de teste do módulo GPS utilizado,

Figura 20 - Conexões do teste do módulo GPS



Fonte: Eletrogate (2022)

Na Figura 21 a seguir é apresentado o resultado do teste de funcionalidade para o módulo GPS(*global position system*) NEO-6M V2, como mencionado no capítulo anterior, foi utilizado uma biblioteca para converter as mensagens geradas para apenas o horário e a localização via latitude e longitude.

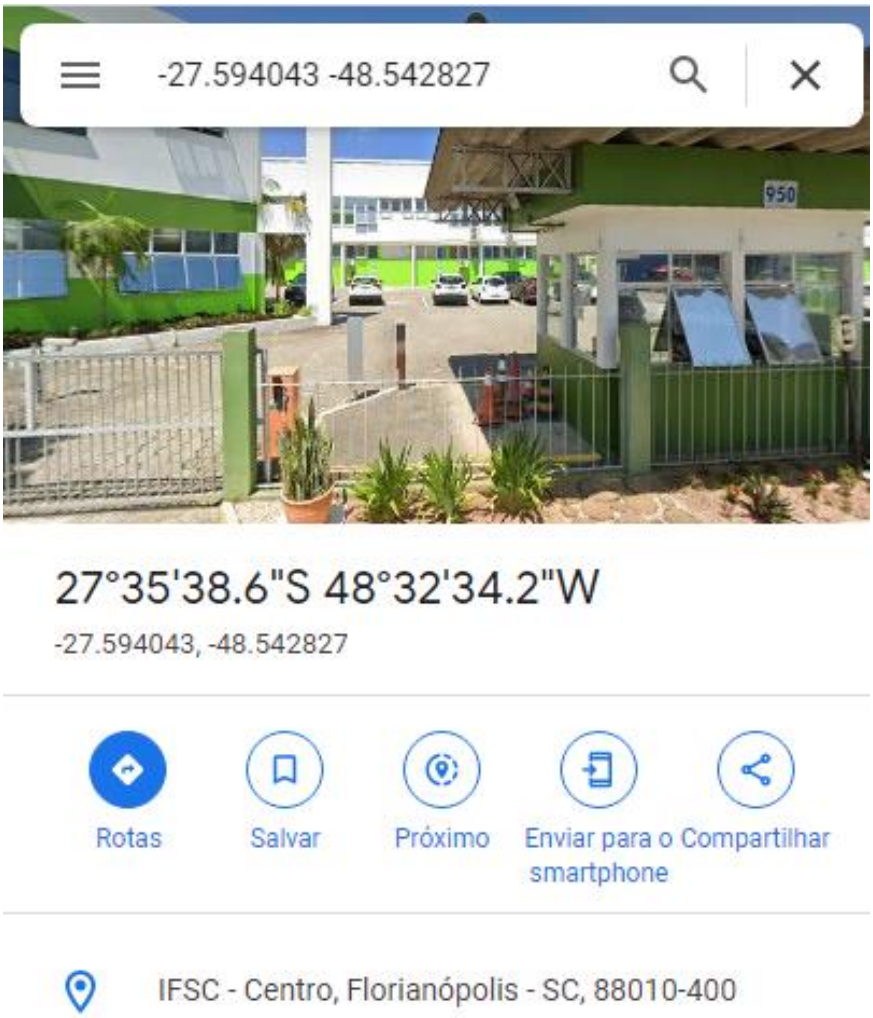
Figura 21 - Resultado prova de conceito GPS

```
21:02:35.752 -> Location: -27.594043,-48.542827
21:02:35.845 -> Location: -27.594043,-48.542827
21:02:35.892 -> Location: -27.594043,-48.542827
21:02:35.939 -> Location: -27.594043,-48.542827
21:02:36.033 -> Location: -27.594043,-48.542827
21:02:36.080 -> Location: -27.594043,-48.542827
21:02:36.124 -> Location: -27.594043,-48.542827
```

Fonte: Autor (2022)

Conforme indica a Figura 21, o resultado da localização indica a latitude como -27.594043 e a longitude como -48.542827, representados na Figura 22.

Figura 22 - Localização obtida via prova de conceito



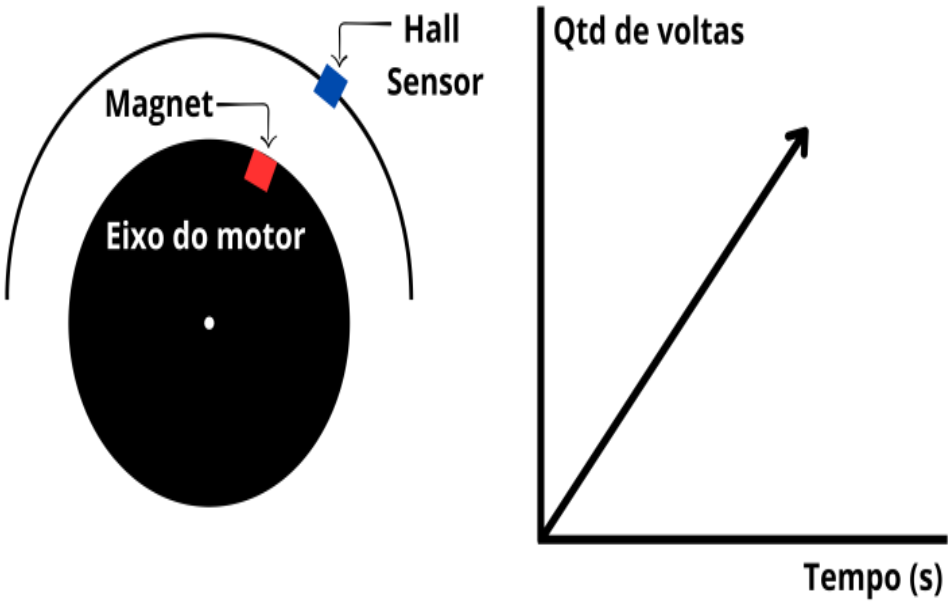
Fonte: Google (2022)

Ao aplicar as coordenadas mencionadas no *Google Maps*, obteve-se a localização do IFSC, lugar em que foi realizada este teste de funcionalidade.

4.1.1.2 Medição da Velocidade e das Rotações do motor

Para a medição da velocidade do veículo e rotação do motor foram utilizados sensores de efeito Hall, que apresenta um nível de tensão de saída proporcional ao campo magnético ao qual é exposto. Ímãs posicionados no eixo do motor e na roda do veículo produzem variações do campo magnético percebido pelos sensores Hall, indicando a quantidade de voltas realizadas por unidade de tempo, de onde se obtém a velocidade instantânea e rotação do motor. Uma ilustração da forma como a medição em um sensor do tipo Hall ocorre pode ser vista na Figura 23 a seguir

Figura 23 - ilustração do funcionamento do sensor Hall



Fonte: Adaptado de Avelar (2017)

Na Figura 23 acima, é apresentada uma ilustração referente ao funcionamento de um sensor de efeito Hall. No desenho, temos o eixo do motor representado, que possui um ímã em uma de suas extremidades. Ao passar próximo ao sensor Hall, o ímã é reconhecido.

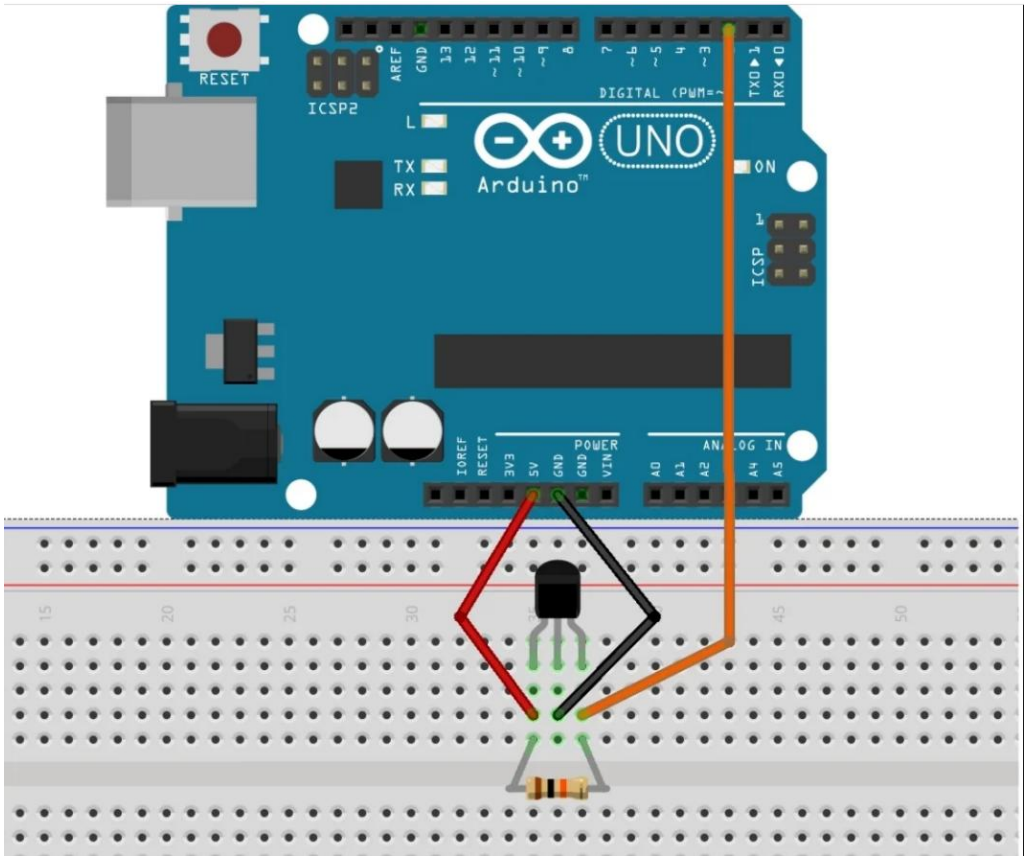
O cálculo implementado para a obtenção da rotação do motor baseia-se na quantidade de voltas dadas durante um intervalo de 1 segundo. Já para calcular a velocidade, considerando o diâmetro da roda, é possível determinar o

deslocamento em metros durante o intervalo de 1 segundo, permitindo assim obter a velocidade em Km/h.

Devido à ausência da conclusão do desenvolvimento do protótipo AER-24 para a aplicação do sensor de efeito Hall, no teste de operação, utilizou-se uma bicicleta elétrica como dispositivo de validação. A bicicleta recebeu um sensor de efeito Hall, posicionado na roda, para simular a operação do protótipo.

A Figura 24 a seguir, apresenta a conexão realizada na estrutura da bicicleta utilizada.

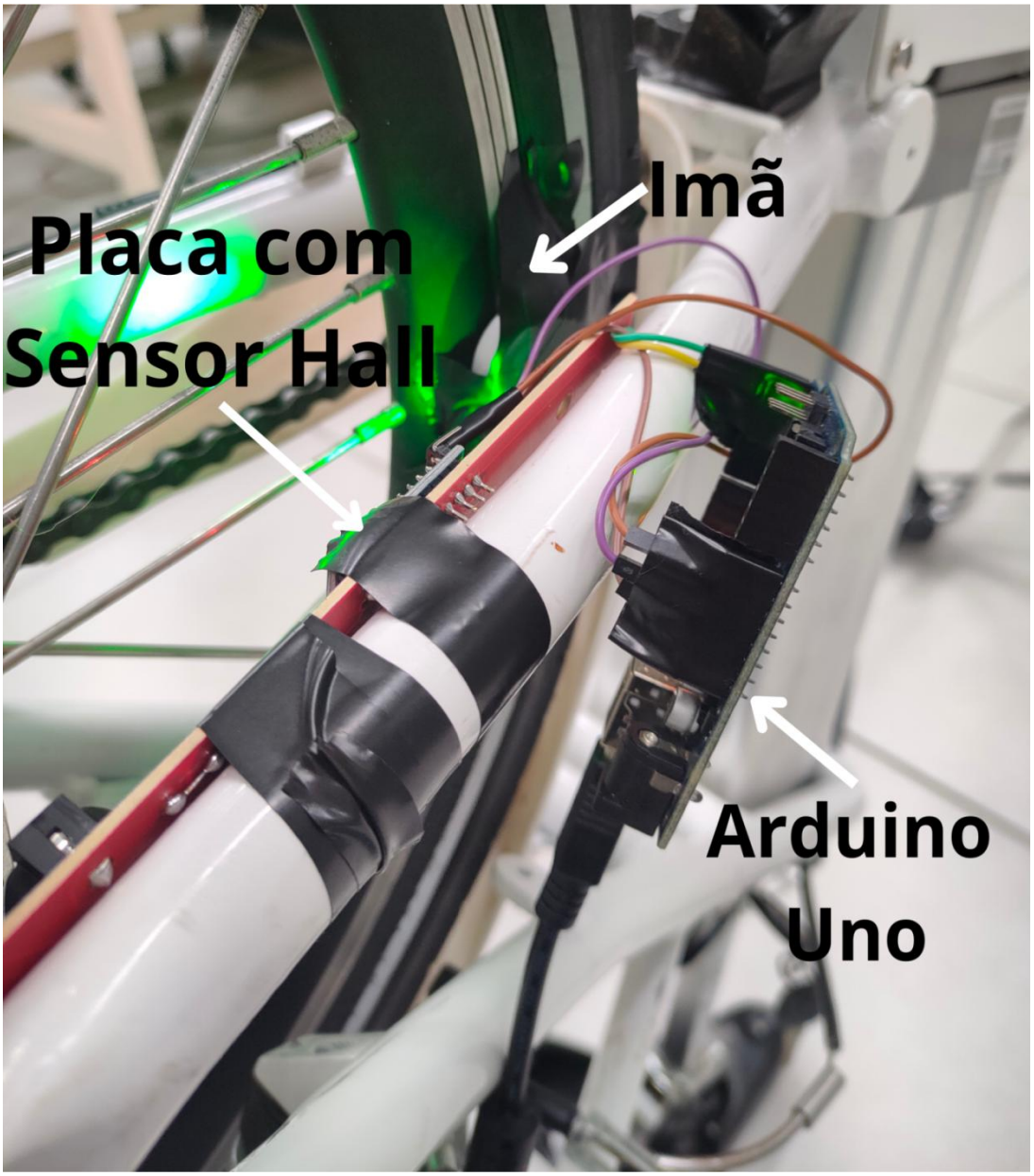
Figura 24 - Conexões do teste do sensor Hall



Fonte: UsinaInfo (2022)

Na Figura 25 a seguir, apresenta-se a estrutura preparada para a realização do teste com a utilização do eixo da bicicleta.

