



Dissertação

Mestrado em Engenharia Automóvel

***Desenvolvimento de Sistemas Eletrónicos para um
Veículo de Competição Formula Student***

Pedro Miguel Frutuoso de Sousa

Leiria, *Setembro* de 2022



Dissertação

Mestrado em Engenharia Automóvel

***Desenvolvimento de Sistemas Eletrónicos para um
Veículo de Competição Formula Student***

Pedro Miguel Frutuoso de Sousa

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Carlos Daniel Henriques Ferreira, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, *Setembro de 2022*

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Os meus primeiros agradecimentos são dedicados ao meu orientador e mentor o Professor Doutor Carlos Ferreira, pela orientação e conhecimento transmitido durante todo o meu percurso académico. Sempre disponível para ajudar e aconselhar nos diversos projetos efetuados, agradeço do coração todo o apoio e tempo despendido.

Os seguintes agradecimentos vão para o grande amigo e colega Leonardo Costa que tive o prazer de conhecer durante o meu percurso académico. Perante o ânimo e a motivação dada durante o projeto, muito obrigado.

Agradeço ao meu amigo Engenheiro Olivier Gouveia por toda orientação e motivação que me transmitiu durante a realização deste projeto.

Agradeço aos admiráveis técnicos de laboratório de Engenharia Automóvel, o Engenheiro Diogo Costa e o Engenheiro Nuno Pires. Por toda ajuda despendida durante a realização prática do projeto. Serão sempre uma referência tanto a nível profissional como pessoal.

Agradeço à equipa FSIPLeiria por me permitirem realizar este projeto. Aos membros da equipa que me ajudaram neste percurso, de forma direta ou indireta, muito obrigado.

Agradeço à minha família, por todo o apoio prestado e motivação dada nos momentos em que mais precisei, para atingir os objetivos traçados.

Agradeço igualmente à Escola Superior de Tecnologia e Gestão e ao Politécnico de Leiria, pelos meios disponibilizados que possibilitaram a realização deste projeto.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

Com o crescimento da equipa *Formula Student* do Politécnico de Leiria, FSIPLeiria, e o objetivo de competir intencionalmente com um veículo construído meramente por alunos universitários, foi identificada a necessidade de serem projetados e construídos vários módulos eletrónicos para o veículo.

Neste projeto foram concebidos e construídos três módulos eletrónicos. O primeiro módulo, o *Datalogger*, foi concebido para gravar a informação relativa aos dados de funcionamento do veículo. Esta é maioritariamente proveniente do barramento de comunicação digital do tipo *CAN* (do inglês *Controller Area Network*), e adicionalmente o *Datalogger* tem a capacidade de ler sinais analógicos e digitais por entradas dedicadas. Em segundo foi desenvolvido um sistema de conversão de sinais digitais para mensagens codificadas em um barramento do tipo *CAN*. Este módulo foi aplicado na instrumentação da caixa de velocidades do veículo. Este sistema permitiu simplificar a cablagem do veículo e contribuir para a arquitetura descentralizada do mesmo. O terceiro módulo consiste num sistema de telemetria, capaz de enviar a informação presente no barramento de comunicação principal do veículo (do tipo *CAN*) para um PC junto da equipa. Os dados transmitidos são analisados num interface gráfico desenvolvido em Labview®, onde se consegue compreender o comportamento e evolução do veículo em pista.

Adicionalmente, é apresentado o desenvolvimento de sistemas embebidos, concebidos para otimizar e simplificar o desenvolvimento de sistemas eletrónicos por parte da equipa FSIPLeiria. Foram projetados dois sistemas embebidos, um com um microcontrolador de *8bits* e outro com um microcontrolador de *32bits*.

Por último, foi desenvolvido e construído um barramento de comunicação *CAN* em bancada para emular o barramento de comunicação do veículo. Esta ferramenta permite validar a comunicação entre módulos em bancada e estudar e compreender a interação entre os diversos módulos eletrónicos, antes de serem integrados no veículo.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

With the growth of the *Formula Student* team at Polytechnic de Leiria and the objective competing with a vehicle type formula built purely by students. The need to design and build electronic modules for the vehicle was identified, as such this project was carried out to solve this problem.

In this project, three electronic modules were designed and built. The first module, the *Datalogger*, was designed to record information relating the vehicle's operating data. It is mostly coming from the *CAN*-type digital communication bus, and additionally the *Datalogger* has the ability to read analog and digital signals through its dedicated inputs. Second, was build a system for converting digital signals to messages encoded on a *CAN* bus protocol. This module was applied to the vehicle's gearbox instrumentation. This system made it possible to simplify the vehicle's cabling and contribute to its decentralized architecture. The third module consists of a telemetry system, capable of sending the information present on the vehicle's main communication bus (*CAN* type) to a PC next to the team. The transmitted data is analyzed in a graphical interface developed in Labview®, where it is possible to understand the behavior and evolution of the vehicle on the track. The interface was developed to be simple and intuitive, in order to facilitate the use by all team members and the understanding of the data received.

Additionally, the development of embedded systems is presented. Was made to optimize and simplify the development of electronic systems by the FSIPLeiria team. Two embedded systems were designed, one with an *8bit* microcontroller and the other with a *32bit* microcontroller.

Finally, a benchtop *CAN* communication bus was developed and built to emulate the vehicle communication bus. This tool makes it possible to validate the communication between modules to study and understand the interaction between the various electronic modules, before they are integrated into the vehicle.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de figuras

Figura 1 - Competição Formula Student Circuito de Silverstone (Student, IMECHE, 2022).	4
Figura 2 - Diagrama de Blocos da Arquitetura do Sistema Eletrónico do #T22.	7
Figura 3 - Ilustração de um Barramento de Comunicação CAN (JavaPoint, 2022). .	9
Figura 4 - Tensão Lógica de Operação do Protocolo CAN (Embarcados, 2022).	10
Figura 5 - Processo de Arbitragem do Protocolo CAN (Circuits, 2022).	11
Figura 6 - Datalogger CANedge1 (CSSElectronics, 2022).	12
Figura 7 - Datalogger L120 (Motec, 2022).	13
Figura 8 - Datalogger C80 (BoschMotorsport, 2022).	14
Figura 9 - Sensor de Posição Angular SRH280DP (IndustrialGroup, 2022).	16
Figura 10 - Sensor Angular PSC-360 (PIHER, s.d.).	16
Figura 11 - Diagrama de Blocos do Circuito do Datalogger.	23
Figura 12 – Fluxograma do Firmware Principal do Datalogger.	30
Figura 13 – Fluxograma da Função do Datalogger Controlo.	32
Figura 14 - Design Final da PCB do Datalogger - 2D. A) Top Layer, B) Bottom Layer.	33
.....	
Figura 15 - Design Final da PCB do Datalogger - 3D.	34
Figura 16 - Resultado Final da PCB do Módulo Datalogger.	34
Figura 17 - Design Final da "Devboard 1.0" - 2D. A) Top Layer, B) Bottom Layer.	38
Figura 18 - Design Final da "Devboard 1.0" - 3D.	38
Figura 19 - Resultado Final da Placa "Devboard 1.0".	39
Figura 20 - Diagrama de Especificações e Funcionalidades "Devboard 1.0".	40
Figura 21 - Design Final da "Devboard 2.0" - 2D. A) Top Layer, B) Bottom Layer.	42
Figura 22 - Design Final da "Devboard 2.0" - 3D.	42
Figura 23 - Resultado Final da Placa "Devboard 2.0".	43
Figura 24 - Diagrama de Especificações e Funcionalidades "Devboard 2.0".	44
Figura 25 - Sensor de Posição da Caixa de Velocidades (DAMSport, 2022).	46
Figura 26 - Diagrama de Blocos do Circuito do Módulo do Sensor da Caixa de Velocidades.	47
Figura 27 - Fluxograma do Firmware do Módulo Sensor de Posição da Caixa de Velocidades.	51
Figura 28 - Design Final da PCB do Módulo Sensor da Posição da Caixa de Velocidades - 2D. A) Top Layer, B) Bottom Layer.	53

Figura 29 - Design Final do Módulo Sensor da Posição da Caixa de Velocidades - 3D	53
Figura 30 - Resultado Final do Módulo Sensor da Posição da Caixa de Velocidades.	54
Figura 31 - Autodromo Riccardo Paletti Medição de distância (GoogleMaps, 2022).	56
Figura 32 - Exemplo do Interface Gráfico Labview (CAESystems, 2022).	57
Figura 33 - Diagrama de Blocos do Circuito do Módulo da Telemetria.	58
Figura 34 - Fluxograma do Firmware do Módulo da Telemetria.	63
Figura 35 - Design Final da PCB do Módulo da Telemetria - 2D. A) Top Layer, B) Bottom Layer.	64
Figura 36 - Design Final da PCB do Módulo da Telemetria - 3D	65
Figura 37 - Resultado Final do Módulo da Telemetria.	65
Figura 38 - Área "Keepout" - Transmissor de dados (Digi, 2022).	66
Figura 39 - Localização da Antena da Telemetria no Veículo.	66
Figura 40 - Interface Gráfico Módulo Telemetria, Página 1.	68
Figura 41 - Interface Gráfico Módulo Telemetria, Página 2.	69
Figura 42 - Interface Gráfico Módulo Telemetria, Página 3.	70
Figura 43 - Interface Gráfico Módulo Telemetria, Página 4.	71
Figura 44 - Interface Gráfico Módulo Telemetria, Página 5.	72
Figura 45 - Interface Gráfico Módulo Telemetria, Página 6.	72
Figura 46 - Interface Gráfico PicoScope.	74
Figura 47 - Equipamentos da Família VN1600 da VECTOR®.	75
Figura 48 - Sinal Medido Osciloscópio Módulo Datalogger Ensaio 1.	76
Figura 49 - Sinal Medido Osciloscópio Módulo Datalogger Ensaio 2.	77
Figura 50 - Ficheiro de Dados Gerado pelo Datalogger.	77
Figura 51 - Valores Tensão Elétrica Medidos Durante o Arranque do Motor.	78
Figura 52 - Sinal Medido Osciloscópio Módulo Datalogger Circuito EPW Ensaio 1.	79
Figura 53 - Sinal Medido Osciloscópio Módulo Datalogger Circuito EPW Ensaio 2.	80
Figura 54 - Ficheiro de Dados Datalogger Mensagem de Aviso de Erro.	81
Figura 55 - Medição do Período de Latência do Módulo de Posição da Caixa de Velocidades.	82
Figura 56 - Distância do Primeiro Teste Efetuado ao Módulo da Telemetria (GoogleMaps, 2022).	83
Figura 57 - Distância do Segundo Teste Efetuado ao Módulo da Telemetria (GoogleMaps, 2022).	84
Figura 58 - Estatísticas Medidas no Barramento CAN.	88

Figura 59 - Design Final da PCB do CANHub - 2D.....	92
Figura 60 - Figura 40 - Design Final da PCB do CANHub - 3D.....	92
Figura 61 - Resultado Final da PCB do CANHub.....	93
Figura 62 - Barramento de Comunicação CAN Montado em Bancada, 1 - Módulo a Simular a Unidade de Comando do Motor, 2 – Datalogger, 3 – Luz de STOP, 4 – Placa “CANHub”, 5 – Módulo de Inércia e 6 – Módulo de Telemetria .	94
Figura 63 - Barramento de Comunicação CAN Montado em Bancada.	94