Figura 25 - Estrutura de Teste do Sensor Hall

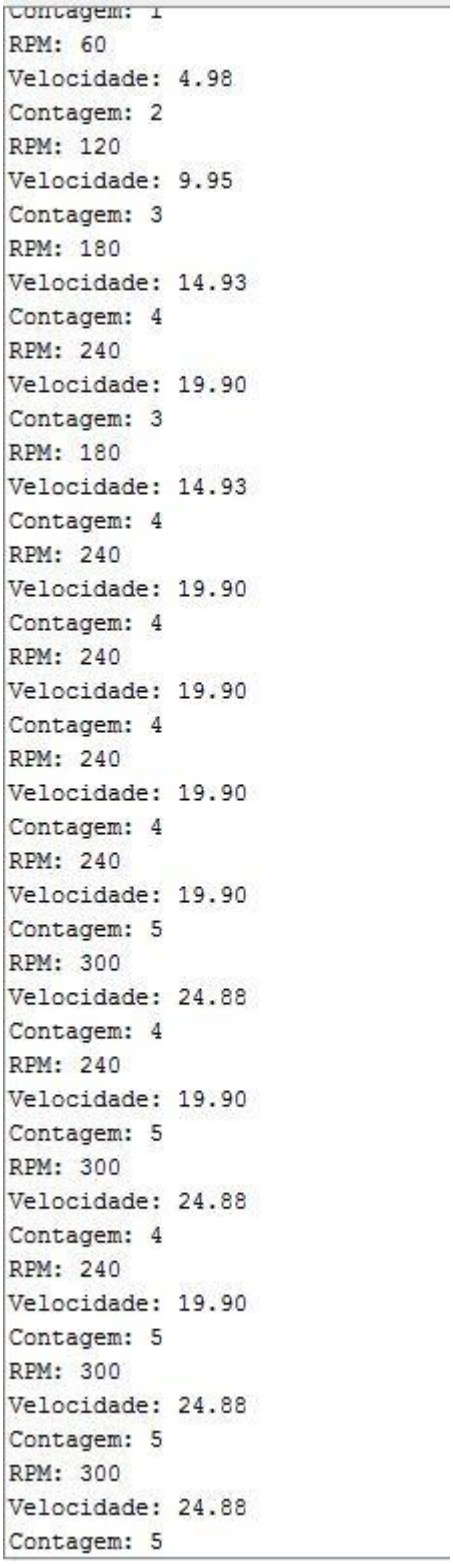


Fonte: Autor (2023)

Na estrutura montada, temos preso por uma fita isolante uma placa contendo um Arduino Pro Mini, resistores, LEDs e um sensor do tipo Hall. Este sensor reconhece a passagem do ímã, que está encaixado em um suporte e se movimenta junto com a roda da bicicleta. A informação da quantidade de rotações é então passada para o Arduino Uno por comunicação serial, e essa informação é exibida no Monitor Serial de um computador.

Com esta estrutura montada e o código preparado executado, foi obtido o seguinte resultado, apresentado a seguir na Figura 26:

Figura 26 - Resultado do teste do Sensor Hall



Fonte: Autor (2023)

Na Figura 26 acima, tem-se a apresentação do resultado do teste de leitura do Sensor Hall, 3 informações são apresentadas, a contagem de vezes que o

Imã foi reconhecido pelo sensor, e a partir desta informação são calculados os valores de Velocidade apresentado em km/h(quilômetros por hora) e rpm (Rotações por minuto) através das equações matemáticas Eq. 1 e Eq. 2, apresentadas a seguir :

$$RPM = Contagem * 60 \quad \text{(Eq. 1)}$$

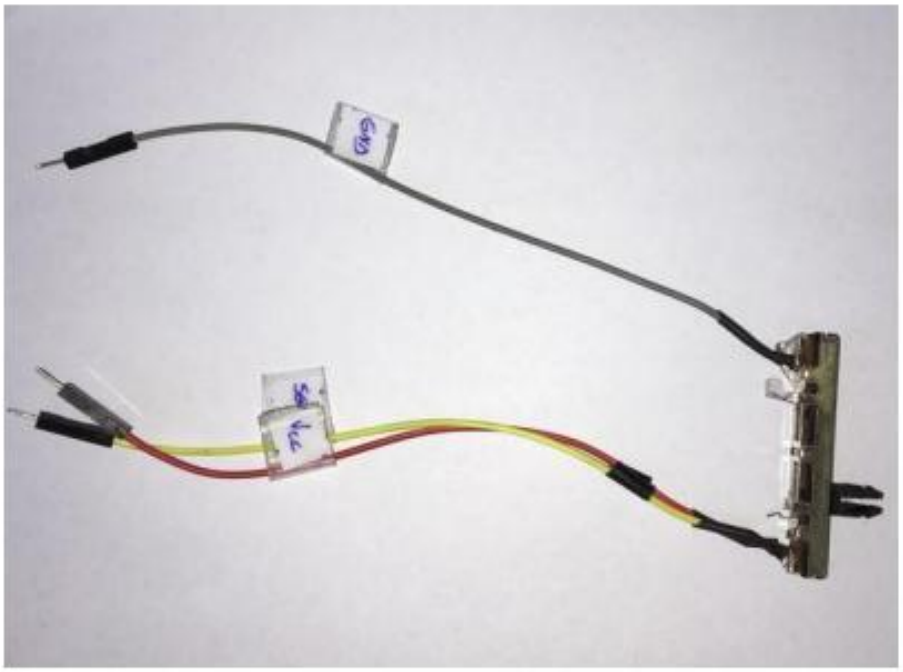
$$v = Contagem * 2 * \pi * 0.22 * 3.6 \quad \text{(Eq. 2)}$$

Na qual temos em Eq. 1, a multiplicação por um fator de 60 para obter as rotações no intervalo de um minuto, que seriam 60 segundos, e em Eq. 2, a multiplicação por π, além da constante 3,6 para realizar a transformação de metros / segundo para quilômetros / hora, além da constante 0,22 que é o raio da bicicleta utilizada em metros.

4.1.1.3 Medição da Intensidade de Frenagem

Na aplicação da medição da intensidade de frenagem temos a aplicação de sensores resistivos, que fornecem a medição desta intensidade de acordo com a variação da resistência lida. Um exemplo deste sensor é apresentado na Figura 27 a seguir.

Figura 27 - Sensor Resistivo

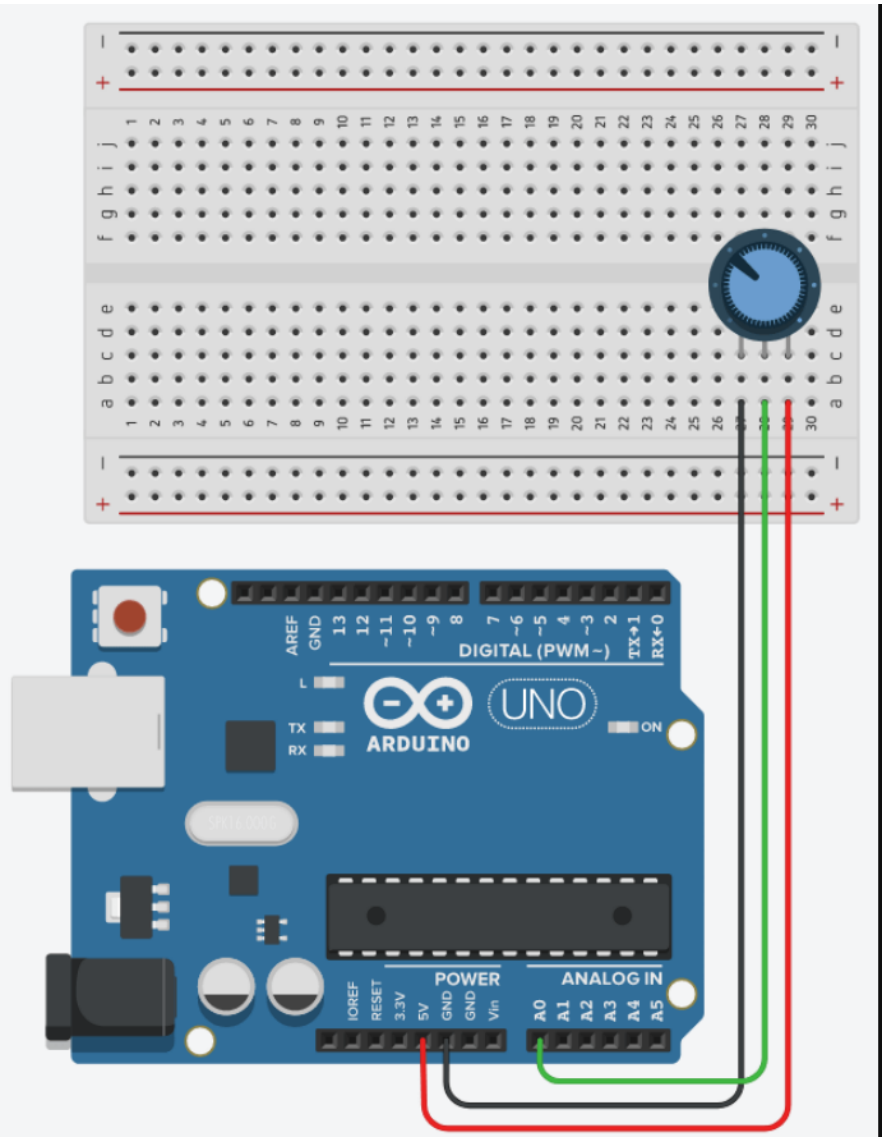


Fonte: Silva (2017)

De acordo com Silva (2017) a finalidade deste sensor é obter a medida do deslocamento linear da haste do cilindro mestre. Sua posição é estrategicamente definida para captar o movimento da junta da barra de equilíbrio, que fica diretamente acoplada aos cilindros mestres do sistema de freio do veículo.

Como o processo é similar, durante a aplicação dos testes de operação do sistema fez-se uso de um potenciômetro. A Figura 28 a seguir, apresenta as conexões realizadas para o teste do funcionamento.

Figura 28 -Conexões do teste do sensor analógico



Fonte: Medium (2021)

Na Figura 29 a seguir é apresentado o resultado do teste de funcionalidade deste sensoriamento.

Figura 29 - Resultado do teste do Sensor de Frenagem

```
Frenagem: 28 %
Frenagem: 38 %
Frenagem: 44 %
Frenagem: 49 %
Frenagem: 59 %
Frenagem: 61 %
Frenagem: 62 %
Frenagem: 45 %
Frenagem: 57 %
Frenagem: 48 %
Frenagem: 49 %
Frenagem: 53 %
Frenagem: 46 %
Frenagem: 57 %
Frenagem: 44 %
```

Fonte: Autor (2023)

Na figura 29 acima apresentou-se o resultado do teste isolado para os sensor de intensidade de frenagem.

4.1.1.4 Medição da Temperatura dos Pneus

Para a escolha do sensor de temperatura elaborou-se uma tabela comparativa entre os principais dispositivos disponibilizados no mercado, como apresentado na Tabela 5WWW a seguir.