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de tabelas

Tabela 1 - Lista de Componentes Utilizados no Datalogger.....	25
Tabela 2 - Custo e Quantidade de Componentes do Módulo Datalogger.	35
Tabela 3 - Lista de Componentes Utilizados no Módulo sensor de posição da caixa de velocidades.....	49
Tabela 4 - Custo e Quantidade de Componentes do Módulo Sensor de Posição da Caixa	54
Tabela 5 - Lista de Componentes Utilizados no Módulo da Telemetria.	60
Tabela 6 - Custo e Quantidade de Componentes do Módulo da Telemetria.	67
Tabela 7 - Estrutura de Codificação das Mensagens CAN Datalogger.	89
Tabela 8 - Estrutura de Codificação das Mensagens CAN do Módulo de Posição da Caixa de Velocidades.	90
Tabela 9 - Estrutura de Codificação das Mensagens CAN do Módulo da Telemetria.	91

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de siglas

ADC	Conversor de analógico para digital (<i>Analog to Digital Converter</i>).
C/C++	Linguagem de programação.
CAN	<i>Controller Area Network</i> .
CSV	<i>Comma-separated values</i> .
DIP	<i>Dual In-Line Package</i> .
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory.
EPW	<i>Energy Power Warning</i> .
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> .
IMU	Módulo de Inércia (<i>Inertial Measurement Unit</i>).
ISM	<i>The industrial, scientific, and medical radio band</i> .
LIN	<i>Local Interconnect Network</i> .
LED	Díodo emissor de luz (<i>Light Emitter Diode</i>).
PCB	Placa de circuito impresso (<i>Printed Circuit Board</i>).
PDM	Módulo de distribuição de Potencia (<i>Power Distribution Module</i>).
PWM	Modulação por largura de pulso (<i>Pulse Width Modulation</i>).
QFN	<i>Flat No-leads Package</i> .
RS232	Protocolo de comunicação série (<i>Serial Communication Protocol</i>).
RTC	Relógio de tempo real (<i>Real Time Clock</i>).
SD	<i>Secure Digital</i> .
SMD	Componente de montagem em superfície (<i>Surface Mounting Devices</i>).
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i> .
USB	Porta universal (<i>Universal Serial Bus</i>).
WLAN	Rede Local Sem Fios (<i>Wireless Local Area Network</i>).

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XIII
LISTA DE SIGLAS	XV
ÍNDICE	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contexto e Motivação	1
1.2. Objetivo do Projeto	1
1.3. Organização do Relatório	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3. DESENVOLVIMENTO DE ELETRÔNICA	21
3.1. Módulo <i>Datalogger</i>	21
3.1.1. Objetivo do Módulo	21
3.1.2. Arquitetura do <i>Hardware</i>	23
3.1.3. Arquitetura do <i>Firmware</i>	28
3.1.4. Projeto de PCB – Placa de Circuito Impresso	33
3.1.5. Relatório de Custos	34
3.2. Placas de Desenvolvimento	36
3.2.1. DevBoard 1.0	36
3.2.2. DevBoard 2.0	40

3.3. Módulo Sensor de Posição da Caixa de Velocidades	45
3.3.1. Objetivo do Modulo	45
3.3.2. Arquitetura do <i>Hardware</i>	47
3.3.3. Arquitetura do <i>Firmware</i>	50
3.3.4. Projeto de PCB	52
3.3.5. Relatório de Custos	54
3.4. Módulo Telemetria	55
3.4.1. Objetivo do Módulo	55
3.4.2. Arquitetura do <i>Hardware</i>	58
3.4.3. Arquitetura do <i>Firmware</i>	62
3.4.4. Projeto de PCB	64
3.4.5. Relatório de Custos	67
3.4.6. Interface Gráfico	68
4. TESTES PRÁTICOS REALIZADOS AOS MÓDULOS	73
4.1. Equipamentos de Teste e medição	73
4.2. <i>Datalogger</i>	75
4.3. Módulo Sensor de Posição Caixa de Velocidades	81
4.4. Módulo Telemetria	82
5. ESTRUTURA E CODIFICAÇÃO DO BARRAMENTO DE COMUNICAÇÃO CAN DO VEÍCULO	87
5.1. Estrutura de Codificação do Barramento	88
5.1.1. Módulo <i>Datalogger</i>	88
5.1.2. Módulo Sensor de Posição da Caixa de Velocidades	89
5.1.3. Módulo Telemetria	90
5.2. Validação em Bancada do Barramento de Comunicação	91
6. CONCLUSÕES	95
7. TRABALHOS FUTUROS	97
8. BIBLIOGRAFIA	98

1. Introdução

1.1. Contexto e Motivação

A competição *Formula Student* é uma competição universitária na qual estudantes formam equipas multidisciplinares. É uma competição global com provas realizadas em múltiplos países, sendo as mais renomadas as realizadas, na Inglaterra e na Alemanha. A competição possui como objetivo principal é o projeto e a construção de um veículo monolugar do tipo formula, que é avaliado pelo seu desempenho em provas dinâmicas. Adicionalmente, é avaliada a filosofia de desenho do veículo, a qualidade de construção, a gestão de recursos e o plano de negócios para a potencial comercialização do veículo, entre outros tópicos.

Dada a paixão pelo desporto automóvel e a vontade de ir competir com as melhores equipas do mundo, um grupo de alunos do Politécnico de Leiria voltou a erguer, em 2019, a equipa *Formula Student* do Politécnico de Leiria, a FSIPLeiria. A equipa tem como o objetivo, simples e claro desenhar, projetar e construir um novo veículo do tipo formula para competir internacionalmente.

O desenho e construção de um novo veículo de competição é um projeto ambicioso, carece de elevados recursos pessoais e financeiros. A fim de mitigar os recursos pessoais da equipa, na área do desenvolvimento eletrónico, os membros responsáveis pela gestão da equipa propuseram o presente trabalho. O intuito principal focou-se no desenvolvimento e construção de módulos eletrónicos para serem integrados no novo veículo em construção.

1.2. Objetivo do Projeto

O trabalho realizado neste projeto tem como objetivo projetar e construir módulos eletrónicos para serem utilizados pelo veículo em competição e *hardware* eletrónico de suporte para os trabalhos de investigação e desenvolvimento de sistemas eletrónicos por parte dos membros da equipa.

Foram identificados três módulos eletrónicos necessários a ser desenvolvidos neste trabalho. O primeiro, é um módulo com a capacidade de recolher a informação presente nos barramentos de comunicação digital do veículo e gravá-la num cartão de dados, para

mais tarde ser analisada pela equipa de modo a compreender e otimizar o comportamento do veículo. O segundo módulo pretendido é um circuito elétrico capaz de ler os sinais elétricos provenientes do sensor de posição da caixa de velocidades. Este tem como fim determinar a posição da caixa e “escrever” o valor no barramento de comunicação. Por fim, o terceiro módulo pretendido focou-se num sistema de telemetria para o veículo que possa ser usado em competição e o respetivo interface gráfico.

Igualmente, pretende-se desenvolver módulos eletrónicos para auxiliar e simplificar o processo desenvolvimento e investigação de módulos eletrónicos na equipa. Um dos objetivos traçados consistiu na construção em bancada de um simulador do barramento de comunicação do veículo.

1.3. Organização do Relatório

O presente trabalho encontra-se organizado em 7 capítulos.

No presente capítulo é apresentada a contextualização e motivação deste projeto, e os objetivos gerais do mesmo.

No capítulo 2 é exposto o estado da arte. É efetuado um enquadramento da competição e do veículo construído. São analisadas as opções existentes no mercado para os módulos pretendidos desenvolver.

O capítulo 3 é focado nos módulos eletrónicos desenvolvidos. São explicadas ao detalhe as arquiteturas do *hardware* e do *software* concebidos e como os mesmo estão conforme os objetivos impostos.

No capítulo 4 apresenta-se a descrição dos testes de validação efetuados aos módulos desenvolvido e os respetivos resultados obtidos.

No capítulo 5 é abordada a codificação das mensagens escritas e lidas pelos módulos bem como o simulador do barramento de comunicação do veículo construído em bancada.

No capítulo 6 é efetuada a conclusão do trabalho efetuado ao longo do projeto, comentando a realização dos objetivos definidos inicialmente.

Por fim, no capítulo 7 apresenta-se os trabalhos futuros, uma previsão dos pontos a melhorar nos módulos concebidos nas próximas iterações a serem desenvolvidas.

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo é efetuado o contexto do projeto realizado e o enquadramento dos módulos eletrônicos desenvolvidos. O capítulo tem início com a introdução e breve resumo do veículo e a competição *Formula Student*, posteriormente é explicado as filosofias de funcionamento dos módulos eletrônicos concebidos neste projeto bem como as soluções existentes no mercado atualmente.

Competição *Formula Student*

A Competição *Formula Student* é uma das mais consagradas competições educacionais de engenharia, tem como objetivo o desenvolvimento e construção de um veículo monolugar do tipo formula, por estudantes universitários de diversas áreas. Na competição existe dois tipos de motorização os veículos, com um sistema de propulsão elétrica e os veículos com um sistema de propulsão que utilizam um motor de combustão interna. As equipas competem por um máximo de 1000 pontos em dois tipos de eventos. Os eventos estáticos representam 325 pontos e os dinâmicos representam os restantes 675 pontos (Student, IMECHE). Os eventos estáticos são constituídos por três eventos:

- *Business Plan*, a equipa tem desenvolver um plano de negócios em que o veículo de competição construído é o foco do negócio e o mesmo tem de ter um plano de negócio para atingir rentabilidade. A apresentação deve ser efetuada assumindo que os júris são potenciais investidores interessados em adquirir uma parte do negócio;
- *Cost and Manufacturing*, o evento tem como intuito compreender o domínio da equipa na gestão dos recursos de construção do veículo. Compreender a diferença entre um desenho de uma peça para produção em massa ou uso único, e o compromisso entre compra de componentes e a produção dos mesmos;
- *Engineering Design*, os júris pretendem compreender o filosofia por trás do veículo concebido. Se o mesmo seguiu uma ideologia de construção, e se a equipa sabe justificar as decisões tomadas durante o processo de desenho.

Os eventos dinâmicos são constituídos por cinco eventos:

- *Skid Pad*, consiste numa pista constituída por dois pares de círculos concêntricos com um padrão idêntico a uma figura de oito, o objetivo é efetuar uma volta no menor tempo possível;

- *Acceleration*, o evento de aceleração consiste numa reta de 75m de comprimento em que o veículo deve percorrer a mesma no menor tempo possível;
- *Autocross*, é uma pista com um comprimento menor que 1.5km composta por um conjunto de curvas lentas e rápidas para testar a agilidade do veículo;
- *Endurance*, o objetivo deste evento é testar a fiabilidade do veículo construído. Este tem de efetuar 22Km, numa pista com um comprimento total inferior a 1Km, no menor tempo possível;
- *Efficiency*, tem como intuito medir a eficiência do veículo durante o evento de *Endurance*.

As equipas podem competir em duas classes. Na classe 2 as equipas competem exclusivamente em eventos estáticos e na classe 1 as equipas competem nos eventos estáticos e, adicionalmente, nos eventos dinâmicos.

As equipas que competem no *Formula Student* colocam em prática o conhecimento adquirido nas aulas teóricas o qual usam para alcançar o lugar mais alto do pódio nos diferentes desafios. Um marco que possibilita uma experiência única e que permite ter um contacto inicial no mundo real da engenharia, combinando as competências do ramo com *soft skills*, plano de negócio e gestão de projeto (Germany, 2022).

Para efeito de contextualização a Figura 1 mostra as equipas e veículos que participaram na competição *Formula Student* realizada no circuito de Silverstone, no ano de 2022.



Figura 1 - Competição Formula Student Circuito de Silverstone (Student, IMECHE, 2022).

Equipa FSIPLeiria

A competição *Formula Student* está presente no Politécnico de Leiria desde o ano 2006, data da primeira participação da equipa no evento, onde conseguiu alcançar a 4^a posição e a 1^a posição no ano seguinte, em classe 2. Em 2009 a equipa competiu novamente realizando duas participações uma em *Silverstone* (Reino Unido) e a outra em *Hockenheim* (Alemanha) na classe principal (FSIPLeiria, Formula Student Racing Team, 2022) (FSIPLeiria, Sponsor Book).

Em 2012 a equipa mudou de nome para FSIPLeiria e nasceu uma nova equipa. No ano de 2014 a equipa ficou em 4^o lugar na classe 2 em Silverstone, e em classe 1 foi distinguida como a primeira equipa europeia a competir com acelerador eletrónico, um feito inovador nunca antes alcançado por nenhuma equipa com sucesso.

Uma vez mais, a motivação e o desejo mobilizou os estudantes a voltar à competição académica de engenharia focada no desporto automóvel o *Formula Student*. Em 2019 um grupo 15 alunos decidiu embarcar numa nova aventura e levar o nome do Politécnico de Leiria e dos seus apoiantes, novamente aos lugares mais altos do pódio, este grupo originou a base de trabalho que desenhou e construiu o terceiro veículo da equipa o #T22 que competiu no *Formula Student* Itália em 2022.

Veículo #T22 Arquitetura Eletrónica

O veículo *Formula Student* que competiu em *FSAE Italy* em 2022 foi batizado com o nome de chassi o "T22", os módulos presentes nesta tese foram concebidos para serem integrados nesse veículo.

Uma descrição geral do veículo construído, este é composto por chassi tubular de aço, uma suspensão do tipo "Push-Rod" e está equipado com um motor bicilindrico de 700cc de origem na mota Yamaha® MT07. O veículo segue uma arquitetura descentralizada, caso um dos módulos se avarie não impede o correto funcionamento dos restantes módulos. Comparando com uma arquitetura centralizada onde um módulo é responsável pela maioria das tarefas a realizar e se esse avariar vai comprometer o funcionamento dos restantes módulos. Dada a arquitetura descentralizada adoptada os módulos comunicação entre si pelo barramento de comunicação CAN. O veículo tem 8 módulos eletrónicos ligados ao barramento de comunicação sendo eles os seguintes:

- Unidade de controlo do motor, responsável por garantir o correto funcionamento do motor de combustão interna do veículo, esta vai adquirir os dados dos sensores integrados no motor e controlar os atuadores;

- PDM – Módulo de Distribuição de Potência, este módulo é responsável por gerir a alimentação dos módulos eletrónicos, sensores e atuadores do veículo. Utiliza circuitos integrados “inteligentes” para controlar a alimentação dos periféricos do veículo. Este módulo apresenta a capacidade de medir a corrente consumida, verificar se existe curto circuito, circuito aberto e fusíveis rearmáveis.
- Volante, o módulo do volante é o único módulo em que o piloto interage, uma vez que, este é o interface gráfico do piloto para o mesmo obter as informações relevantes sobre o veículo e permite o controlo de módulos como o *Datalogger* ou solicitar a alteração da mudança engrenada na caixa de velocidades;
- Módulo dinâmico, encontra-se integrado no veículo para medir as grandezas dinâmicas do mesmo como percurso da cada suspensão do veículo e velocidade individual de cada roda;
- *Datalogger*, este módulo encarrega-se de gravar a maioria da informação presente no barramento de comunicação do veículo para um cartão do tipo SD;
- IMU – Módulo de Inércia, é o módulo responsável por medir as acelerações do veículo em pista e posteriormente enviar os dados para o barramento de comunicação;
- Módulo Sensor de Posição da Caixa, este módulo lê os sinais digitais do sensor de posição da caixa de velocidades, processa a informação com o objetivo determinar a posição da caixa e transmite esse valor no barramento de comunicação do veículo;
- Módulo de telemetria, está incumbido de ler a informação presente no barramento de comunicação *CAN*, de seguida transmitir partes da mesma por ondas rádio. A informação é adquirida por um recetor na *box* para a equipa ter *feedback* do veículo quando este se encontra em pista.

A Figura 2 mostra o diagrama de bloco da arquitetura eletrónica do veículo, onde é possível observar os atuadores e sensores mais relevantes no veículo e compreender como os módulos eletrónicos interagem entre si.

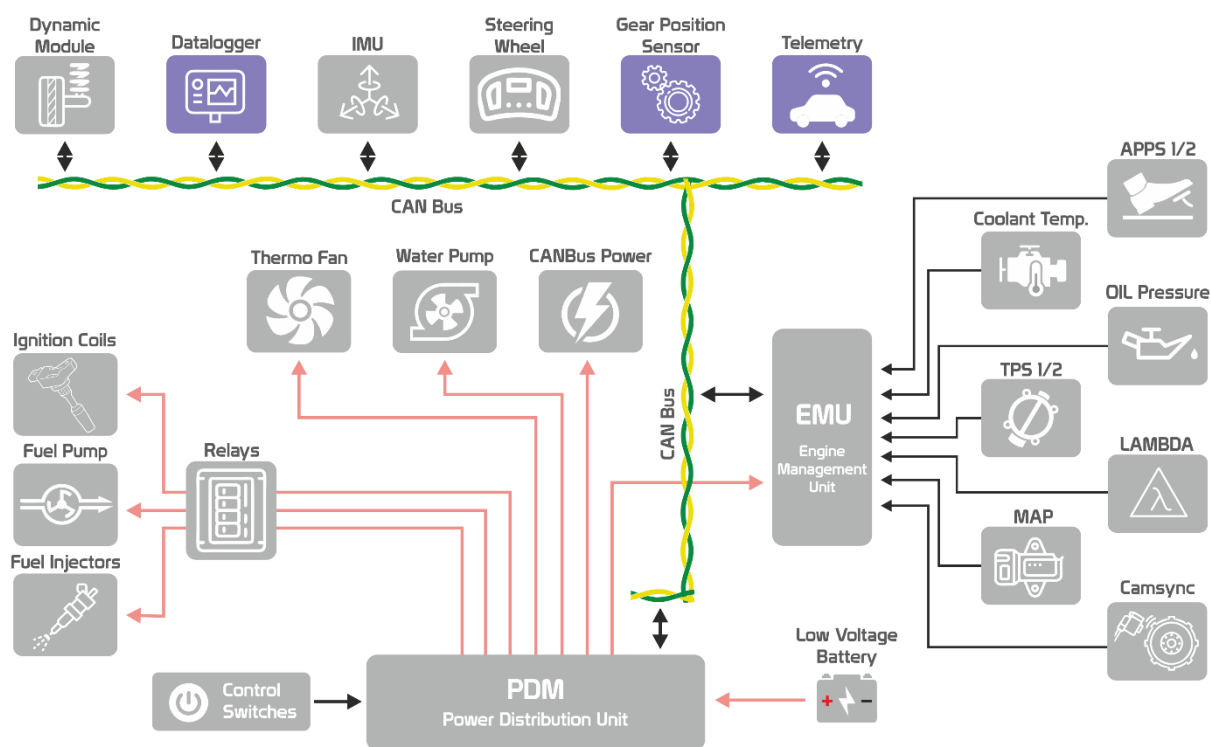


Figura 2 - Diagrama de Blocos da Arquitetura do Sistema Eletrônico do #T22.

Protocolo de Comunicação CAN

A comunicação CAN é o protocolo de comunicação eleito para ser utilizado no veículo como barramento de comunicação digital entre os módulos eletrônicos. O protocolo foi desenvolvido pela Robert Bosch para ser aplicado na indústria automóvel no início década de 1980, a palavra CAN vem do inglês de *Controller Area Network*. O barramento de comunicação consiste em dois fios elétricos entrelaçados entre si, um é denominado de *CAN High* e o outro de *CAN Low*. É uma comunicação multi-mestre significa se o barramento estiver livre qualquer módulo pode escrever no barramento. O número mínimo para um barramento CAN funcionar é de dois módulos. O protocolo de comunicação foi concebido para funcionar em ambientes com elevado ruído eletromagnético, como por exemplo na indústria e em aplicações automóvel (Freudenberg, 2008).

O protocolo permite velocidades de comunicação até 1 *Mbit/s* para um barramento de comunicação com um comprimento máximo de 40m. Para barramento que apresentem comprimentos maiores, exemplo, 500m a velocidade comunicação é reduzida para 125 *Kbit/s*.

O barramento de comunicação *CAN* apresenta as seguintes características:

- Robustez, o protocolo *CAN* é ideal para múltiplas aplicações, uma das dominantes é no sector automóvel, devido à capacidade “imunidade” a ruído eletromagnético e à fiabilidade que o protocolo apresenta;
- Baixo custo de implementação, comparativamente a um sistema centralizado onde existe um fio de sinal analógico para cada sensor existente. O protocolo foi desenvolvido para permitir rápida comunicação entre módulos eletrónicos, permitindo em simultâneo diminuir o peso da cablagem e os custo de implementação da mesma;
- Velocidade de comunicação, o protocolo de comunicação apresenta dois tipos de velocidades comunicação. A alta velocidade em que o *baudrate* pode assumir um valor de *1Mbit/s* e comunicação de baixa velocidade onde o valor máximo de *baudrate* atingido é de *125Kbit/s*;
- Modularidade, o barramento de comunicação *CAN* é conhecido como um protocolo baseado no envio e receção de mensagens, sem existir a necessidade de um módulo mestre. Os módulos eletrónicos conectados no barramento são denominados de nós, estes podem ser facilmente adicionados ou removidos do barramento, sem existir a necessidade de reconfigurar o barramento. Esta vantagem permite uma maior liberdade na integração de novos dispositivos eletrónicos, dado que não é necessário realizar programação ou modificações significativas aos módulos;
- Organização das mensagens, a hierarquia das mensagens é feita pelo identificador das mesmas, em que as mensagens de alta prioridade apresentam um valor de identificação mais baixo, exemplo a mensagem com maior prioridade apresenta o valor de “0”, no campo do ID.

No barramento de comunicação *CAN* é necessário a implementação de resistências de fim de barramento para prevenir refração, principalmente em barramentos de longa distância. A Figura 3 demonstra um barramento de comunicação *CAN* onde se verifica os módulos conectados às linhas de comunicação e as resistências de fim de barramento.