Tabela 5 - Tabela comparativa de sensores de temperatura

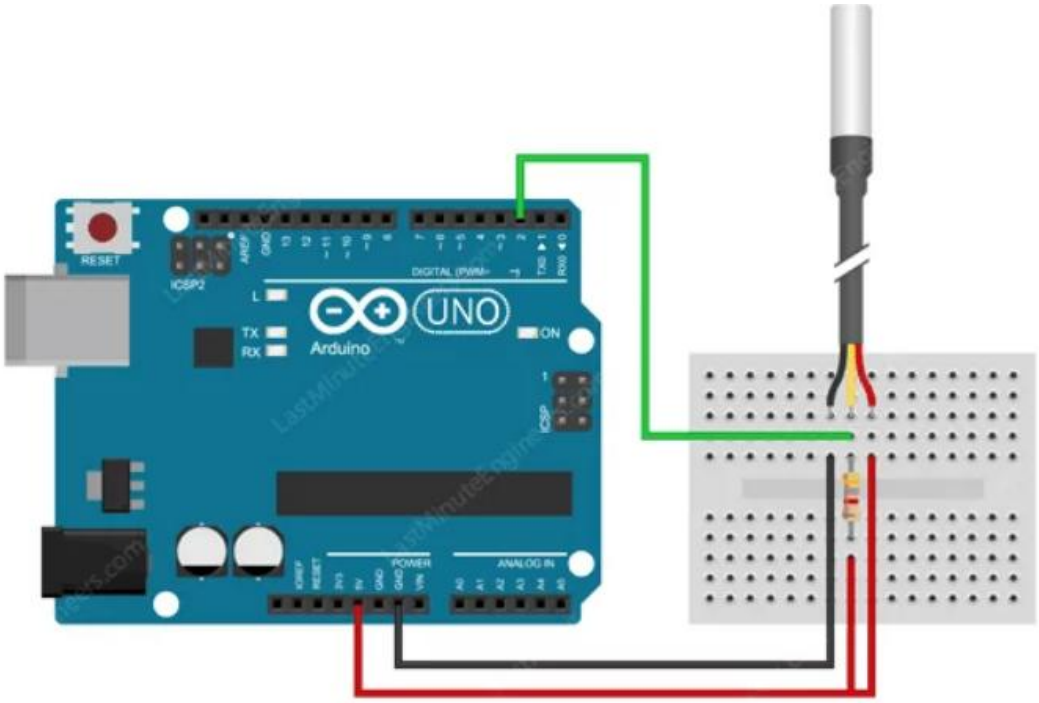
COMPARATIVO DE SENSORES					
Modelo	BMP180	DS18B20	LM35	TMP36	DHT11
Tensão Min	1.8V	3V	3V	3V	3V
Tensão Max	3.6V	5V	30V	5V	5V
Temperatura	0° C	-10° C	-55° C	-40° C	0° C
Temperatura	65° C	85° C	150° C	125° C	50° C
Marca	Marca 1	Marca 2	Marca 3	Marca 4	Marca 5
Protocolo de	I2C	One Wire	Analog	Analog	Analog
Peso	1.2g	21g	1.5g	0.5g	1.5g
Valor	R$13,00	R$10,00	R$15,00	R$25,00	R$17,00

Fonte: Autor (2023)

Realizada a análise destes dados comparativos, optou-se por realizar testes com 2 dispositivos inicialmente: o sensor DS18B20 e o sensor BMP180. O fato do sensor BMP180, possuir o mesmo endereço lógico para todos os sensores, acarretou em dificuldades de comunicação, haja vista que são necessários 4 sensores no projeto. Por outro lado, por utilizar endereços distintos, o DS18B20 não apresentou estas dificuldades, sendo o sensor escolhido.

Na Figura 30 a seguir, se apresenta as conexões realizadas para a realização do teste de funcionamento do sensor de temperatura utilizado.

Figura 30 - Conexões do teste do sensor de temperatura



Fonte: Locatelli (2021)

O teste de prova de conceito deste sensor é apresentado na Figura 31 a seguir.

Figura 31 - Prova de conceito dos sensores DS18B20

```
Temperatura : 23.2 C
Temperatura : 23.2 C
Temperatura : 23.1 C
Temperatura : 23.1 C
Temperatura : 23.0 C
Temperatura : 26.1 C
Temperatura : 27.6 C
Temperatura : 25.7 C
Temperatura : 24.8 C
Temperatura : 24.3 C
Temperatura : 24.1 C
Temperatura : 23.9 C
Temperatura : 23.7 C
Temperatura : 23.6 C
Temperatura : 23.5 C
Temperatura : 23.4 C
```

Fonte :Autor (2022)

O teste foi realizado em um lugar com temperatura ambiente, porém ao pressionar o local de leitura do sensor, pode-se notar um aumento na temperatura lida, chegando a 27.6ºC e confirmando, assim, o funcionamento do sensor.

4.1.1.5 Teste de Integralização

Concluída os testes individuais com os sensores, um teste final de validação foi realizado em bancada. Seu principal objetivo foi validar a aquisição conjunta das medidas. O resultado obtido é apresentado na Figura 32 a seguir.

Figura 32 - Resultado do teste de integração

```
Frenagem (%): 77
Contagem: 1
RPM: 60
Velocidade: 4.98
Temperatura: 23.25
Frenagem (%): 78
Contagem: 1
RPM: 60
Velocidade: 4.98
Temperatura: 23.25
Frenagem (%): 77
Contagem: 1
RPM: 60
Velocidade: 4.98
Temperatura: 23.25
Frenagem (%): 77
Contagem: 1
RPM: 60
Velocidade: 4.98
Temperatura: 23.25
Frenagem (%): 70
Contagem: 3
RPM: 180
```

Fonte: Autor (2023)

Todas as leituras ocorreram de acordo com o esperado, tanto em valores medidos como no tempo de execução das mesmas.

4.1.2 Módulo de comunicação sem fio

O Quadro 1 apresenta alguns dispositivos que poderiam atender à demanda de realizar a transmissão dos dados obtidos, bem como suas características.

Quadro 1 - Dispositivos de transmissão

Especificação	Xbee S2 Pro	Xbee S1	HC-05	NRF24L01	SIM808
Consumo	3.1mW	1mW	1mW	11.3mA	42mA
Taxa de dados	250 Kbps	250 Kbps	85.6kbps	250 Kbps	85.6kbps
Frequência	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	800MHz
Alcance teórico	1.2Km	800m	10m	100m	indefinido
Canais	16	16	16	125	22
Protocolo	Zigbee	Zigbee	Bluetooth	Wireless	GSM

Fonte: Autor (2022)

Considerando-se a necessidade de alcance de 900 m do Autódromo ECPA, optou-se pela utilização do Xbee S2 Pro. A Figura 33 a seguir apresenta este dispositivo.

Figura 33 - Módulo Xbee S2 Pro

Fonte: Saravati (2022)

O Xbee S2 é um módulo de comunicação via RF no padrão ZigBee IEEE 802.15.4, o qual permite comunicações operando na frequência ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 2.4 GHz, com 16 canais e um alcance em campo aberto de até 1200 m (DIGI, 2020).

O mapa de pinos do Xbee S2 Pro é apresentado na Figura 34 a seguir. Na aplicação no projeto, o dispositivo fica aplicado a um *Shield* de comunicação com a plataforma de prototipação utilizada.

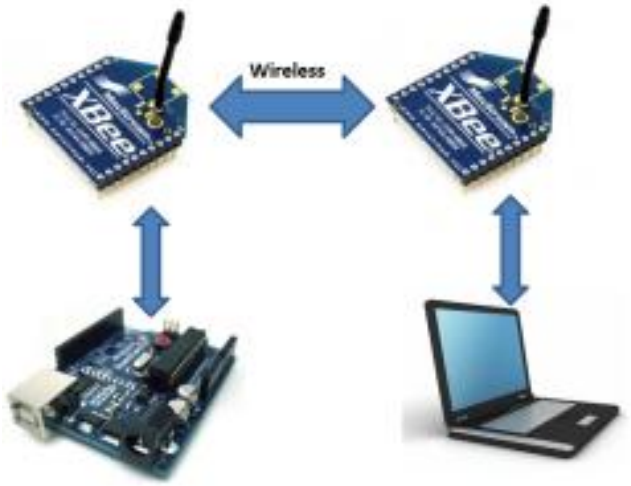
Figura 34 - Mapa de pinos do Xbee S2 Pro

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / **CONFIG**	Input	UART Data In
4	DO8*	Output	Digital Output 8
5	**RESET**	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator
7	PWM1	Output	PWM Output 1
8	[reserved]	-	Do not connect
9	DTR / SLEEP_RQ / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4 / DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	**CTS** / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / **SLEEP**	Output	Module Status Indicator
14	VREF	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	Associate / AD5 / DIO5	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	**RTS** / AD6 / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

Fonte: Rodrigues (2018)

Os dados, após serem adquiridos pelos devidos sensores alocados no protótipo, recebem um tratamento para se tornarem um vetor de informações, as quais são enviadas, via RF, pelo dispositivo Xbee escolhido. O esquema da Figura 35 apresenta como é feito esse processo.

Figura 35 - Representação do fluxo de envio dos dados



Fonte: Adaptado de Viani (2022)

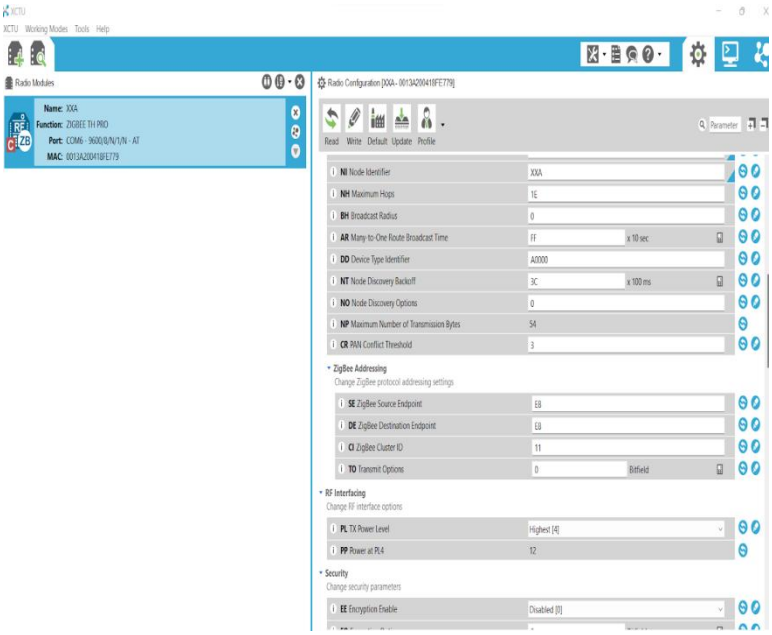
Uma vez definidas as ferramentas do projeto, foi então selecionado o local de testes, no caso, a área de atletismo no Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), com uma distância de 150m aproximadamente entre as partes. Esse local é apresentado na Figura 36:

Figura 36 - Local de testes do módulo Xbee

Fonte: Autor (2022).

Para o projeto, como visto anteriormente, foi utilizado o módulo Xbee S2 Pro. Porém, para que ele possa ser utilizado, é necessário que seja realizada previamente sua configuração, a qual se dá pela plataforma XCTU. A Figura 37 apresenta a interface inicial desta plataforma.

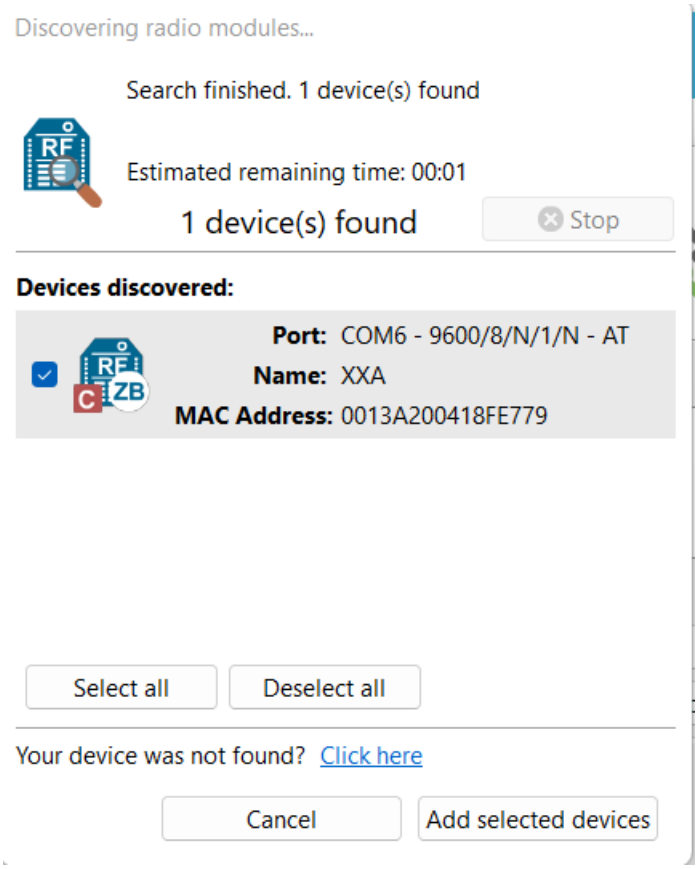
Figura 37 - Plataforma XCTU



Fonte: Autor (2022).

Na Figura 37 acima, temos a tela inicial da plataforma XCTU desenvolvida pela Digi, que é fabricante do módulo Xbee S2 Pro utilizado no projeto, por meio do XCTU, uma vez adicionado o dispositivo, é possível configurar a sua comunicação, definindo o nome da rede comunicação, a função do módulo adicionado, entre coordenador e receptor, definir o canal de comunicação, garantindo assim a segurança da comunicação com relação a interferência de outros módulos que possam estar próximos durante o uso. Além disto também é possível verificar se há atualizações de *Firmware* para o módulo, e em caso positivo, realizar a atualização por meio do XCTU, sem necessidade de outras ferramentas externas, trazendo assim um controle total do módulo Xbee. Ao adicionar um módulo no Software, as informações prévias deste são apresentadas, a Figura 38 a seguir apresenta a tela exibida assim que um dispositivo é incluído ao XCTU.