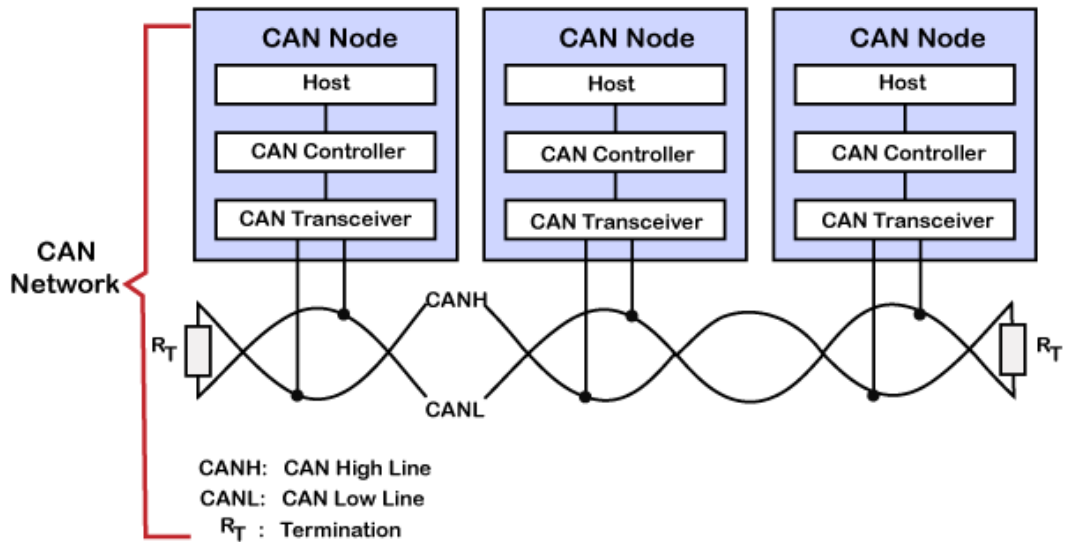


Figura 3 - Ilustração de um Barramento de Comunicação CAN (JavaPoint, 2022).

O barramento de comunicação apresenta dois estados lógicos de funcionamento o dominante e recessivo. Os estados são definidos pelo valor de tensão resultante da diferença entre as duas linhas de comunicação, o *CAN High* e o *CAN Low*. Se a diferença de tensão entre as linhas de comunicação for inferior a 0.5V, o barramento encontra-se no estado recessivo e representa nível lógico de “1” e se a diferença entre linhas for superior a 1.5V o barramento encontra-se no estado dominante representando o nível lógico de “0” (JavaPoint, 2022). A Figura 4 demonstra os estados lógicos do barramento de comunicação CAN.

A imunidade do barramento de comunicação CAN a interferências eletromagnéticas deve-se ao facto de ser uma comunicação diferencial. O ruído introduzido no barramento é desprezado, uma vez que ao subtrair o sinal de uma linha pela outra obtém-se o valor lógico do barramento. A importância do barramento de comunicação ser constituído por dois fios elétricos entrelaçados entre si serve para o ruído ser “introduzido” no sinal de forma uniforme.

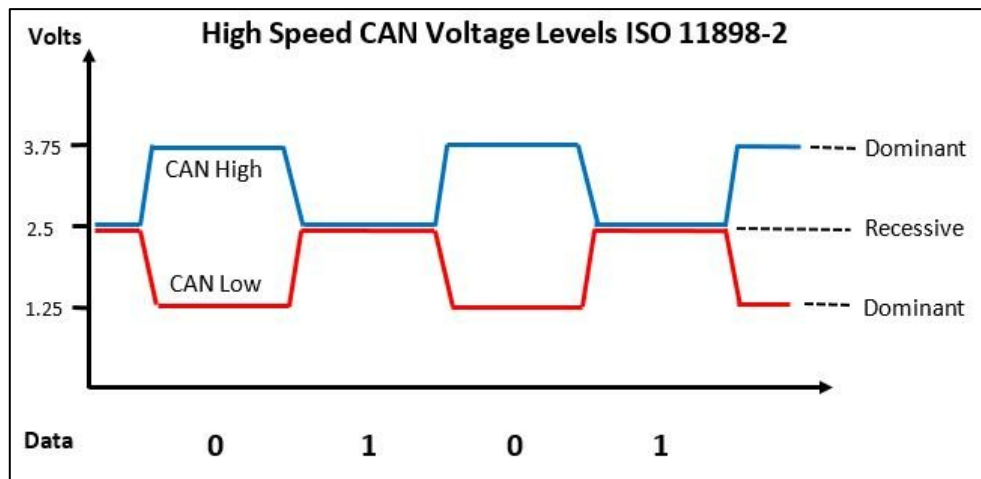


Figura 4 - Tensão Lógica de Operação do Protocolo CAN (Embarcados, 2022).

Processo de Arbitragem do Protocolo

Dado que todos os nós partilham entre si o mesmo barramento de comunicação *CAN* e não existe módulo mestre no protocolo, a colisão de escrita de mensagens pode ocorrer quando dois ou mais nós presentes no barramento tentam escrever no barramento em simultâneo. O que vai resultar num erro na comunicação, como atrasos na escrita de mensagens no barramento ou possivelmente na corrupção dos dados presentes nas mesmas. O protocolo de comunicação *CAN* evita a colisão de mensagem pelo identificador da mensagem. A mensagem com o identificador com o menor valor irá ganhar o acesso ao barramento comparativamente com uma mensagem com o identificador de valor superior (Circuits, 2022).

A Figura 5 representa um exemplo do processo de *arbitragem* no protocolo *CAN*. Demonstra a comunicação de 3 nós e a comunicação final do mesmo. Os nós começam a comunicação com o *bit* dominante, o próximo *bit* a ser escrito é igualmente dominante mas apenas para o nó 1 e 3. O nó 2 escreve um *bit* recessivo, este nó vai detetar a linha num estado dominante e por isso irá interromper o processo de escrita. A escrita de dados no barramento continua apenas com os nós 1 e 3, ambos os nós escrevem outro *bit* dominante, o seguinte *bit* dominante é escrito pelo nó 1. O nó 3 deteta o *bit* dominante e interrompe o processo de escrita ficando em modo de leitura. O nó 1 continua a escrita da mensagem até ao fim, e os nós 2 e 3 retomam a escrita das mensagens assim que detetarem a inatividade no barramento.

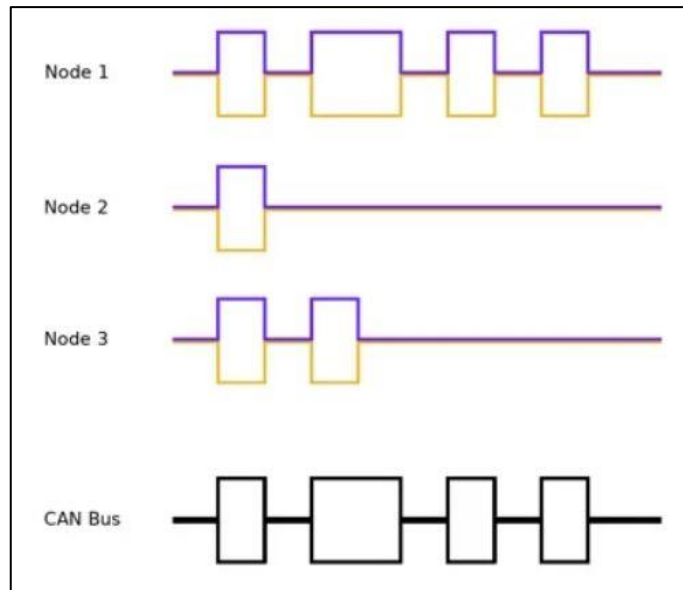


Figura 5 - Processo de Arbitragem do Protocolo CAN (Circuits, 2022).

Módulo Eletrónico Datalogger

A maioria dos veículos de competição são desenhados com ajustes para ser possível modificar a sua configuração dinâmica, de modo a extrair o melhor desempenho possível do veículo. A afinação de um veículo de corrida muda constantemente de corrida para corrida ou na mesma prova em si, por diversos motivos como, alterações meteorológicas, tipologia do terreno, evento de competição.

A gravação de dados e a análise do mesmos desempenham um papel fundamental na análise da informação extraída do veículo. Permitindo avaliar o seu desempenho e identificar áreas a melhorar. Dada a necessidade de gravar os dados é integrado nos veículos de competição um *Datalogger*. Este é um módulo eletrónico que grava as informações do veículo ao longo do tempo. Os dados adquiridos são provenientes de sensores instalados no veículo, informação de atuadores e variáveis de controlo das unidades de comando presentes, nos barramentos de comunicação (Dynamcis, 2022) (EvansTuning, 2022).

Existe múltiplos modelos de *Datalogger* no mercado é apresentado uma breve pesquisa sobre os *Dataloggers* utilizados no desporto automóvel. As especificações dos mesmo foram usadas como uma base de referência para o módulo *Datalogger* desenvolvido.

CSSEletronics® CANedge1

O *Datalogger* modelo *CANedge1*, fabricado pela empresa CSSEletronics®, é um módulo de gravação de dados concebido para ser de simples instalação, gravar os dados presentes nos barramentos *CAN* e *LIN* (*Local Interconnect Network*) e serem salvos para um cartão *SD*. A sua utilização é maioritariamente monitorizar os dados presentes no barramento *CAN* durante longos períodos tempo. O *CANedge1* possui um valor monetário de venda ao público de 299 euros, é possível observar o módulo eletrónico na Figura 6 (CSSElectronics, 2022).



Figura 6 - *Datalogger CANedge1* (CSSElectronics, 2022).

Especiações do *Datalogger CANedge1*:

- Gera ficheiros de dados em formato CSV, ASC e PCAP;
- 2 barramento de comunicação *CAN*;
- 2 barramentos de comunicação *LIN*;
- Gravação de dados para cartão *SD* 8GB de classe 10 industrial;
- Tensão de alimentação compreendida entre 7V e 32V, consumo de potência inferior a 1W;
- *LEDs* de *feedback* sobre o estado de operação;
- Dimensão, 52.5 x 81.4 x 24.5 mm, massa de 100g.

Motec® L120

O *Datalogger* L120 fabricado pela marca Motec®, é um módulo de gravação de dados totalmente programável. O módulo tem 120MB de memória interna para gravação de dados e, caso seja necessário espaço adicional, pode ser iniciada gravação de dados por

protocolo *USB*. Possui 6 canais analógicos de leitura e 5 canais digitais que podem ser utilizados para adquirir sinal proveniente de sensores de velocidades.

O L120 oferece todos os recursos avançados de um *Datalogger*, nomeadamente alarmes de aviso programáveis, nível de combustível e autonomia, registos do motor, temporizadores, entre outras funcionalidades. Apresenta quatro saídas auxiliares que podem usadas para controlar dispositivos externos como, luzes de mudança, luzes de aviso, bomba de óleo da caixa de velocidades e ventoinhas do sistema de refrigeração. Internamente vem equipado com alguns sensores: módulo de inércia, sensor de temperatura e sensor de medição da tensão da bateria. Ao nível de comunicação o L120 vem equipado com dois canais de comunicação *CAN* e *RS232*. A Motec® L120 tem valor monetário de venda ao público de 1650 euros, é possível observar o módulo eletrónico na Figura 7 (Motec, 2022).



Figura 7 - Datalogger L120 (Motec, 2022).

Especificações da Motec® L120:

- 2 barramentos de comunicação *CAN*;
- 2 barramentos de comunicação *RS232*;
- Gravação de dados em memória interna de 120MB, memória extensível pelo protocolo *USB*;
- Escrita e receção de mensagens *CAN* personalizadas;
- Taxa máxima de gravação de dados 500Hz;
- 6 canais analógicos;
- 5 canais digitais, 3 canais com capacidade de ler sensores de velocidades;
- 4 canais de saída *PWM* (*Pulse Width Modulation*) de 0.5A *low side*;

- Sensor de aceleração e temperatura;
- Tensão de alimentação compreendida entre 6V e 32V, consumo de potência máximo de 6W;
- Proteção IP67;
- Dimensão, 134.5 x 103.9 x 20.2 mm, massa de 289g.

Bosch® C80

O C80 é um *Datalogger*, Figura 8, fabricado pela marca Bosch®, é um módulo de gravação de dados profissional para aplicação no setor automóvel. Permite a aquisição de dados do veículo, possui 26 canais de entrada analógicos, 4 canais digitais e comunicação via protocolo *Ethernet* e *CAN Bus*. Apresenta uma taxa de gravação de dados até 1000Hz. Os dados gravados podem atingir um tamanho máximo de 16 GB, o utilizador obtém os dados para análise via *Ethernet*. O Bosch® C80 possui um valor monetário de venda ao público de 5600 euros. (GoMuchFaster, 2022) (BoschMotorsport, 2022).



Figura 8 - Datalogger C80 (BoschMotorsport, 2022).

Especificações do Bosch® C80:

- 2 barramentos de comunicação *CAN*;
- 3 barramentos de comunicação *Ethernet*;
- Gravação de dados em memória interna de 16GB;
- Escrita e receção de mensagens *CAN* personalizadas;
- Criação de canais matemáticos;
- Número máximo de 1500 canais;
- Taxa máxima de gravação 1000Hz;

- 26 canais analógicos com um ADC de 12Bits resolução e filtro passa baixo integrado na linha de sinal;
- 4 canais digitais com capacidade de *pull-up* interna;
- 4 canais de saída *PWM* de 2A *low side*;
- Canal de *trigger* de volta;
- *LEDs* de *feedback* de estado de operação;
- Proteção IP67;
- Tensão de alimentação compreendida entre 8V e 18V, consumo de potência máximo de 18W;
- Dimensão, 105 x 34.5 x 137.5 mm, massa de 462g.

Os três *Datalogger* analisados foram escolhidos por terem sido desenvolvidos para diferentes segmentos de mercado. O *CANedge1* é o módulo que apresenta o valor monetário de aquisição mais baixo dos três, é opção ideal para efetuar uma gravação de dados simples e eficaz. O L120 é um produto que pertence à marca Motec® uma referência no desporto automóvel, este *Datalogger* foi concebido para ser utilizado maioritariamente em veículos de competição. O C80 é o *Datalogger* que apresenta um maior valor monetário de aquisição, a sua aplicação predominante é no desporto automóvel de elite, este módulo apresenta especificações superiores aos dois módulos.

Sensor de Posição da Caixa de Velocidades

O sensor de posição da caixa de velocidades mede o ângulo de rotação do eixo da mudança engrenada e converte o ângulo medido num valor de tensão elétrica, de modo a ser possível analisar a posição da caixa de velocidade. A informação proveniente deste sensor é utilizada pelos fabricantes para otimizar a condução e baixar o consumo de combustível, uma vez que a grandeza medida permite controlar com maior precisão a afinação do motor para cada posição da caixa de velocidades (TransTron, 2022) (FAE, 2022).

Um exemplo de um sensor de posição genericamente utilizado para adquirir a posição da caixa de velocidades na competição automóvel é o SRH280DP da marca Penny & Giles®. Este sensor mede posição angular de forma fiável, devido à utilização da tecnologia de Hall, e precisa em ambientes onde podem ocorrer vibrações. Este sensor tem classificação de proteção IP68. O sensor tem uma resolução de 12bits e opera de

- 40°C a +140°C. Na Figura 9 é possível observar o sensor SRH280DP (IndustrialGroup, 2022).



Figura 9 - Sensor de Posição Angular SRH280DP (IndustrialGroup, 2022).

Um segundo exemplo de um sensor de posição angular, utilizado como feedback de posição do pedal do acelerador e borboleta, posição da caixa de velocidades, ângulo de roda para veículos todo terreno e tratores, altura de suspensão, entre outros. É o modelo PSC-360 da marca PIHER®, o sensor apresenta uma resolução de medição de 12bits, tensão de funcionamento e temperatura semelhante ao sensor anterior o modelo SRH280DP (PIHER, s.d.). Na Figura 10 é possível observar o sensor



Figura 10 - Sensor Angular PSC-360 (PIHER, s.d.).

Ambos os sensores mencionados utilizam tecnologia efeito de Hall como base do seu funcionamento. O sensor de efeito de Hall é um sensor ativo, ou seja, necessita de energia externa para funcionar. Funciona por base de um campo magnético permanente a

que o sensor de Hall é sensível. No caso dos sensores rotativos estes possuem um eixo, em que o mesmo vai rodar relativamente ao eixo do sensor Hall interno, esse efeito rotativo do eixo vai influenciar o campo magnético (PIHER, s.d.). Para diferentes campos magnéticos vai ser originado um sinal elétrico de saída diferente. Vantagem de usar a tecnologia de efeito de Hall neste tipo de aplicações é a medição da posição ser efetuada sem a existência contacto interno dos componentes.

Sistema de Telemetria

É um sistema composto por dois módulos um recetor e um transmissor, em que um módulo transmite dados, para um local remoto. Os dados transmitidos podem ser desde variáveis do motor, o percurso da suspensão, posição da caixa de velocidades, o nível de combustível, temperaturas de operação, acelerações do veículo, estado dos atuadores, entre outros. Os dados recebidos são usados como base para otimizar a configuração do carro e diagnosticar os problemas enquanto o mesmo se encontra em pista (Eetasia, 2022) (Copeto, 2009).

Comunicação *Wireless*

O tipo de comunicação utilizado para o sistema de telemetria não pode ser dependente de comunicação por fios, mas sim pela propagação de ondas eletromagnéticas numa determinada banda de frequência (ElectronicHub, 2022).

A comunicação sem fio, do inglês *Wireless Communication*, tem como definição a transferência de informações entre dois ou mais pontos sem auxílio de um condutor elétrico, fibra ótica ou outro meio. Maioritariamente as comunicações sem fios utilizam ondas rádio para propagar o sinal. Dada a tecnologia de ondas rádio utilizada as distâncias de transmissão podem ter curto alcance, exemplo comunicação Bluetooth apenas alguns metros de alcance, ou milhões de quilômetros de alcance utilizado por comunicações de rádio no espaço profundo. Tecnologia denominada de *DSN* do inglês *NASA Deep Space Network* (NasaDeepSpaceNetwork, s.d.). A comunicação sem fios pode ser constatada em objetos do cotidiano como portáteis, telemóveis, unidades de GPS (*Global Positioning System*), portões de garagem automáticos, televisão por satélite, entre outras tecnologias.

Protocolos de Comunicação Sem Fios

Zigbee

ZigBEE é um protocolo de comunicação sem fios que usa o padrão IEEE® 802.15.4™. O protocolo foi concebido para ser utilizado por dispositivos de menor custo e baixo consumo energético. Utiliza a banda de *ISM* do inglês *Industrial, Scientific and Medical*. Opera em múltiplas frequências, incluindo a banda de 868MHz utilizada na Europa e a banda de 2.4GHz é possível no pelo mundo inteiro. A largura de banda vai influenciar as taxas de transferência de dados, exemplo, a frequência de 300MHz permiti atingir uma taxa de transferência máxima de dados de 20Kb/s. Enquanto a frequência de 2.4GHz tem a capacidade de atingir 250Kb/s, mas resultando num menor *alcance* de sinal. O baixo consumo de energia do protocolo limita a distância de transmissão dados (entre 10 e 100 metros) por outro lado o baixo consumo energia torna este protocolo ideal para equipamento elétricos a bateria. A baixa transmissão de dados pode ser um ponto negativo deste protocolo de comunicação (ZigBeeNetGuru, 2022) (Digi, 2022).

Bluetooth

O Bluetooth é um protocolo de comunicação sem fio que opera na faixa de frequência 2.4GHz. É um protocolo ideal e seguro para transmissões sem fios de curto *alcance*, baixo consumo de energia e baixo custo entre dispositivos eletrónicos. Oferece simples configuração de conexões e imunidade a interferências no sinal transmito, esta imunidade de sinal deve-se ao facto de ser utilizada a tecnologia *FHSS* do inglês *Frequency-hopping Spread Spectrum*. O protocolo consegue fornecer uma taxa de transferência de dados até 24Mb/s. É possível encontrar este protocolo numa grande variedade de produtos eletrónicos que precisam de transmitir informação em curta distância, exemplo, auscultadores de ouvido, ratos de computador, comandos de consolas de jogos, entre outros (Sparkfun, 2022) (Wikipedia, 2022).

Rede de Telemóveis 4G

Protocolo de comunicação sem fio 3G ou 4G, foi projetado para ser utilizado no em dispositivos móveis, fornecendo elevadas taxas de transferência de dados. A desvantagem deste protocolo é que os dispositivos que utilizam esta rede operam em frequências de sinal licenciadas comercialmente, os utilizadores finais são forçados a usar as redes de operadoras de serviços que podem licenciar a frequência de sinal. Dado que a faixa de frequência é licenciada, pode baixar a fiabilidade do serviço, uma vez que não existe

garantia que no local das competições e treinos exista cobertura de sinal. Exemplo, uma equipa com sede em Portugal pode ir competir no mesmo ano na Alemanha e Inglaterra. Outro ponto que pode originar uma diminuição da fiabilidade, nas datas da competição, podem existir múltiplos clientes a utilizar as infraestruturas fornecidas pela operadora de serviços e a disponibilidade da rede irá diminuir (Fusionconnect, 2022) (EMnify, 2022).

Protocolo WLAN

WLAN é um protocolo de comunicação sem fio de computadores mais usada pelo mundo, *WLAN* vem do inglês *Wireless Local Area Network*. Este protocolo segue as normas do IEEE® 802.11™ sendo posteriormente batizado com o nome de *WIFI*®. Um dos protocolos mais comuns de utilização é o 802.11b™ este protocolo funciona na gama de frequências de 2.4GHz e suporta uma taxa de transferência de dados até 11Mb/s (TutorialsPoint, 2022).

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

3. Desenvolvimento de Eletrônica

Este capítulo tem como objetivo apresentar os módulos eletrônicos desenvolvidos para o veículo de competição *Formula Student*. O capítulo está dividido em subcapítulos em que cada um é dedicado a um módulo eletrônico específico. Dentro de cada subcapítulo será explicado o objetivo do módulo ou seja qual a problemática que este vai solucionar, a arquitetura do *hardware* e do *firmware desenvolvido*, o projeto de elaboração da placa de circuito impresso e os relatórios de custo, a fim de se obter uma estimativa dos custos de produção.

3.1. Módulo *Datalogger*

3.1.1. Objetivo do Módulo

Dada a necessidade de compreender e posteriormente analisar o que está a acontecer no veículo o módulo *Datalogger* tem o objetivo de adquirir toda a informação presente no barramento de comunicação *CAN* do veículo e subsequentemente gravá-la num cartão SD. O módulo permitirá efetuar uma análise detalhada dos dados provenientes dos sensores e atuadores presentes no barramento do veículo, enquanto este esteve em funcionamento.

A gravação da informação referentes ao controlo da caixa de velocidades, representa um exemplo da importância do *Datalogger*. A gravação da informação referente ao controlo da caixa de velocidades é realizada para os seguintes eventos, o momento em que o piloto solicita alteração mudança engrenada no volante, o sinal de pedido vai para a unidade de comando do motor no qual esta vai determinar se é seguro ou não solicitar o pedido de alteração de mudança ao módulo de controlo e o sinal de feedback do sensor de posição da caixa de velocidades. O *Datalogger* permite gravar a totalidade dos dados durante o processo de solicitação do pedido de alteração de posição da caixa de velocidades com o objetivo de avaliar o correto funcionamento do sistema ou identificar falhas no requisito de uma nova mudança. Adicionalmente, o *Datalogger* apresenta um papel importante na afinação dinâmica do veículo, uma vez que vai permitir gravar todos os dados referentes ao comportamento do veículo em pista, tais como: o ângulo do volante, o percurso da suspensão, a temperatura dos pneus, os dados provenientes do módulo de inércia, a velocidade individual de cada roda, entre outros.