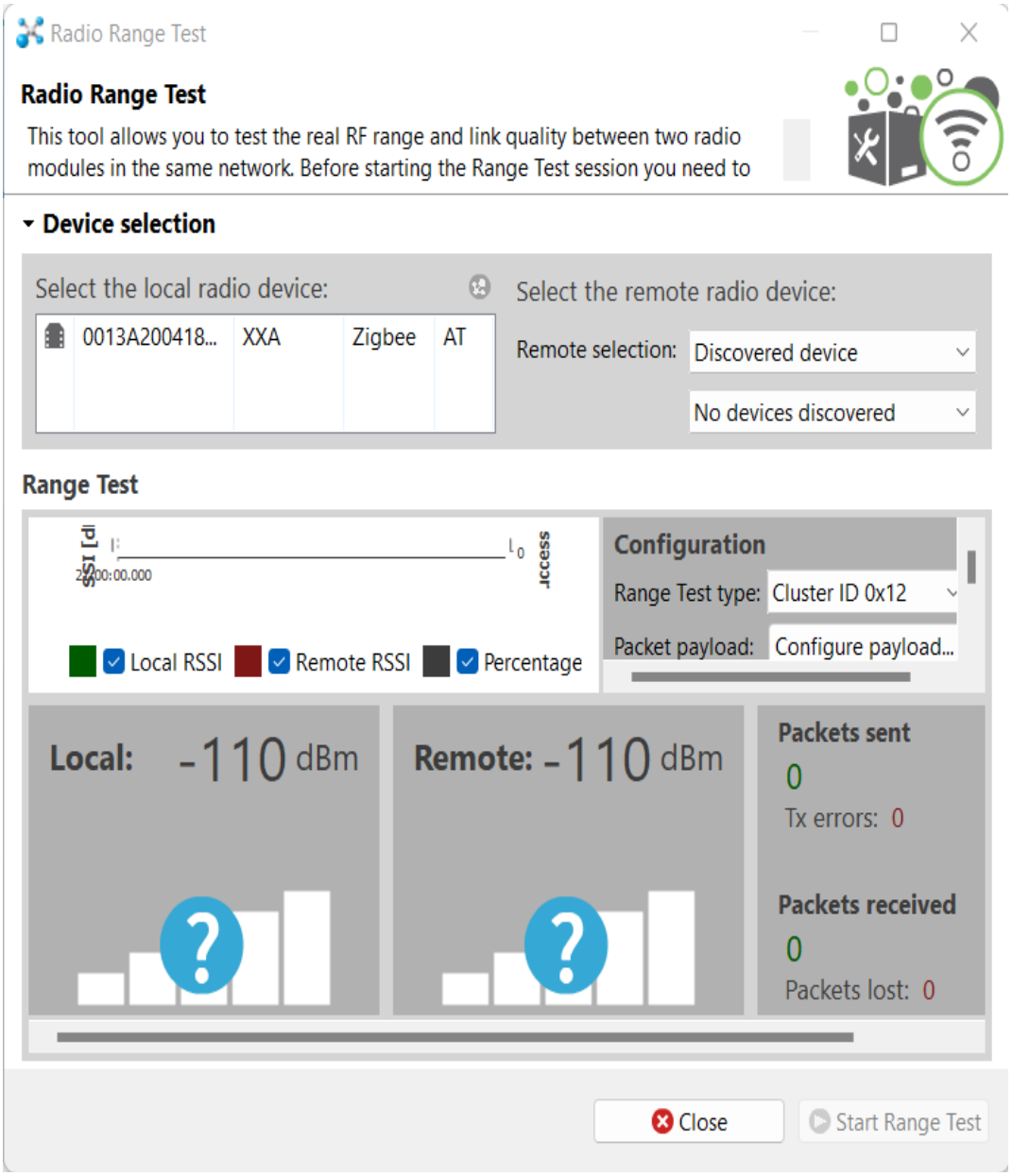
Figura 38 - Dispositivo Localizado



Fonte: Autor (2022).

A ferramenta XCTU apresenta algumas funcionalidades que permitem a verificação e a medição de parâmetros da rede, sendo uma dessas aplicações o *Range Test*, que possui como função principal realizar o teste do sinal de radio frequência e a análise qualitativa da comunicação entre módulos. Sendo assim, o *Range Test* pode ser utilizado para implementar um teste de constatação da distância máxima de comunicação e, também, da efetividade da taxa de envio e recebimento de pacotes entre os módulos. Além disso, é capaz de realizar a apresentação dos resultados desse teste de forma gráfica e com a indicação do número de pacotes recebidos em função da quantidade enviada. A configuração do parâmetro *Range Test* é vista na Figura 39:

Figura 39 - Parâmetros do Range Test



Fonte: Autor (2022).

Uma vez realizado o *Range Test* envolvendo o dispositivo de transmissão e recepção foram obtidos alguns resultados, para comprovação da comunicação e da eficiência da mesma. O quadro 2 a seguir apresenta alguns destes resultados

Quadro 2 - Resultados dos pacotes enviados

Pacotes enviados	Pacotes recebidos	Pacotes perdidos	Porcentagem de recepção
42	40	2	95.23%
56	50	6	89.28%
62	55	7	88.78%
96	85	11	88.59%

Fonte: Autor (2022).

O XBee S2 Pro é um módulo de comunicação sem fio, que como visto conta com um alcance declarado de 1200 metros, em um campo aberto. Porém, nos testes realizados, pôde-se observar que a presença de obstáculos, mesmo com uma distância de 150 metros entre os módulos, obstruiu a visão entre eles cessando a comunicação e, consequentemente, produzindo perda de pacotes.

Dada a compreensão desta limitação do dispositivo, é entendido por parte da equipe, que para futuras versões de atualizações do sistema, haverá a necessidade de retrabalhar a forma como os pacotes são enviados, ou ainda a substituição do módulo de comunicação.

4.1.3 Módulo de armazenamento

Uma vez que os dados dos sensores foram lidos, tratados e enviados em via RF para serem analisados pela equipe, é importante haver uma segunda forma de se registrar as informações obtidas. O módulo da Figura 40 apresenta o dispositivo utilizado nesta etapa do projeto.

Figura 40 - Módulo SD Card

Fonte: Robocore (2022).

O módulo *SD Card* também é muito robusto e pode ser utilizado em condições ambientais adversas, como temperaturas extremas ou ambientes com muita vibração. Isso o torna uma escolha popular para projetos de robótica e outras aplicações que exigem uma placa de expansão confiável e resistente.

Por fim, o módulo *SD Card* é uma opção muito econômica para o armazenamento de dados em projetos. Ele é amplamente disponível e pode ser encontrado em muitos sites de eletrônicos a preços acessíveis, o que o torna uma escolha popular para projetos de equipes de competição e afins.

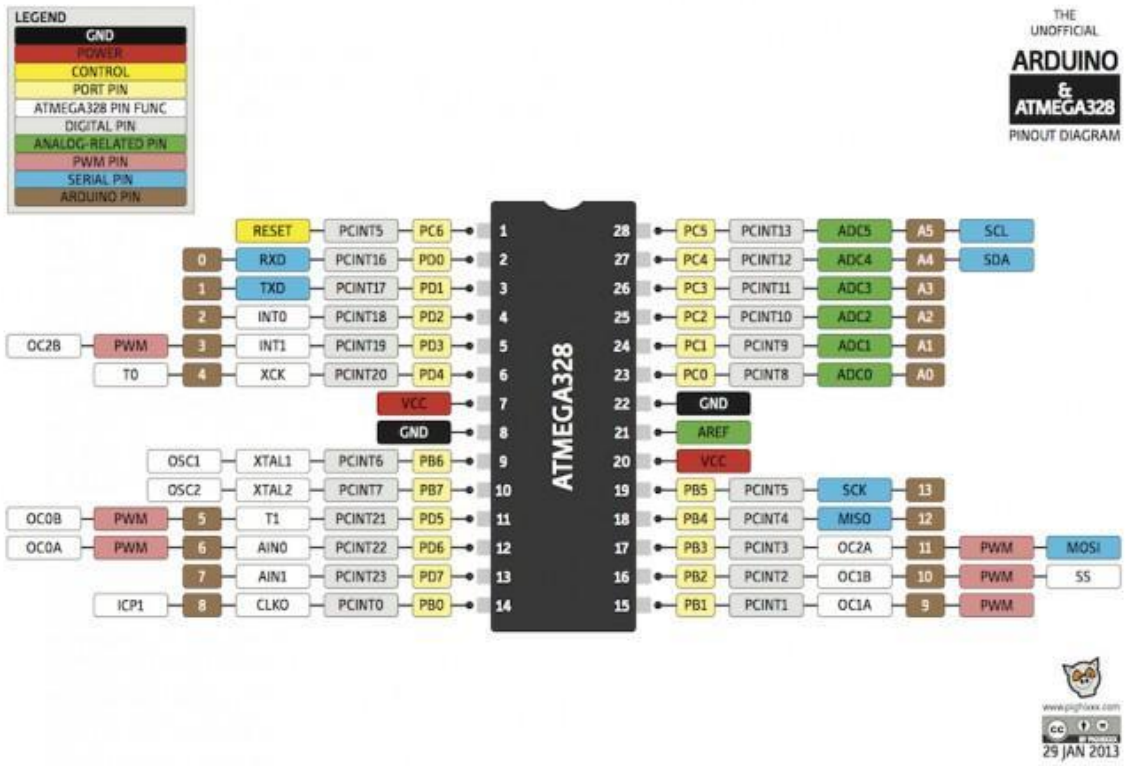
O módulo utilizado faz uso do protocolo de comunicação SPI, que é um protocolo de comunicação amplamente utilizado para transferência de dados entre dispositivos, proporcionando que a comunicação do modulo com a plataforma de prototipação baseada em ATMEGA238P ocorra. Elaborou-se um código para a criação do arquivo "log" e a solicitação de que as informações lidas pelos sensores, sejam armazenadas neste arquivo.

Este teste de funcionamento foi realizado com intuito de validar o funcionamento do módulo, bem como os demais testes realizados para os outros dispositivos apresentados neste trabalho, com isto, pode se constatar que o módulo poderá ser utilizado no projeto.

4.1.4 Microcontrolador

Tendo o seu esquemático mostrado a seguir na Figura 41 o Microcontrolador escolhido para a aplicação do projeto foi de portas do processador ATMEGA328P, que conta com 14 portas digitais, sendo que 6 delas com configuração para saída PWM, 6 portas analógicas (que também podem ser utilizadas como digitais), por meio de um ADC de 10 bits, além de portas de comunicação Serial, I2C e SPI, dentre outras funções (CAMPOS, 2015).

Figura 41 - Diagrama de portas do ATMEGA328P



Fonte: Bocci (2020)

Baseado em uma estrutura do tipo *RISC* (*Reduced Instruction Set Computer*) avançada que apresenta mais de uma centena de instruções, em uma arquitetura voltada para a programação em linguagem C,essa arquitetura, tem seu desempenho mesmo que utilizando um núcleo de 8 bits equivalente ao desempenho entregue por microcontroladores com arquiteturas de 16 bits (ATMEGA328P, 2011).

Para o desenvolvimento deste projeto foram utilizados dispositivos da família Arduíno, que segundo Thomsen (2014), surgiram na Itália em 2005 e

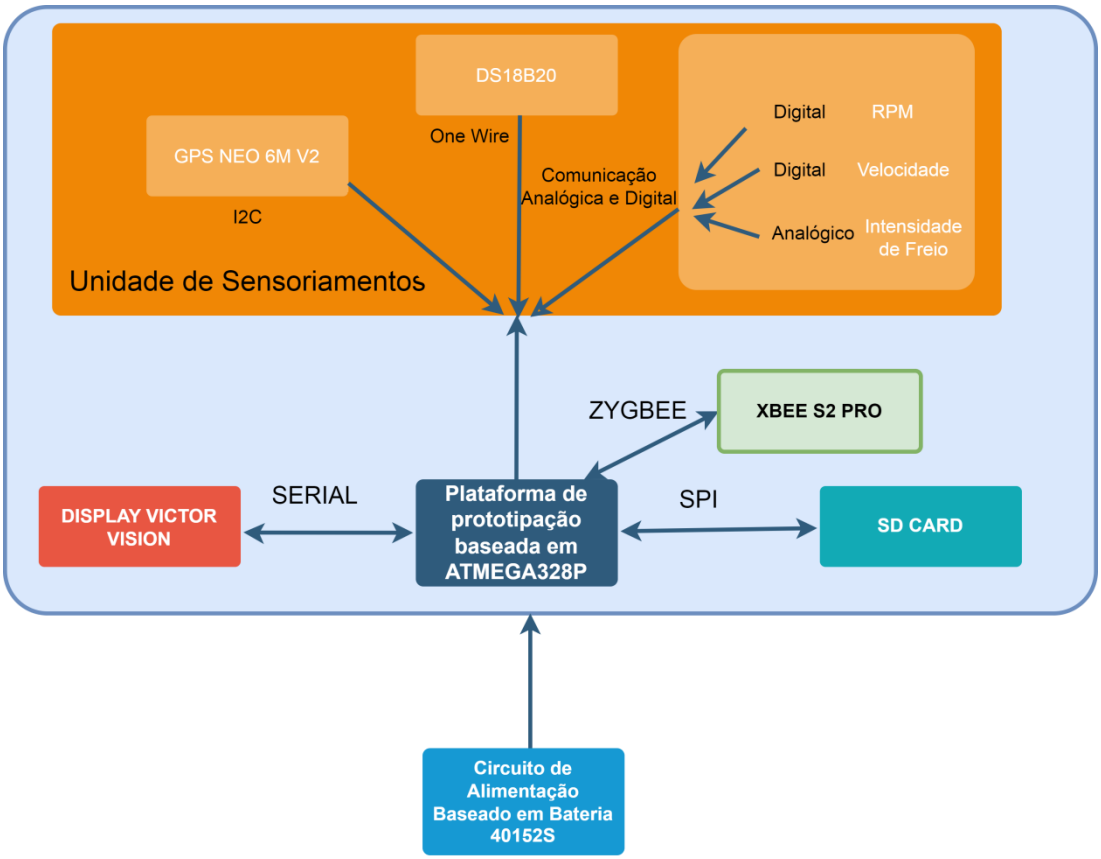
empregam um conceito de *hardware* livre a partir de um microcontrolador que pode ser programado de forma facilitada por via de uma IDE (*Integrated Development Environment*) própria em uma linguagem baseada em C/C++, sem a necessidade adicional de se utilizar qualquer outro circuito externo ou equipamento além de um cabo USB(*Universal Serial Bus*).