Foram definidos requisitos funcionais pela equipa para o desenvolvimento do *Datalogger* foram:

- Uma frequência de gravação de dados de 200Hz. É um dos requisitos mais importantes do módulo. Uma elevada frequência de gravação permite gravar todos os eventos que estão a acontecer no veículo. Em caso de uma anomalia esporádica, o *Datalogger* tem de conseguir captar e gravar o acontecimento;
- Os dados monitorizados que posteriormente serão gravados tem de ser gravados num ficheiro com formato neutro, exemplo ficheiro de texto, de modo a permitir analisar os dados em múltiplas plataformas e não se estar dependente apenas de um programa de análise de dados;
- Se existir uma falha de energia no circuito de baixa tensão que alimenta o *módulo* e este se desligar por causa da falha de energia, o módulo tem de possuir a capacidade de proteger os dados gravados de modo a não ficarem corrompidos.

O primeiro requisito definido foi a capacidade do *Datalogger* ter uma elevada taxa de gravação de dados. Para isso, é necessário, num primeiro momento, identificar qual a taxa de gravação necessária que permitirá, posteriormente, um correto estudo e avaliação da dinâmica do veículo. Assim, e depois de identificadas as grandezas dinâmicas de interesse, foi definida uma taxa de gravação ideal de 200Hz. Para executar essa tarefa o módulo terá uma janela temporal de 5ms para ler as variáveis presentes no barramento de comunicação do veículo e gravar os dados lidos no cartão de memória.

Como segundo requisito o módulo do *Datalogger* teria de gravar os dados num formato de ficheiro neutro, ou seja, o ficheiro de dados deve estar formatado de modo a se conseguir abrir o ficheiro em múltiplos programas de análise de dados e não se estar apenas dependente de um programa específico. Assim, optou-se por uma gravação dos dados num ficheiro de texto, o ficheiro de texto apresenta a vantagem de ser versátil uma vez que pode ser aberto no Excel® para análise ou ser transformado noutra formato de ficheiro CSV regularmente utilizado na indústria. Outro ponto relevante é a organização dos dados dentro do ficheiro de modo a facilitar a análise e ser o mais universal possível. Os dados foram organizados com a seguinte metodologia, cabeçalho com informação referente ao ficheiro como a data e hora em que o ficheiro foi criado. A cada cinco milissegundos será escrita uma nova linha com todos os dados adquiridos, o primeiro valor será utilizado como uma referência temporal, as restantes variáveis terão delimitadas por vírgulas.

O terceiro requisito foca-se na capacidade do módulo ter de conseguir proteger os dados em caso de anomalia durante o processo de gravação. Se durante o decorrer de gravação de dados no ficheiro, existir uma falha de alimentação no módulo, se o ficheiro de texto não for fechado corretamente, este ficará corrompido e os dados nele presentes serão perdidos. Para mitigar este acontecimento, foi dimensionado um circuito para proteger o módulo do *Datalogger* caso exista um procedimento de desligar incorreto. O circuito em causa vai ser denominado de “*EPW – Energy Power Warning*”.

3.1.2. Arquitetura do *Hardware*

Diagrama de Blocos

O desenvolvimento do *hardware* foi dividido em múltiplas subestruturas que podem ser observadas pelo diagrama de blocos do circuito na Figura 11.

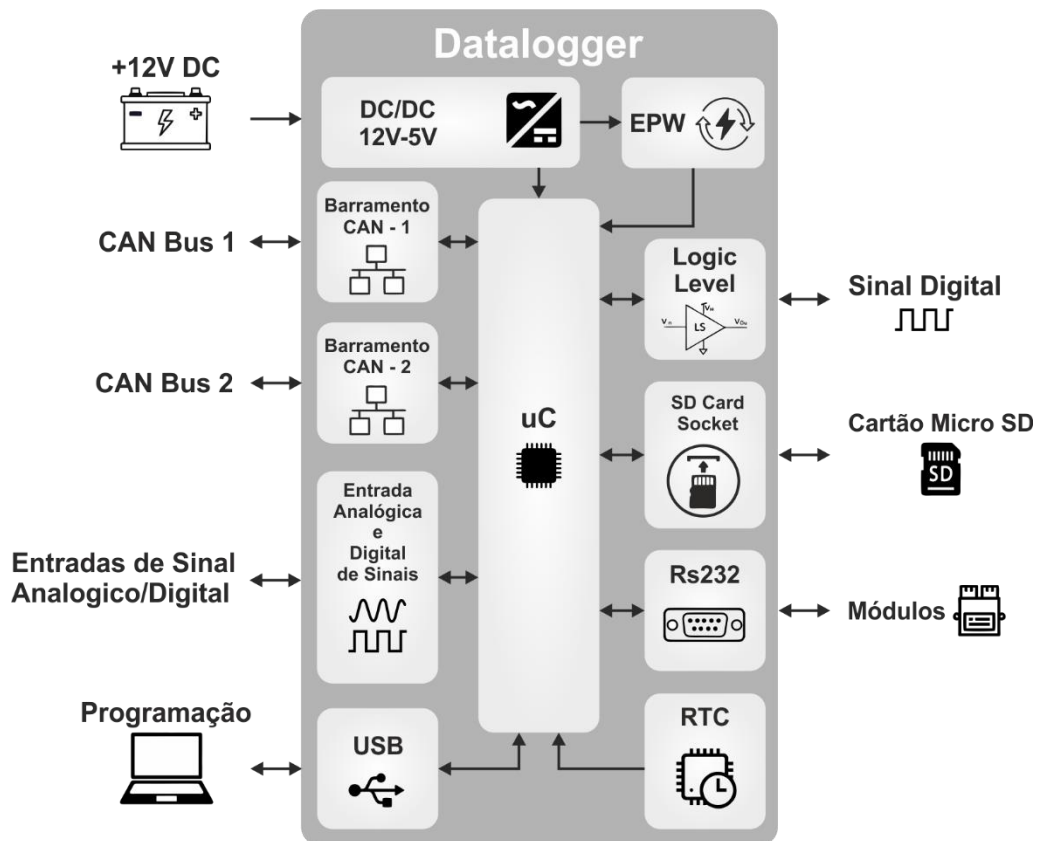


Figura 11 - Diagrama de Blocos do Circuito do Datalogger.

O *Datalogger* é composto por 11 blocos distintos interligados entre si, e especificados de seguida:

- O bloco relativo à alimentação do módulo é responsável por converter os 12V provenientes da bateria de baixa tensão em 5V para alimentação do microcontrolador e os circuitos integrados presentes no módulo. Este bloco é igualmente responsável pela estabilização do barramento de 5V de alimentação caso existam oscilações no sinal de alimentação;
- O bloco relativo ao processamento de sinal é onde está inserido o microcontrolador responsável pelo processamento da informação adquirida e atuar em função da mesma. Por exemplo, caso o *Datalogger* receba o comando proveniente do piloto do veículo para iniciar o processo de gravação o microcontrolador vai processar essa informação;
- Os dois blocos relativos à comunicação CAN, a maioria da informação adquirida pelos sensores e atuadores é transmitida para o barramento de comunicação. Foi incorporado *transceivers* de comunicação CAN no *Datalogger*, para este conseguir comunicar com o barramento de comunicação do veículo. O módulo do *Datalogger* foi equipado com a capacidade de gravar dados provenientes de dois barramentos CAN a introdução desta funcionalidade tem como objetivo aumentar a longevidade do mesmo e não ficar obsoleto caso no futuro o veículo seja equipado com dois barramentos de comunicação.
- Bloco de entrada de sinais analógicos e digitais, representa os componentes passivos e circuitos integrados necessários para fazer o condicionamento de sinais enviados para o *Datalogger*. Foi acrescentado ao módulo a capacidade de adquirir sinais analógicos ou digitais, com o objetivo de conseguir ler informação proveniente de sensores, atuadores, botões, entre outros. Um exemplo onde se demonstra a utilização de um sinal digital é no controlo de gravação de dados. O piloto pode ter instalado no cockpit do veículo um botão de controlo que quando é pressionado, irá ligar e desligar a gravação de dados para o cartão SD;
- Bloco do USB (*Universal Serial Bus*), representa a porta micro USB presente no módulo. Tem como finalidade ser usada para programação do microcontrolador ou comunicação série com um interface exterior;
- Bloco RTC, representa o circuito integrado responsável por medir a passagem do tempo, ou seja, sempre que é criado um novo ficheiro no cartão SD será solicitado ao RTC a informação da data e hora para ser gravada no ficheiro de dados;
- Bloco RS232, este bloco foi adicionado ao módulo a capacidade de conseguir comunicar no protocolo série de troca da dados caso existisse necessidade, esta

funcionalidade foi acrescentada com o objetivo de aumentar a versatilidade do *Datalogger*,

- Bloco SD Card Socket, é responsável pelo *hardware* que permite fazer a interface entre o microcontrolador e o cartão SD;
- Bloco *Logic Level*, representa uma funcionalidade que foi adicionada igualmente ao módulo com objetivo de o tornar mais versátil, isto é, o *Datalogger* encontra-se equipado com um microcontrolador que opera a uma tensão lógica de 3.3V e, devido a isso, não é possível ler ou escrever sinais digitais de 5V. Essa característica representa uma limitação do próprio microcontrolador. Para suprimir essa limitação foi acrescentado um circuito integrado responsável por transformar um sinal de entrada de 5V para 3.3V. O inverso é também possível, isto é, escrever um sinal de 3.3V lógicos num determinado pino de saída e o módulo terá um sinal de saída lógico de 5V;
- Bloco EPW, *Energy Power Warning*, representa uma funcionalidade de proteção, caso exista uma falha de energia na alimentação do *Datalogger* e se este se desligar durante a gravação de dados. Foi desenvolvido um circuito de aviso para o microcontrolador, para evitar a perda de dados total, caso exista uma falha de energia.

3.1.2.1. Componentes Utilizados

Este subcapítulo tem como objetivo identificar e explicar em maior detalhe os componentes utilizados no desenvolvimento e construção do módulo do *Datalogger*. Na Tabela 1 encontram-se identificados os principais componentes utilizados no módulo do *Datalogger*.

Tabela 1 - Lista de Componentes Utilizados no *Datalogger*

Descrição	Qtd.	Referência	Observação
Teensy 3.6	1	Teensy 3.6 Dev	Aquisição e processamento de informação
RTC	1	DS3231M	Relógio de tempo real
Regulador DC-DC	1	R-78E5.0- 1.0	Regulador de tensão 12V-5V

Transceiver CAN	2	MCP2562	Interface entre o microcontrolador e o barramento de CAN
Logic Level	2	BSS138	Conversor logico
Ampop Comparador	1	MCP6542	-

Microcontrolador

Foi selecionada a placa desenvolvimento Teensy 3.6 da marca PJRC® onde se encontra integrado o microcontrolador ARM Cortex-M4 da marca NXP® com as seguintes especificações: velocidade de relógio de 180Mhz, 1024Kbytes de *Flash*, 256Kbytes de *RAM*, 4Kbytes de *eeeprom*, controlador *USB*, suporte para cartão micro SD, dois barramentos de comunicação *CAN*, 6 barramentos de comunicação RS232, 3 barramentos de comunicação *SPI*, 2 barramentos de comunicação *I2C*, entre outras especificações (PJRC, 2022).

Adicionalmente, outra vantagem pertinente de utilizar a placa de desenvolvimento Teensy 3.6 é a mesma ter incorporado um leitor de cartão SD, como resultado não será necessário incorporar na PCB um leitor de cartões SD tornando a PCB menos complexa e mais compacta.

RTC – Real Time Clock

Selecionou-se o circuito integrado DS3231M da marca Maxim Integrated® para ser utilizado como relógio em tempo real. Este circuito integrado apresenta a característica de conseguir medir a passagem do tempo com elevada resolução, a data e a hora com uma resolução de segundos, comunicação *I2C* para fácil integração com os outros periféricos presentes no módulo, baixo consumo energético, por sua vez irá permitir aumentar a longevidade da bateria auxiliar que alimenta o circuito integrado quando o *Datalogger* estiver desligado.(MaximIntegrated, 2022).

Regulador DC-DC

O regulador de tensão selecionado foi o R-78E5.0-1.0 da marca RECOM®, este conversor DC-DC tem como objetivo converter o valor de tensão elétrica proveniente da bateria do veículo para um valor de tensão lógica de funcionamento dos circuitos integrados presentes na placa.

O regulador DCDC apresenta múltiplas vantagens tais como uma ampla gama de valores de tensão de funcionamento sendo estes compreendidos entre 8-28V. E esta característica permite o regulador funcionar independente das oscilações de tensão no sistema de 12V do veículo, o regulador apresenta uma eficiência até 91% como resultado não irá gerar calor conseqüentemente não existe a necessidade de instalar um dissipador de calor na placa e apresenta proteção contra curto circuito (Power, 2022).

Transceiver CAN

O *transceiver* MCP2562 da marca Microchip® foi o *transceiver* utilizado para converter os sinais de comunicação presentes no barramento CAN para a tensão lógica correta para ser compatível com a tensão lógica de operação do microcontrolador, o *transceiver* apresenta a vantagem de ter um pino “Vio” que define a tensão lógica de comunicação, no caso *Datalogger* o pino “Vio” foi alimentado com uma tensão de 3.3V uma vez que é a tensão lógica de funcionamento do microcontrolador. O MCP2562 tem a capacidade de funcionar até 1 Mb/s de velocidade de comunicação e cumpre os requisitos de funcionamento da indústria automóvel (Microchip, MCP2562, 2022).

Logic Level

Selecionou-se o transistor BSS138 da marca ONSEMI® para ser usado como conversor de nível lógico. Este componente apresenta a característica de ser robusto, compacto e conseguir alcançar uma elevada taxa de comutação. O BSS138 tem as especificações ideais para ser usado como conversor de nível lógico bidirecional (Onsemi, 2022).

Amplificador Operacional Comparador

Foi escolhido o circuito comparador MCP6542 da marca Microchip® para ser usado no circuito de proteção contra falhas de energia no *Datalogger*, mais especificamente no circuito do “EPW”. O circuito integrado permite comparar dois níveis de tensão e ter uma

saída do estilo *Push-Pull* em função os valores comparados. O MCP6542 apresenta a vantagem de ser *rail to rail*, baixo consumo de energia e uma tensão de alimentação entre 1.6V e 5.5V ideal para o circuito concebido (Microchip, MCP6541 Datasheet, 2022).

3.1.3. Arquitetura do *Firmware*

O *firmware* desenvolvido para o módulo foi programado em linguagem C/C++ com o auxílio do interface Arduino IDE (*Integrated Development Environment*). O *firmware* foi concebido para aquisição e processamento dos sinais digitais e analógicos, e ler as mensagens presentes no barramento CAN com o objetivo de selecionar a informação pertinente para posterior gravação num cartão SD.

O programa é composto por múltiplas funções, estando elas divididas em duas vertentes distintas: as funções responsáveis por adquirir e processar informação proveniente de sensores e as mensagens presentes no barramento de comunicação do carro, e as funções responsáveis por gravar os dados adquiridos no cartão SD.

***Firmware* Principal**

A Figura 12 representa o diagrama de blocos do *firmware* principal desenvolvido para o módulo do *Datalogger*.

O código começa por executar o `setup()` onde serão configurados e inicializados os periféricos do microcontrolador tais como, comunicação CAN, porto de I/Os, entre outros periféricos necessários para o correto funcionamento do módulo. Este excerto de código será executado uma única vez aquando da inicialização do microcontrolador. De seguida é executado o código que está presente na função `Loop()`, a primeira função a ser executada é a função responsável por ler as mensagens presentes no barramento de comunicação do veículo e posteriormente guardar os dados adquiridos. Seguidamente é executada a função responsável por ler os sinais analógicos e digitais recebidos pelo módulo e o seu respetivo processamento. Após finalizada a tarefa, é inicializada a função `IMU_Read()` cujo objetivo é descodificar e processar os dados relativos ao sensor de inércia presente no veículo. A próxima tarefa a ser executada é a condição responsável por interpretar a escrita de informação no cartão SD a condição só será verdadeira caso o piloto tenha dado a ordem para serem gravados dados no cartão SD. Se a condição for verdadeira a função principal do código desenvolvido é executada, esta função é responsável por ler a informação armazenada no vetor de dados e organizá-la e

seguidamente gravá-la no cartão SD com um intervalo temporal constante predefinido. Posteriormente, é desempenhada a função responsável por escrever no barramento de comunicação informação presente no módulo, tais como o estado de gravação dos dados pelo *Datalogger*, enviar os valores dos sinais analógicos adquiridos. Estes dados escritos no barramento de comunicação são principalmente usados para o interface gráfico do piloto. O módulo desenvolvido tem *LEDs* de estado incorporados na placa de circuito impresso responsáveis por informar se o *Datalogger* está desligado ou ligado, se existe comunicação *CAN* entre outras funcionalidades. A última função a ser executada é responsável por atualizar o estado lógico dos *LEDs* presentes no módulo.

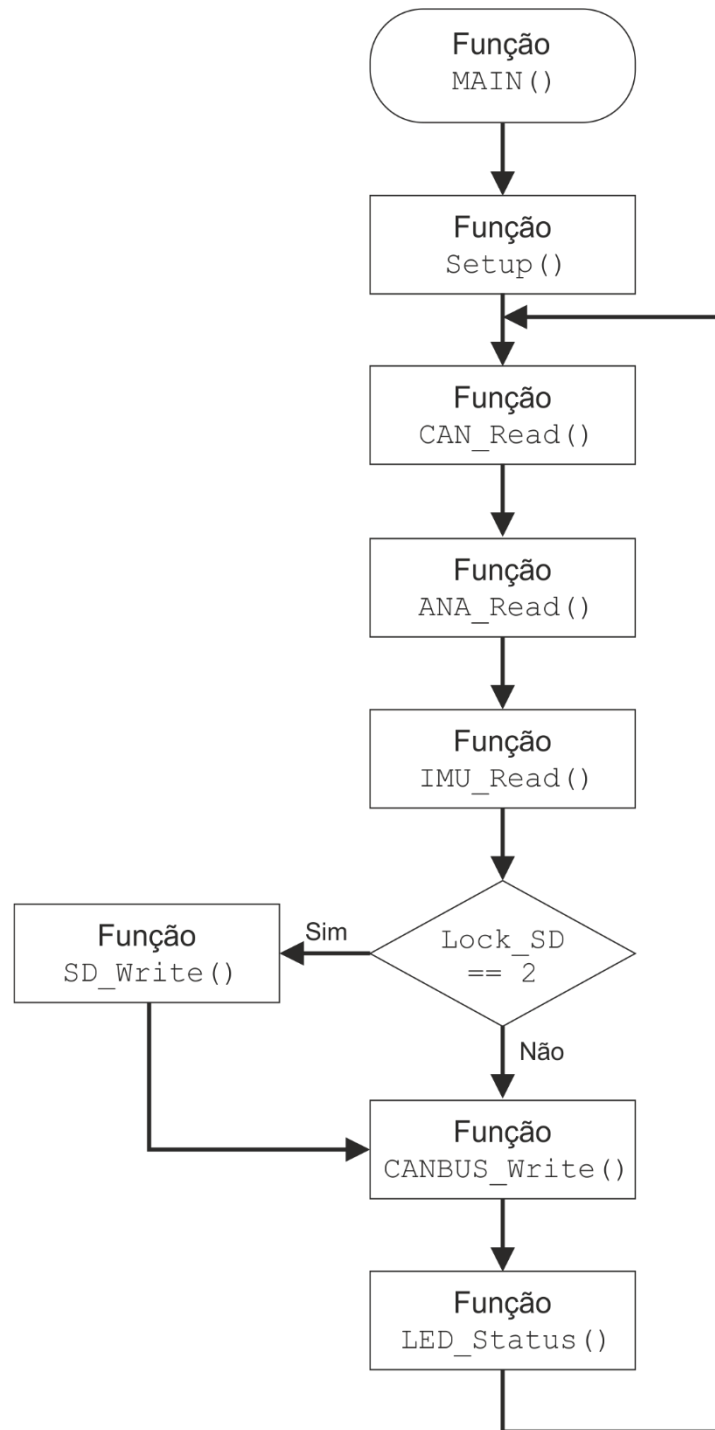


Figura 12 – Fluxograma do Firmware Principal do Datalogger

Função de Controlo do *Datalogger*

A função de controlo é o excerto de código responsável por habilitar e desabilitar a escrita de dados no cartão micro SD. O utilizador pode ativar ou desativar o *Datalogger* por duas formas, a primeira por um pulso de sinal digital com valor lógico alto, controlado por um simples interruptor de pressão. A segunda pelo barramento de comunicação no qual se envia uma mensagem CAN para o módulo para ativar ou desativar a gravação de dados.

A Figura 13 apresenta o fluxograma da função de controlo do *Datalogger*. Esta função inicia com uma operação lógica onde é determinado o estado atual do módulo. Se a variável `Lock_SD` apresente um valor lógico igual a “1” significa que não está a decorrer gravação de dados, se for diferente de “1” significa que o processo de gravação de dados está ativo.

Assumindo que a variável tem um valor lógico igual a “1” e a operação lógica será verdadeira, são executadas as instruções do código para iniciar o processo de gravação de dados. A primeira tarefa é ler a memória *eeeprom* do microcontrolador de modo a adquirir o último valor do ficheiro de dados criado. De seguida será adquirido a data e hora do momento de início de gravação dos dados. Irá posteriormente iniciar-se o processo de abertura do cartão SD com objetivo de compreender se o mesmo se encontra presente ou não. Se o cartão SD não estiver inserido no módulo do *Datalogger*, será abortado o processo de início de gravação de dados e será transmitido uma mensagem para o barramento CAN com o estado do módulo. Caso o cartão SD esteja inserido no módulo será dado o início da criação de um novo ficheiro de texto, onde o cabeçalho apresenta o número do ficheiro e a data e hora em que foi criado. Após isso, será alterado o estado da variável que habilita a gravação de dados e por último será escrito na memória da *eeeprom* o número do valor atual no cabeçalho do ficheiro de dados.

Caso o valor lógico da variável `Lock_SD` seja igual a “2” esse valor representa a ordem normal para terminar o processo de gravação de dados. Irá ser escrito na última linha do ficheiro de texto uma mensagem a informar o utilizador que este efetuou o fim de gravação de dados, iniciando assim um encerramento normal. Caso a variável `Lock_SD` apresente um valor igual “3”, é indicativo que a função `EPW()` foi ativada e que existiu uma falha de energia na alimentação do módulo, levando a que o cartão SD tenha um encerramento de emergência com a finalidade de salvar os dados presentes no cartão. Será escrito na última linha do ficheiro de texto uma mensagem para o utilizador a informar que a gravação de dados terminou pelo motivo de falha de energia e de seguida será encerrado o processo de gravação.