A escolha do ATMEGA328P deve-se à sua simplicidade de uso e programação, bem como à disponibilidade de diversas funções úteis que ajudam na criação de códigos. Adicionalmente, é possível realizar testes preliminares dos sensores com facilidade, uma vez que há uma ampla documentação sobre tal chip., Com base no número de portas e especificações do processador, essa opção é totalmente viável e ainda permite melhorias nos módulos futuramente.

4.1.5 Estrutura final

Após a seleção de todos os dispositivos que fazem parte do projeto em questão, voltamos ao diagrama arquitetural apresentado na Figura 17 anteriormente, atualizando-o de acordo com os dispositivos selecionados. Dessa forma, o diagrama fica apresentado da seguinte forma:

Figura 42 - Diagrama Arquitetural



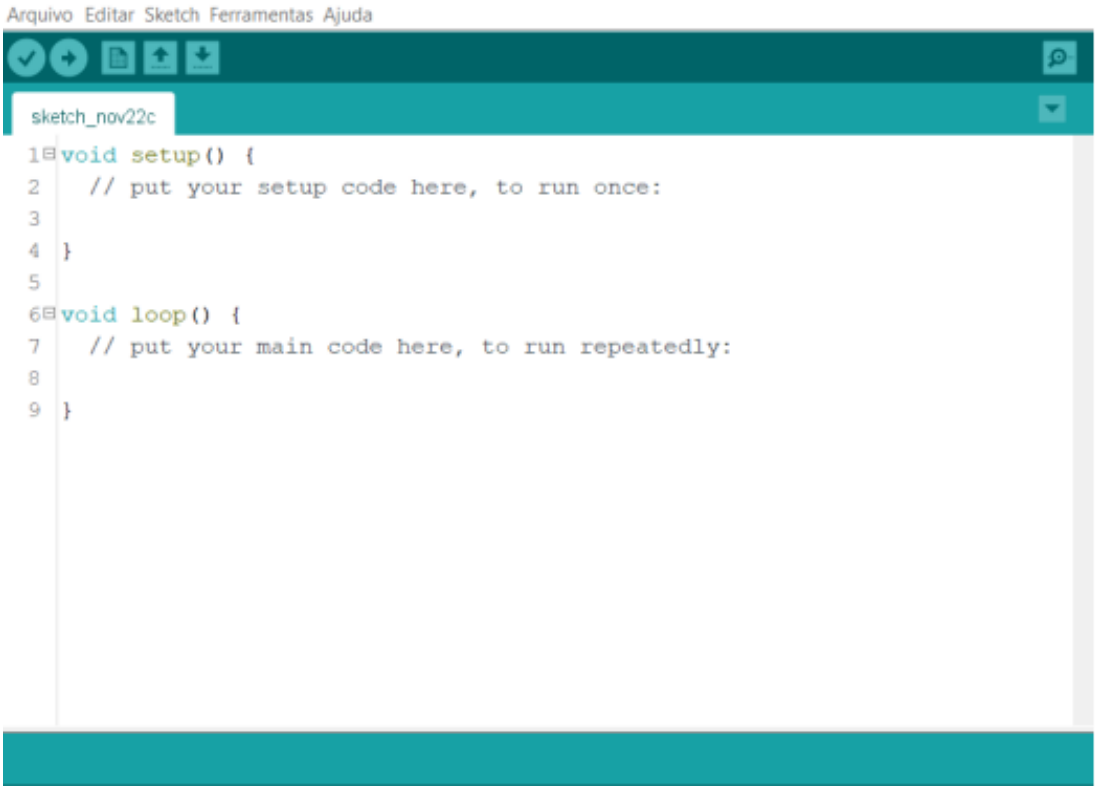
Fonte: Autor (2023).

Na Figura 42 acima reapresentamos o Diagrama Arquitetural do projeto, desta vez com os dispositivos selecionados. Esta estrutura é a utilizada no projeto.

4.1.6 Estrutura de Software

O *Firmware* aplicado ao projeto foi desenvolvido através da IDE do Arduíno, que é compatível com o microcontrolador escolhido para o projeto, a tela inicial desta IDE é apresentada na Figura 43 a seguir.

Figura 43 - Tela inicial da IDE do Arduíno



Fonte: Autor (2023).

A IDE de código aberto do Arduíno permite que sejam elaborados códigos em linguagem de programação, e a transmissão do código desenvolvido para um microcontrolador. Esta interface permite testar os programas desenvolvidos antes da sua implementação, o que a torna apropriada para a criação de novos códigos que possam ser objetos interativos independentes. (MCROBERTS, 2011)

O Vetor de variáveis do projeto tem seu formato apresentado a seguir no Quadro 3.

Quadro 3 - Estrutura do vetor de variáveis do projeto

Rotação do Motor
Velocidade
Temperatura Pneu 1
Temperatura Pneu 2
Temperatura Pneu 3
Temperatura Pneu 4
Intensidade de Frenagem
Latitude
Longitude

Fonte: Autor (2023).

Este vetor de variáveis é criado a cada ciclo de execução da lógica principal, que passa a ser executada sempre que o sistema entra em operação e seu encerramento se dá apenas quando o veículo é desligado.

Finalizada estas etapas, passaremos a apresentar os resultados do projeto.

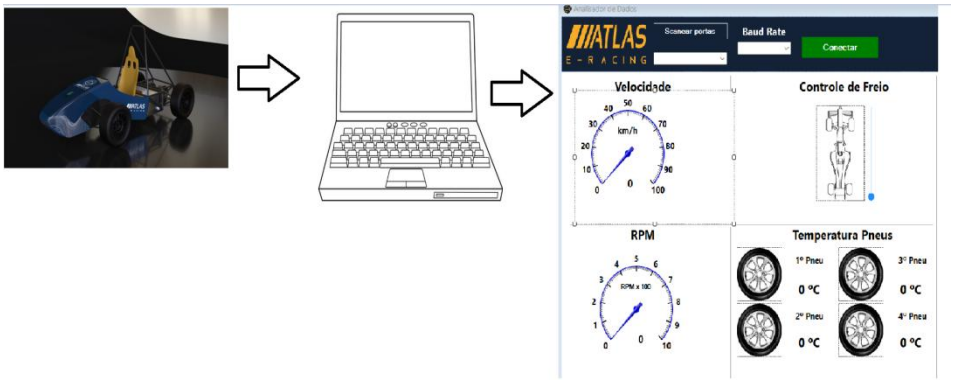
4.2 Resultados do sistema

4.2.1 Resultados da plataforma

Para que a equipe acompanhe em tempo real o desempenho de seu protótipo, os dados dos sensores como visto anteriormente são enviados via Xbee para a equipe, que uma vez recebidos são então exibidos aos membros através de uma plataforma gráfica sendo executada nos computadores. Esta plataforma foi desenvolvida visando atender as necessidades da equipe, para acompanhar o desempenho e poder assim tomar a decisão mais assertiva buscando obter um melhor resultado. Uma vez que como visto na Fundamentação Teórica a análise de dados é de extrema importância para as equipes de competição.

Na figura 44 é apresentado o diagrama de fluxo dos dados da plataforma, na qual temos os dados coletados, que em seguida os envia via Xbee para a equipe.

Figura 44 - Fluxo de envio de informações

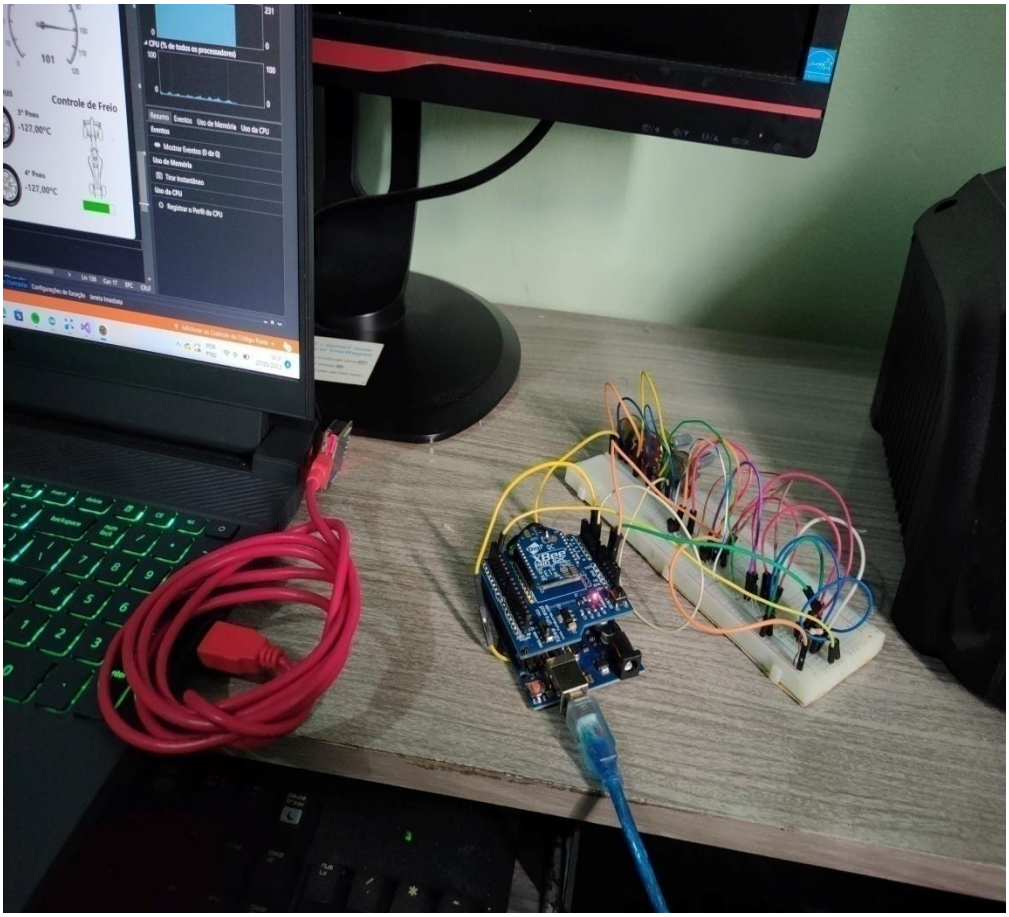


Fonte: Autor (2023).

Dentre todas as ferramentas disponíveis para o desenvolvimento do sistema, utilizou-se a plataforma *Visual Studio* da *Microsoft* para implementar os elementos gráficos do painel, uma vez que esta conforme pode ser visto na literatura, vem sendo aplicado em sistemas similares, além de possibilitar a inclusão de elementos gráficos de forma relativamente simplificada. A plataforma em questão foi desenvolvida em estágio inicial com intuito de realizar a validação da tecnologia comprovando a sua aplicabilidade para a equipe.

A Figura 45 a seguir apresenta a montagem de um dos testes realizados para a validação da plataforma desenvolvida.

Figura 45 - Ambiente de testes



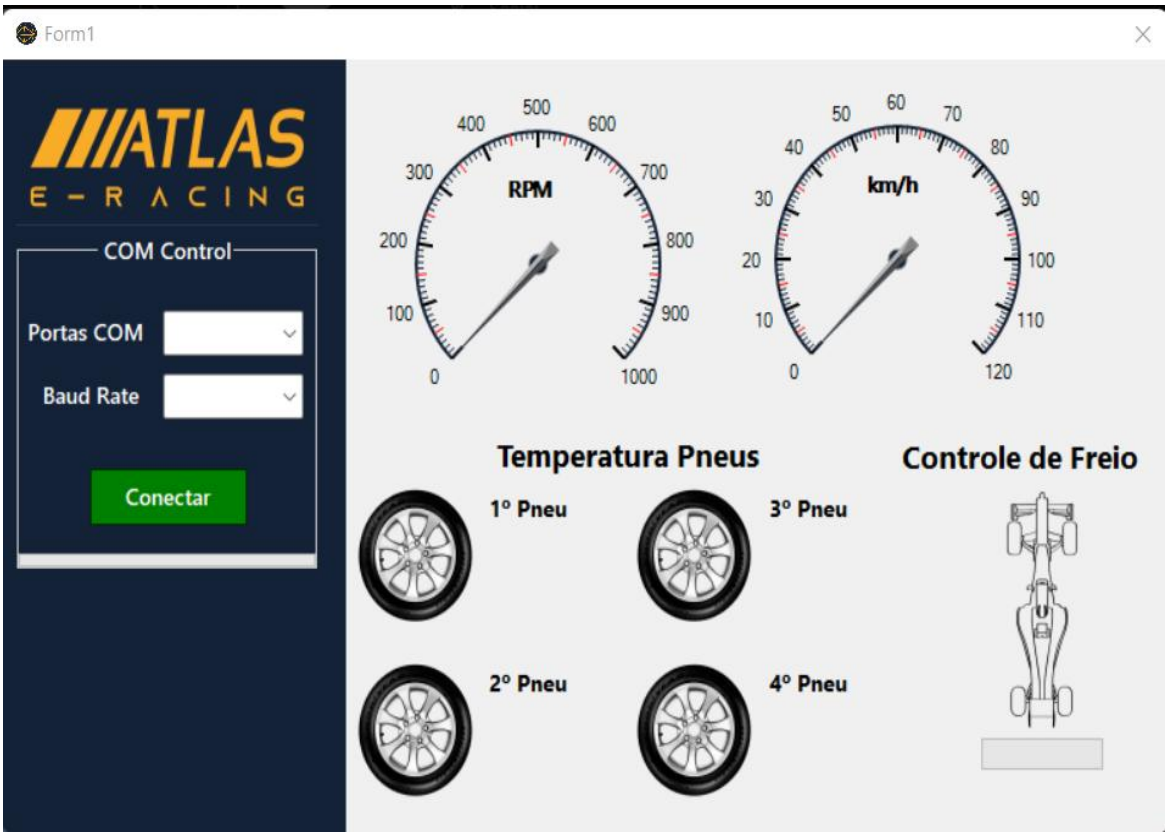
Fonte: Autor (2023).

Na Figura 45 acima se apresenta uma montagem de teste, onde temos conectado a um ponto de alimentação a plataforma de prototipação baseada em ATMEGA328P conectada ao *shield* do Xbee S2 Pro e os sensores, e em um computador conectado o receptor de Xbee S2 Pro, executando a plataforma gráfica desenvolvida.

Além disto, ao optar-se por uma ferramenta de grande aplicabilidade, nas mais variadas áreas, e contar com ampla documentação, possibilita a equipe futuramente a adição de mais sensores no veículo e conseguintemente mais informações sendo exibidas na plataforma em questão.

Conforme mencionado as informações consideradas neste momento são as temperaturas dos pneus, e os indicadores de velocidade, rotação, e frenagem além de coordenadas de posicionamento do veículo. A plataforma de desenvolvida é apresentada na Figura 46 a seguir.

Figura 46 - Plataforma desenvolvida

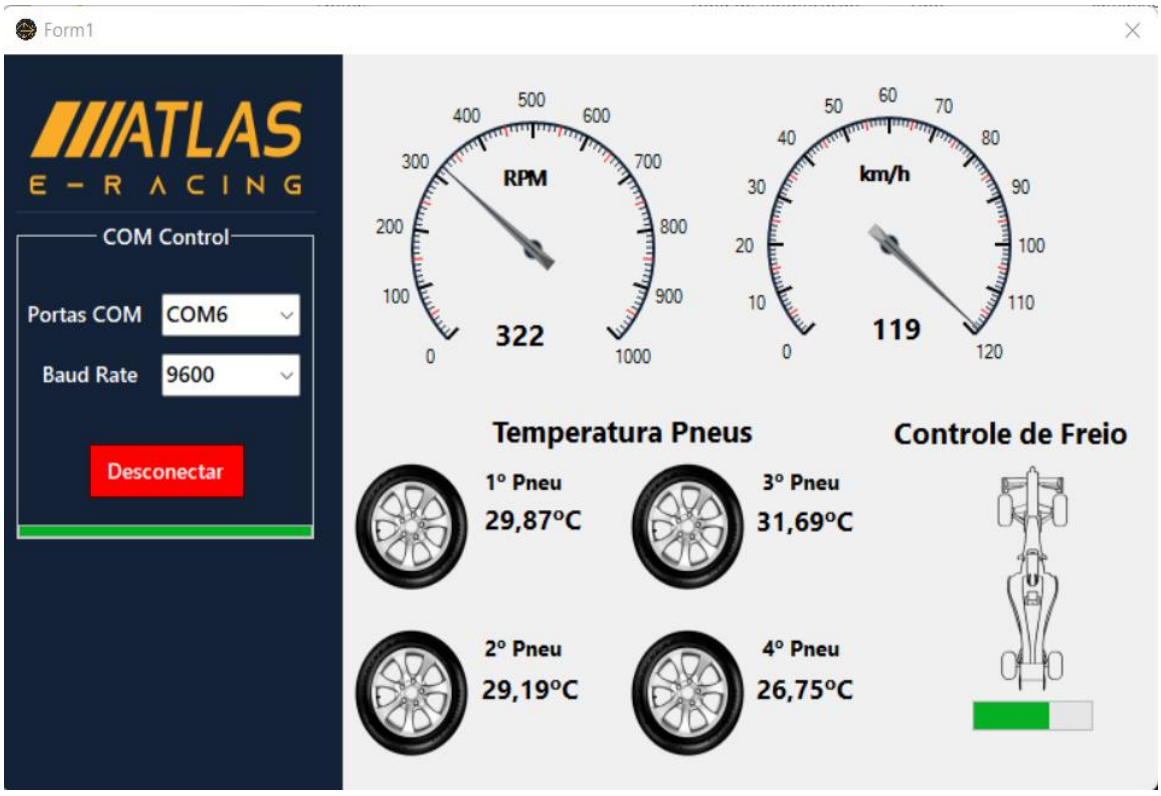


Fonte: Autor (2023).

Na figura 46 acima é apresentado a plataforma que foi concebida para a aplicabilidade no protótipo AER-24, e que poderá ser utilizada nos próximos protótipos, considerando sua ampliação, e evolução, acompanhando os demais setores de atuação da equipe. Ainda considera-se que pela a ausência do protótipo concluído, não foi possível realizar testes finais da plataforma.

Porém testes de bancada foram realizados para confirmar a atuação do sistema. O resultado pode ser observado na Figura 47 a seguir.

Figura 47 - Plataforma em funcionamento



Fonte: Autor (2023).

A Figura 47 acima exibe os resultados do teste do sistema de telemetria, inicialmente o sistema faz um processo de "escanear" as portas COM do computador, indicando para seleção apenas as portas disponíveis, em seguida selecionada a porta COM, é necessário fazer a seleção do *Baud Rate* que no caso do projeto desenvolvido, é fixado em 9600, logo após a definição, o sistema inicia a execução. Para que todos os sensores tenham sido inicializados, reduzindo a quantidade de erros que possam ser apresentados a equipe, os primeiros 10 vetores recebidos são descartados pelo sistema.

Os testes realizados, tanto no IFSC, como em outros locais, como a residência do desenvolvedor do projeto, revelam um desempenho de acordo com as expectativas. Os dados coletados demonstram que o sistema está funcionando de forma eficiente.

Os resultados mostram que os dados de telemetria estão sendo coletados corretamente e transmitidos de forma consistente. As leituras dos sensores estão em sincronia com as medições esperadas, indicando que o sistema está capturando com precisão as informações necessárias.

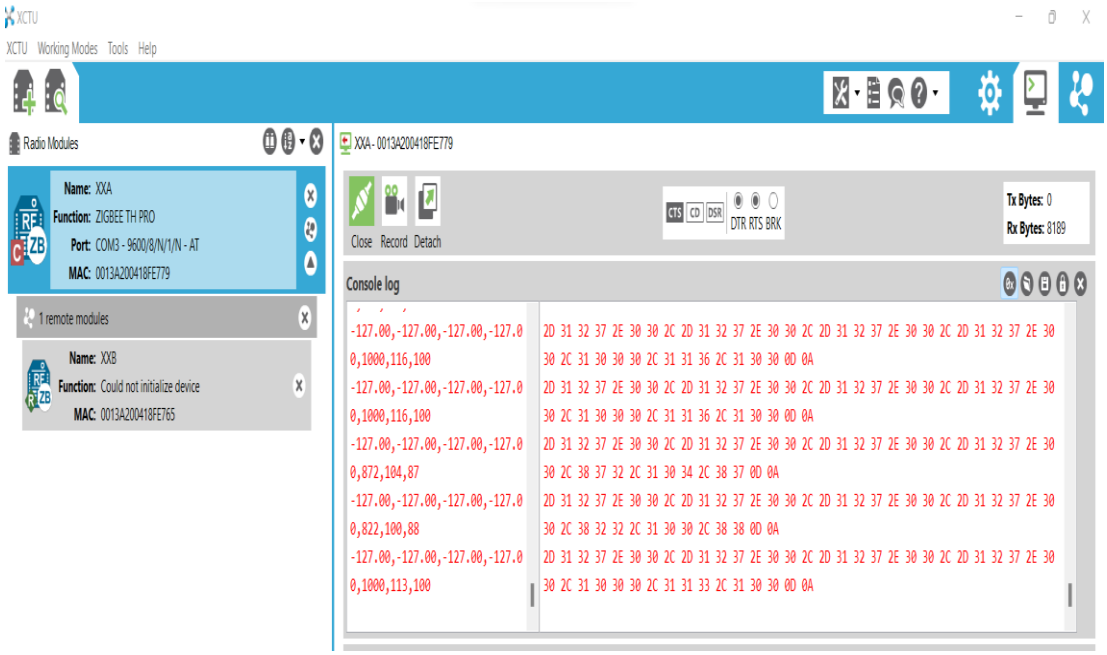
Isso indica que o sistema de telemetria está operando de maneira eficaz, permitindo o controle e monitoramento adequados do sistema que está sendo testado.

Evidenciando que o sistema de telemetria está fornecendo informações relevantes e precisas para a análise e tomada de decisões. Os dados coletados estão sendo apresentados de forma clara e legível, facilitando a interpretação e compreensão dos dados pelos responsáveis

4.2.2 Validação dos dados

Com as informações dos sensores coletadas, tratadas e enviadas para o *display* e também para a central da equipe, tem-se a necessidade de realizar a persistência dos dados obtidos. Utilizando de alguma outra ferramenta, os parâmetros recebidos durante uma comunicação através do software XCTU conforme apresentado na Figura 48 na sequência, não representavam de uma forma clara para a equipe, a possibilidade de uma analise posterior.

Figura 48 - LOG dos pacotes via XCTU



Fonte: Autor (2023).

Assim sendo também foi realizado o envio das informações para um módulo SD CARD, com intuito de realizar a persistência dos dados, através do *log* armazenado neste SD CARD.

Uma vez que estes dados foram enviados via rádio, e com isto ocorre a possibilidade da perda de pacotes de dados, como visto pela plataforma XCTU. Desta forma a persistência destes dados entrega ao projeto duas possibilidades. Além da validação dos dados enviados e recebidos, há também a possibilidade de visualizar os dados de medição dos sensores a qualquer momento. Para uma análise destes dados por parte dos membros da equipe. Na Figura 49 a seguir apresenta-se o arquivo de log mencionado,

Figura 49 - LOG em csv

Temperatura Pneu 1	Temperatura Pneu 2	Temperatura Pneu 3	Temperatura Pneu 4	RPM Motor	Velocidade	Latitude	Longitude	Frenagem
Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
26.30	27.83	27.19	28.49	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
26.50	28.03	27.31	27.47	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
26.24	28.45	27.32	26.99	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
26.32	28.10	27.21	27.01	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
26.82	27.85	26.77	26.86	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
26.75	27.73	26.58	27.73	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
26.54	27.45	27.22	27.63	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
27.01	27.34	27.33	27.79	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
27.14	27.56	27.49	27.66	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
27.25	27.64	27.82	27.60	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
27.50	27.47	28.18	27.60	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
26.24	28.20	28.11	27.48	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
26.32	27.73	28.64	27.23	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
26.82	27.87	29.07	26.97	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
26.75	27.47	29.35	26.26	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
26.54	27.22	29.27	26.05	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
27.31	27.65	29.50	26.00	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
27.14	27.73	28.76	25.89	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
27.01	27.82	28.26	26.31	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00
27.14	27.29	28.66	26.46	0.00	0.00	-27.655853	-48.675193	0.00

Fonte: Autor (2023).

Na Figura 49 acima é apresentado o arquivo criado em formato csv que é encaminhado e extraído do SD CARD aplicado ao módulo utilizado. Este arquivo é gerado sempre que o sistema é executado e pode ser utilizado para análise conforme citado anteriormente sempre que necessário.

Com isto finaliza-se a apresentação dos resultados deste trabalho, validando-se todas as etapas de desenvolvimento, que foram embasadas pelos conceitos técnicos apresentados na Fundamentação teórica apresentada anteriormente neste trabalho.

4.3 Discussão dos resultados

Este trabalho consistiu no desenvolvimento de um sistema eletrônico para a aquisição de variáveis de temperatura, velocidade, rotação do motor, intensidade de frenagem e posicionamento do veículo, armazenamento e disponibilização destas informações por meio de um *display* LCD e de comunicação sem fio através de um dispositivo Xbee S2 Pro. Os testes realizados indicam que os sensores aplicados operaram de forma satisfatória. Em relação ao dispositivo de transmissão, os resultados demonstraram que sua operação adequada ocorre apenas em distâncias curtas, sem a presença de obstáculos. Assim, é necessário rever o dispositivo de transmissão inicialmente escolhido nas futuras versões, ou rever o algoritmo de comunicação, implementando um *buffer* para armazenar os dados durante o período sem conexão.

Isso se deve ao fato de que, em um cenário em que a competição nacional ocorra em um autódromo diferente, com distâncias maiores a serem cobertas, o sistema pode enfrentar instabilidades ainda maiores. Além disso, considerando a participação da equipe em edições internacionais do torneio, como no autódromo de Lincoln, EUA, onde as últimas edições internacionais envolvendo os campeões locais ocorreram, a distância entre o box e o ponto mais distante da pista pode ultrapassar 1 quilômetro. Essa distância inviabiliza parcialmente a operação do Xbee S2 Pro.

4.3.1 Análise de custos

Considerando que a equipe está iniciando sua trajetória na competição e enfrenta altos custos com os componentes obrigatórios, que podem chegar a dezenas de milhares de reais, é fundamental que o sistema de telemetria seja acessível. Embora não seja obrigatório para a equipe, conforme mencionado anteriormente neste trabalho, sua relevância é bastante significativa. Portanto, é essencial que o custo desse sistema seja consideravelmente baixo, viabilizando sua implementação pela equipe.

Desta forma a Tabela 6 a seguir apresenta os valores estimados para a aplicação do projeto desenvolvido ao longo deste trabalho.

Tabela 6 - Tabela de custos

Dispositivo	Quantidade	Custo Unitário
Sensor DS18B20	4	R$ 14,04
Módulo GPS Neo-6M V2	1	R$ 55,00
Par Xbee S2 Pro	1	R$ 998,00
Plataforma baseada em ATMEGA328P	1	R$ 63,45
Sensores Hall	2	R$ 8,46
Sensor analógico	1	R$3,61
Módulo SD Card	1	R$ 11,65
Shield Xbee S2 Pro	1	R$39,90
SD Card	1	R$19,90
Display 3.5 Polegadas VV	1	R$303,00
Custo total	—---	R$1567,59

Fonte: Autor (2023).

Com um custo de 1567,59 em Reais, temos um custo relativamente baixo, conforme esperado para um projeto deste porte.

Com isto conclui se a apresentação dos resultados desenvolvidos ao longo deste trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A eletrônica embarcada, tanto como a tecnologia em geral, tem se tornado cada vez mais presente em diversos esportes. No meio do automobilismo, isso não é diferente, com cada vez mais informações e dados sobre o desempenho de cada parte do protótipo, tanto como da pilotagem. O tempo em que engenheiros, pilotos, estrategistas e demais responsáveis dedicam para analisar esses parâmetros tem se tornado cada vez maior.

Tendo conhecimento disto e apesar de ser em escalas menores, tanto em quantidade, custo e resolução destes sensores, as equipes de Fórmula SAE tem buscado também implementar e aprimorar em seus protótipos sistemas de telemetria para acompanhar seu desempenho, diante disto foi proposto este projeto.

O projeto como um todo teve seu desenvolvimento realizado com êxito, uma vez que ao final, obteve-se um sistema de aquisição de dados funcional, permitindo o acompanhamento e análise do desempenho do projeto em tempo real por parte dos membros da equipe. Ainda há a possibilidade de esta análise ser realizada em momento posterior a competição através dos dados que foram armazenados e ficam assim a disposição para serem reavaliados a qualquer momento.

As dificuldades apresentadas ao longo do desenvolvimento deste projeto levaram a busca por soluções alternativas para a sua implementação. Ao mesmo tempo, deixou como banco de informações e documentação para a equipe os processos adotados e seus resultados, sejam estes positivos ou negativos. Como principais dificuldades na elaboração deste trabalho, podemos citar a seleção dos componentes corretos. Uma vez que algumas soluções de sensoriamento foram testadas e não foram utilizadas, proporcionando desta maneira à equipe não somente um sistema utilizável e aplicável em seu protótipo AER-24, tanto como nos protótipos futuros, bem como a abertura para o aprimoramento deste sistema.

Dessa forma, acredita-se que o sistema desenvolvido será de suma importância para a continuidade da equipe Atlas *E-racing*, pois uma solução como a embarcada no projeto proporciona maior flexibilidade para o desenvolvimento e implementação de atualizações e melhorias futuras no sistema.

Conforme visto nos testes do dispositivo de transmissão escolhido, o seu alcance teórico dificilmente é obtido em situações de uso geral. Isso se deve ao ambiente onde a competição ocorre, que apresenta obstáculos para a plena visualização dos módulos empregados. Portanto, apesar de ser entregue um sistema funcional na conclusão deste projeto, entende-se como necessário e indica-se, na seção de trabalhos futuros, a avaliação de um módulo com um alcance superior. Além disso, sugere-se a aplicação de alguma estrutura para resolver o problema do baixo alcance relativo do dispositivo.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

O presente trabalho projetou e forneceu um sistema de telemetria para a equipe Atlas *E-racing*, no qual foram implementados alguns sensores, que tiveram seus dados lidos e enviados para um display instalado no volante, um cartão SD com intuito de realizar a persistência de dados, e também para uma central da equipe através de dispositivo Xbee S2 Pro, utilizando protocolo zigbee. Porém este ainda é um sistema apesar de funcional, com algumas limitações, em geral decorrentes do tempo que foi empregado para este desenvolvimento. Dessa maneira, com o intuito de aprimorar o sistema, indicam-se algumas sugestões de melhorias para as próximas pesquisas:

a) utilizar uma maior quantidade de sensores no protótipo com intuito de obter uma maior quantidade de dados;

b) aprimorar a plataforma gráfica com mais recursos de visualização e análise das informações exibidas;

c) possibilitar o envio das informações a um alcance maior possibilitando assim, uma maior gama de circuitos a serem atendidas pelo sistema.

REFERÊNCIAS

A BANERJEE,; JINDAL, A V; A SHANKAR,; SACHDEVA, V; KANTHI, M. Motorsport Data Acquisition System and Live Telemetry using FPGA based CAN controller. **Journal Of Physics**: Conference Series, [S.L.], v. 2161, n. 1, p. 012041, 1 jan. 2022. IOP Publishing. http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2161/1/012041.

ASSOCIATION, SD Card. Physical Layer Simplified Specification. SD Card Association, 2020. Disponível em: https://www.sdcard.org/downloads/pls/pdf?p=Part1_ Physical_Layer_Simplified_Specification_Ver8.00.jpg&f=Part1_Physical_Layer_ Simplified_Specification_Ver8.00.pdf&e=EN_SS1_8.

ATLAS. **Telemetria no Automobilismo**. 2021. Disponível em: https://www.linkedin.com/pulse/telemetria-automobilismo-atlas-e-racing/?trackingId=Q7Wu4fFk05cPLPafPoZIiA%3D%3D. Acesso em: 30 ago. 2022.

ATMEGA328P, Datasheet. 8-bit Atmel Microcontroller with 4/8/16/32K Bytes In-System Programmable Flash. Rev.

AVELAR, Eduardo. **Arduino Lab 13 – Leitura de vazão e indicação no display do Nokia 5110**. 2017. Disponível em: https://easytromlabs.com/arduino/arduino-lab-13-leitura-de-vazao-e-indicacao-no-display-do-nokia-5110/?print=print. Acesso em: 10 maio 2023.

BACKES, André. Linguagem C completa e descomplicada. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

BOCCI, Emanuel Damasceno. **Projeto de um sistema embarcado de aquisição de dados com implementação e testes de sistema de telemetria**. 2020. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/13903/Monografia-Emanuel_Damasceno_Bocci.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 set. 2022.

BRASIL, Sae. **Fórmula SAE BRASIL**. 2022. Disponível em: https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/formula-sae-brasil/. Acesso em: 01 ago. 2022.

BRONZATTI, Luiz Fernando Casarin. **Análise sobre a tecnologia de rede sem fio Zigbee / IEEE 802.15.4**. 2013. 109 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

CAMPOS, Augusto. **Explorando a arquitetura do ATmega328: identificando a configuração geral e os fuses**. 2015. Disponível em: https://br-arduino.org/2015/05/atmega-arduino-fuses.html. Acesso em: 03 set. 2022.

Candell, R., Hany, M., Lee, K., Liu, Y., Quimby, J., et al. “Guide to Industrial Wireless Systems Deployments”, NIST Advanced Manufacturing Series 300-4, abr. 2018.

Castillo Zhingre, J. C., & Valverde Jiménez, C. A. (2021). Implementación de un sistema de telemetría unidireccional aplicado en el prototipo eléctrico fórmula SAE de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

COCIAN, Luis Fernando Espinosa. **Manual da linguagem C**. Canoas: Ulbra, 2004. 500 p.

COLOMBARI, Emanuel. **Anos de dados e 100 sensores: saiba como funciona a telemetria na Fórmula 1**. 2013. Disponível em: https://www.terra.com.br/esportes/automobilismo/formula1/anos-de-dados-e-100-sensores-saiba-como-funciona-a-telemetria-na-formula-1,4d52c056b2c72410VgnVCM5000009ccceb0aRCRD.html#:~:text=E%20%C3%A9%20a%C3%AD%20que%20entra,%E2%80%9Cdonos%E2%80%9D%2C%20que%20podem%20abrir. Acesso em: 24 jul. 2022.

DIGI. **XBee®/XBee-PRO S2C Zigbee®**. 2020. Disponível em: https://cdn.awsli.com.br/945/945993/arquivos/S2C-PRO.pdf. Acesso em: 02 set. 2022.

Fontanella A, Defilippi R, Torti E, Danese G, Leporati F. **High Speed Wireless Optical System for Motorsport Data Loggers**. *Electronics*. 2019; 8(8):873. https://doi.org/10.3390/electronics8080873

GARCIA, Monique Aguiar. **Desenvolvimento de Firmware para Testes de Produção de Produtos IoT**. 2022. 108 f. TCC (Graduação)- Curso de Engenharia de Controle e Automação, UFSC, Florianópolis, 2022.

Guillaume Delbergue. Contribution à l'amélioration des plateformes virtuelles SystemC/TLM : configuration, communication et parallélisme. Electronique. Université de Bordeaux, 2017. Français. .

GUIMARÃES, Fábio. **Arquitetura de um microcontrolador – Aula 3 – MC**. 2020. Disponível em: https://mundoprojetado.com.br/arquitetura-de-um-microcontrolador/. Acesso em: 26 jun. 2023.

HERNÁNDEZ, Juan Pablo Chávez. Red de Comunicación One Wire para el Monitoreo de Variables Atmosféricas. 2003. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrônica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, 2003.

HOLANDA, Marina Andrade Lucena. **DESENVOLVIMENTO DO FIRMWARE PARA GUIAGEM NAVEGAÇÃO E CONTROLE DA PLATAFORMA LAICAnSat**. 2016. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

IBRAHIM, Dogan. SD card projects using the PIC microcontroller. [S.l.]: Newnes/Elsevier, 2010.

LAURO, Luis Felipe Soto; BERNARDI, Luiz Augusto. **Unidade de telemetria, armazenamento e visualização de dados embarcado em um carro de Fórmula SAE**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

LOCATELLI, Caroline. **Como utilizar o DS18B20**. 2021. Disponível em: https://curtocircuito.com.br/blog/Categoria%20Arduino/como-utilizar-o-ds18b20. Acesso em: 07 jun. 2023.

LOPES, Igor. **Por dentro da Fórmula 1: um passeio pela tecnologia das equipes no GP Brasil**. 2016. Disponível em: https://canaltech.com.br/infra/por-dentro-da-formula-1-um-passeio-pela-tecnologia-das-equipes-no-gp-brasil-84017/. Acesso em: 01 ago. 2022.

LOPES, Thadeu D'aveiro. **SIMULADOR DE TEMPO DE VOLTA PARA APLICAÇÃO EM FORMULA SAE**. 2021. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

MADEIRA, Daniel. DS18B20 – Sensor de temperatura inteligente. 2018. Disponível em: https://portal.vidadesilicio.com.br/sensor-de-temperatura-ds18b20/. Acesso em: 02 maio 2023.

MAINI, Anil K. Digital Electronics. John Wiley & Sons, Ltd, 2007. ISBN 978-0-470-51052-0 978-0-470-03214-5.

MATTOS, Alessandro Nicoli de. **Telemetria e conceitos relacionados**. São Jose dos Campos: ---, 2004. 383 p. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=6sLBOUMaFrMC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 27 set. 2022.

MAXIM, Integrated. **DS18B20**. 2019. Disponível em: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf. Acesso em: 26 ago. 2022.

MCROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec, 2011. 456 p.

NUNES, Tomaz Filgueira. **Telemetria de um veículo Baja SAE através de rede CAN**. 2016. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecatrônica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

OKAMOTO JUNIOR, Jun. **Comunicação de dados serial**. São Paulo, 2005. 31 slides, color. Disponível em: http://sites.poli.usp.br/pmr/lpa/pmr5229/aulas/Serial.pdf. Acesso em: 10 out. 2022.

ORICCHIO, Livio. **O que é telemetria e como ela foi da Fórmula 1 para o seu celular**. 2018. Disponível em: https://start.youse.com.br/automobilismo/o-que-e-telemetria-e-como-ela-foi-da-formula-1-para-o-seu-celular. Acesso em: 26 jul. 2022.

OLIVEIRA, Gabriel Luis de. **Desenvolvimento do sistema eletrônico de um veículo do tipo Formula Student elétrico baseado nas regras da Fórmula SAE**. 2020. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

Oliveira, Maxwell Ferreira de. Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em Administração / Maxwell Ferreira de Oliveira. -- Catalão: UFG, 2011. 72 p.: il.

Queirós, J. M. R. (2011). Sistema de sensorização e telemetria de um VEC (Veículo Eléctrico de Competição).

ROCHA, Matheus Torres. **Sistema de telemetria para veiculo off-road baseado em protocolo CAN**. 2019. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019. Disponível em: http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/19075/1/MATHEUS%20TORRES%20ROCHA%20-%20TCC%20ENG.%20EL%c3%89TRICA%202019.pdf. Acesso em: 27 set. 2022.

RODRIGUES, Evandro Junior. **Testes de Comunicação com Xbee**. 2018. Disponível em: http://engenharias.net.br/testes-comunicacao-xbee/. Acesso em: 27 maio 2023.

S, Loyola Samraj, Arjun Vishwanath, Sai Shantan Nagelli, Prabhu E and Tamilarasan N. "**Low-cost data logging and telemetry system for All-Terrain Vehicle performance analysis**." *2020 Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)* (2020): 321-325.

SACCO, Francesco. **Comunicação SPI – Parte 1**. 2014. Disponível em: https://embarcados.com.br/spi-parte-1/. Acesso em: 26 ago. 2022.

SALES, André Barros de; NZE, Georges Daniel Amvame. Linguagem C: roteiro de experimentos para aulas práticas. Florianopolis: Departamento de Ciências da Administração / Ufsc, 2016. 166 p.

SANTOS, Elias Francisco dos. **SISTEMA DE TELEMETRIA PARA VEÍCULO DE COMPETIÇÃO**. 2018. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1fiYmtXH2snBUKRXJet6YnKYEJDIwT5y8/view. Acesso em: 09 set. 2022.

SERRALVO NETO, Rafael. **AQUISIÇÃO DE DADOS EM UM VEÍCULO DE COMPETIÇÃO F-SAE**. 2010. 116 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Universitário da Fei, São Bernardo do Campo, 2010. Disponível em: https://repositorio.fei.edu.br/bitstream/FEI/619/2/fulltext.pdf. Acesso em: 01 set. 2022.

STEIDLE NETO, Antonio José. AVALIAÇÃO DO SISTEMA 1-WIRETM PARA AQUISIÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA EM INSTALAÇÕES AGRÍCOLAS. 2003. 129 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

SILVA, Pedro Henrique Moraes da. **ANÁLISE DO SISTEMA DE FREIO DE UM VEÍCULO DE COMPETIÇÃO FORMULA SAE**. 2017. 98 f. TCC (Graduação) -

Curso de Engenharia Automotiva, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017.

Tan, F. Y. (2011). Development of Electric Formula SAE Real-time Telemetry Software.

TEBALDI, Pedro César. **Telemetria: o que é e como funciona?** 2019. Disponível em: https://www.opservices.com.br/telemetria/. Acesso em: 27 set. 2022.

THOMSEN, Adilson. **O que é Arduino, para que serve e primeiros passos**. 2022. Disponível em: https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/. Acesso em: 03 set. 2022.

VIANI, Marcelo. **Projeto Integrador III**. 2022. Disponível em: https://github.com/marceloviani/Projetos/tree/master/Projeto%20Integrador%203. Acesso em: 26 set. 2022.

VINTACOURT, Gustavo Luís. **PROJETO E ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE TRAÇÃO PARA VEÍCULO ELÉTRICO DE FÓRMULA SAE**. 2021. 145 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

VOLKMANN, Telmo Bins. **IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA IOT PARA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL E IRRIGAÇÃO DE JARDINS**. 2022. 54 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

WEBER, Julia Silva. **Eliminação Segura de Arquivos em Memória Não-Volátil**. 2017. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

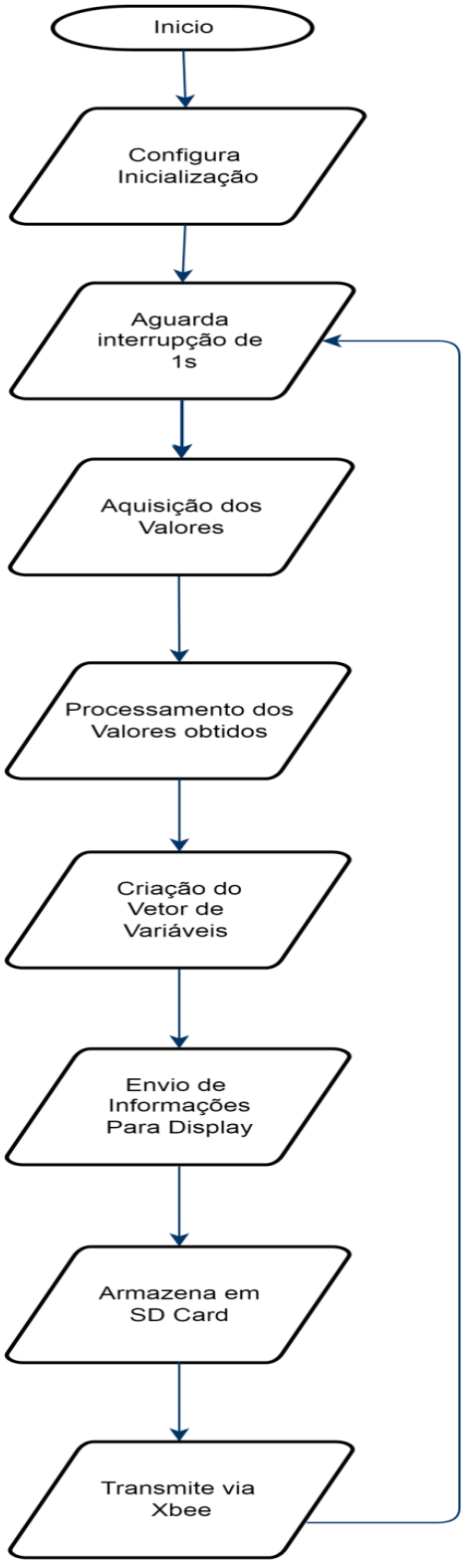
Werlang, Rafhael & Silveira, Fernando. (2013). A física dos pneumáticos. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. 30. 10.5007/2175-7941.2013v30n3p614.

WODEHOUSE, Carey. **How Do F1 Engineers Use Data to Help Drivers Win Races?** 2022. Disponível em: https://blog.purestorage.com/perspectives/how-do-f1-engineers-use-data-to-help-drivers-win-f1-races/. Acesso em: 31 ago. 2022

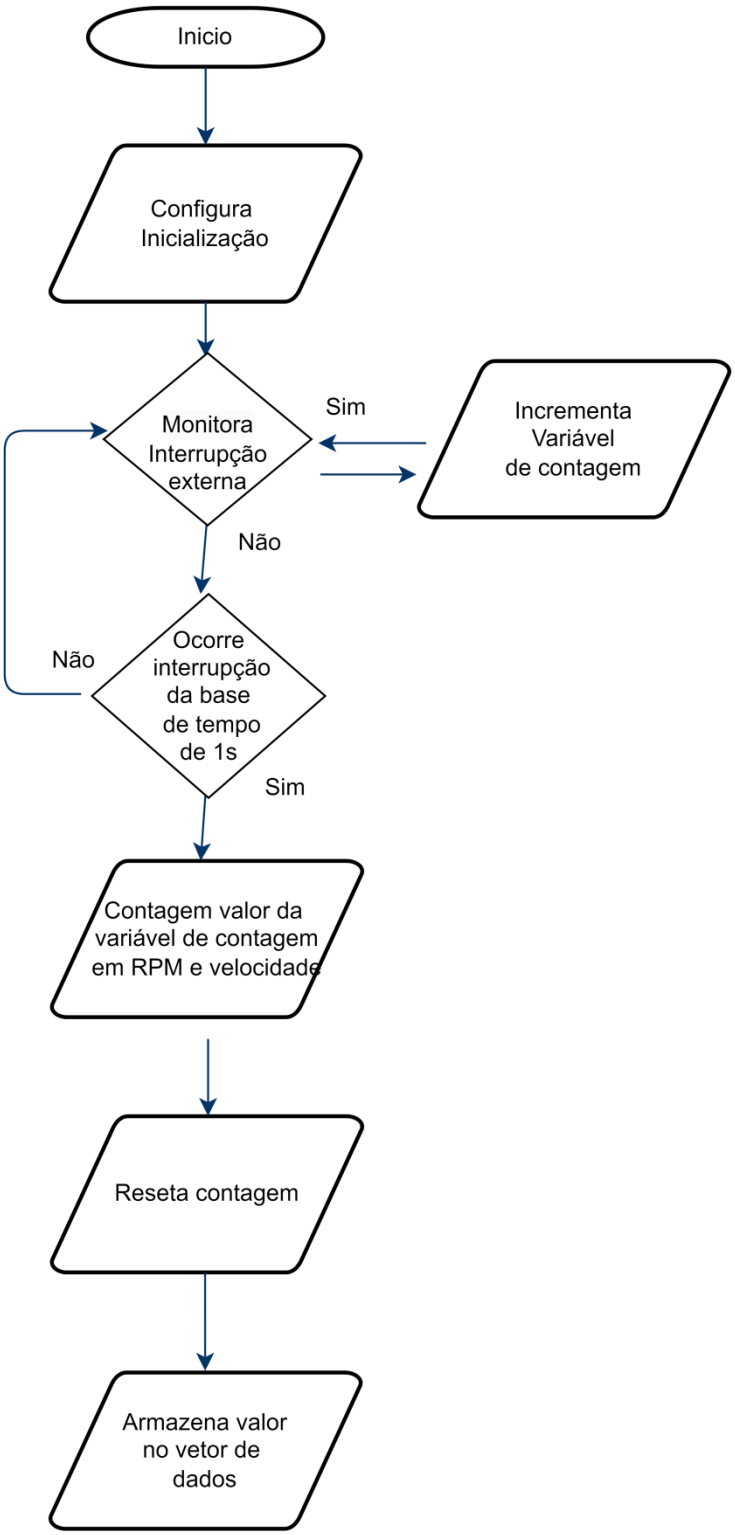
WRIGHT, Peter. Formula 1 technology. Warrendale: Society of automotive engineers,
2001.

APÊNDICES

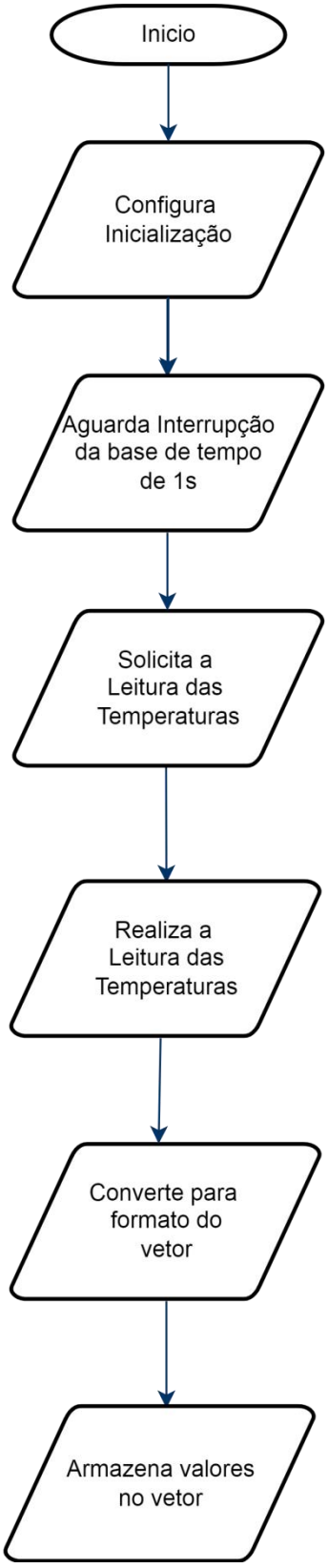
APÊNDICE A – Fluxograma de execução geral do sistema de telemetria

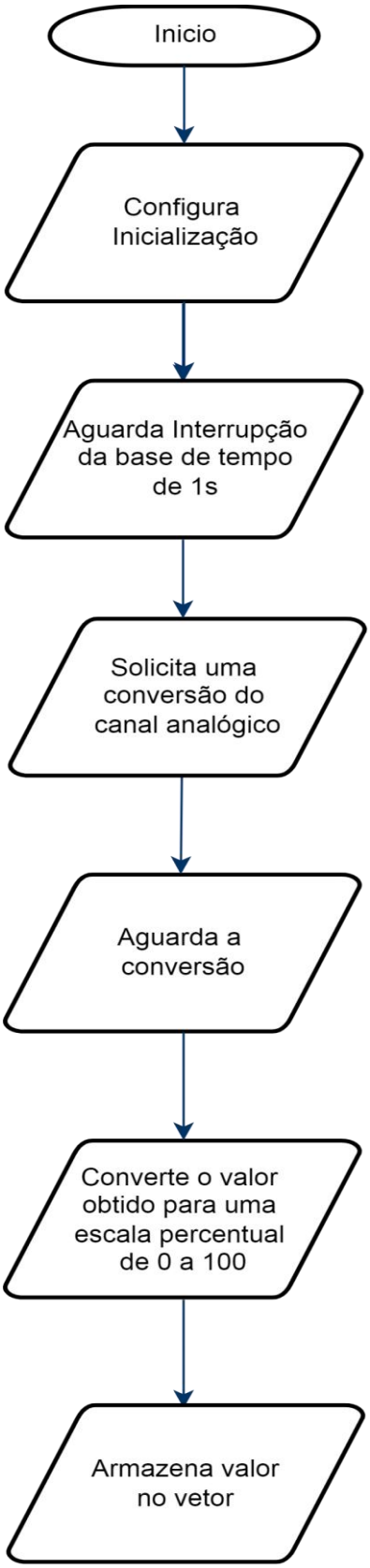


APÊNDICE B – Fluxograma do microcontrolador para aquisição de dados do sensor Hall



APÊNDICE C – Fluxograma do microcontrolador para aquisição de dados do sensor de Temperatura



APÊNDICE D – Fluxograma do microcontrolador para a leitura de dados a partir módulo de GPS

APÊNDICE E – Fluxograma do microcontrolador para de aquisição de dados analógicos