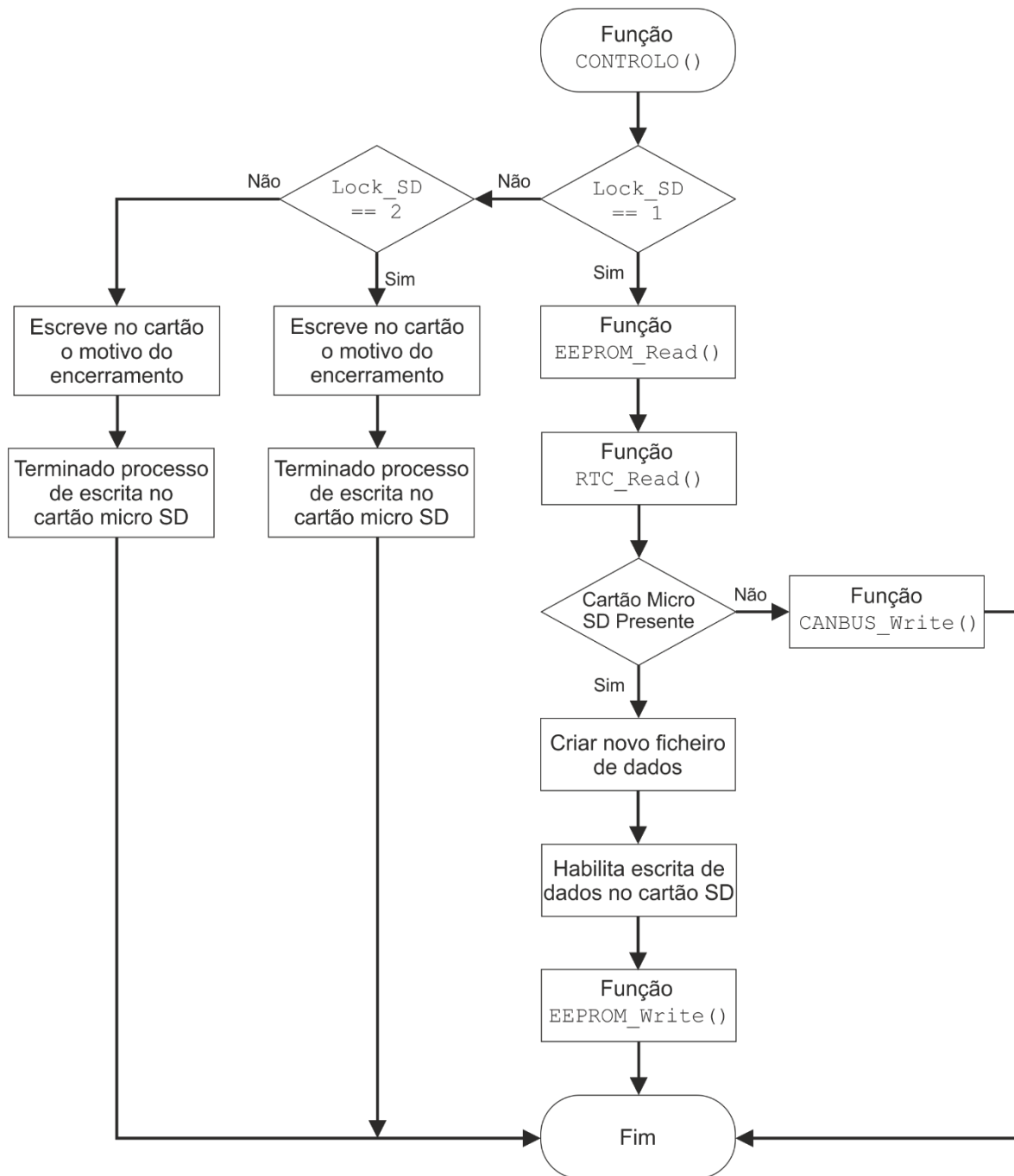


Figura 13 – Fluxograma da Função do Datalogger Controlo

3.1.4. Projeto de PCB – Placa de Circuito Impresso

No desenvolvimento da PCB uma das especificações mais importantes foi a mesma ter a menor área possível. Este requisito é de elevada importância uma vez que o veículo apresenta limitação de espaço interior disponível. Assim, módulos com dimensões reduzidas serão mais versáteis na integração do veículo.

Com o fim de alcançar a menor área possível da PCB foi decidido utilizar componentes onde a maioria dos *packages* seria SMD (do inglês *Surface Mount Device*). A utilização de componentes SMD permite o desenvolvimento do módulo com uma área mais reduzida comparativamente com os componentes mais tradicionais DIP (do inglês *Dual Inline Package*) com a vantagem adicional destes permitirem a utilização de ambas as faces da PCB para disposição de componentes. Uma vez que o módulo vai estar exposto aos elementos, foi selecionado um conector de classe automóvel que cumpre todos os requisitos da indústria para ser utilizado.

A PCB desenvolvida apresenta as seguintes especificações: 1.6mm de espessura da placa e 1oz de espessura de cobre, a dimensão final obtida foi de 64.3 x 65.6mm que vai representar uma área total de 4218.08mm². Pode-se observar o desenho final 2D da PCB na Figura 14. A Figura 15 demonstra o resultado final do *design* em 3D e por último na Figura 16 pode ser observado o resultado final do módulo do *Datalogger* após o processo de soldadura dos componentes na placa.

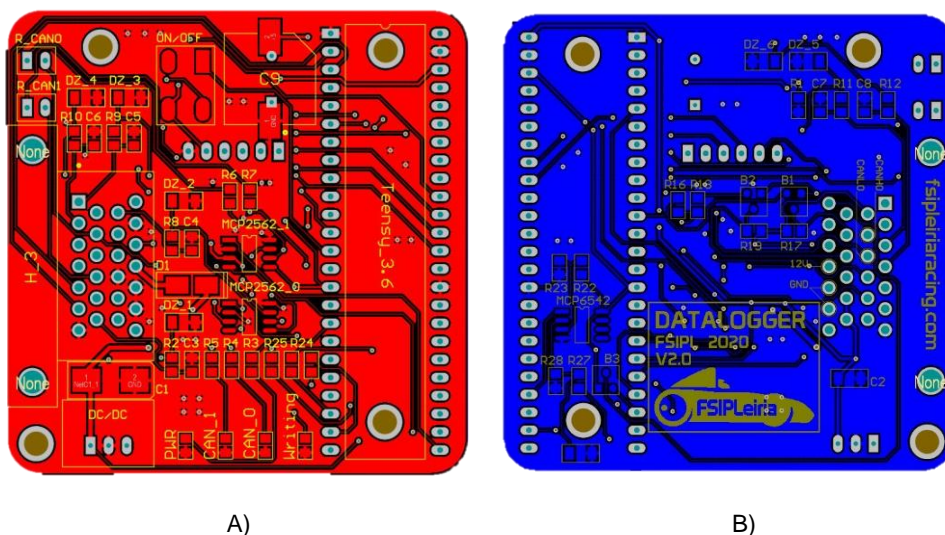


Figura 14 - Design Final da PCB do Datalogger - 2D. A) Top Layer, B) Bottom Layer.

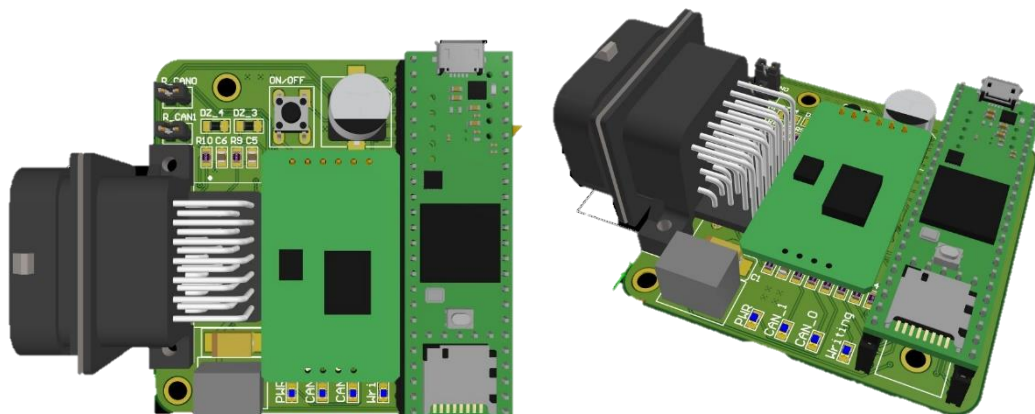


Figura 15 - Design Final da PCB do Datalogger - 3D.



Figura 16 - Resultado Final da PCB do Módulo Datalogger.

3.1.5. Relatório de Custos

A Tabela 2 apresenta o custo do módulo onde se pode observar o nome do componente, a referência individual, a quantidade utilizada, o valor individual e o valor total de cada componente em euros. O valor monetário dos componentes foi retirados do site “mouser.com” de modo a simplificar a estimativa de custo assume-se o valor de 2€ para todos as resistências e um valor de 2€ para todos os condensadores existentes no módulo. O custo de produção da placa de circuito impresso foi de 1.7€ por PCB. O módulo tem uma estimativa de custo de produção de 79.82€.

Tabela 2 - Custo e Quantidade de Componentes do Módulo Datalogger.

Componente	Quantidade	Custo Unitário(€)	Custo total(€)
Teensy 3.6	1	36.44	36.44
RTC	1	9.32	9.32
DC-DC 12V-5V	1	3.64	3.64
Transceiver CAN	2	1.32	2.64
Logic Level	2	0.32	0.64
Ampop Comparador	1	0.71	0.71
LED SMD	3	0.32	0.96
Resistência	-	-	2
Condensadores	-	-	2
Díodo	1	0.45	0.45
Botão Genérico	1	0.18	0.18
Conector 26 Pinos	1	19.15	19.15
PCB	1	1.7	1.7
Total(€):			79.82

3.2. Placas de Desenvolvimento

3.2.1. DevBoard 1.0

O elevado número de módulos eletrónicos desenvolvidos pela equipa levou a uma grande variedade de microcontroladores e circuitos integrados a serem utilizados. Este facto dificultou o processo de diagnóstico aos módulos, por exemplo, diferentes módulos no veículo podiam incorporar microcontroladores de diferentes marca como Microchip® ou STM® o que dificulta a permutabilidade de bibliotecas ou um aumento da curva de aprendizagem na passagem de um sistema para outro.

De forma a uniformizar o *hardware* e *firmware* nos módulos desenvolvidos, foi estudado e projetado um sistema embebido *standard*. Sempre que forem desenvolvidos novos módulos, estes terão o mesmo microcontrolador e periféricos. Esta filosofia irá permitir ter múltiplas vantagens tais como a diminuição da curva de aprendizagem dos membros da equipa para trabalharem nos módulos, gestão de *stock* dos componentes e diminuir o tempo de diagnóstico aos módulos. A nível geral esta metodologia de desenvolvimento e investigação vai simplificar o processo de desenvolvimento de módulos eletrónicos e gerar um maior domínio por parte dos membros sobre o *hardware* desenvolvido.

De modo a ir ao encontro da diminuição da curva de aprendizagem foi decidido utilizar a plataforma de programação Arduino IDE®, uma vez que é uma plataforma de programação bastante acessível e existe uma vasta informação disponível.

Foi decidido utilizar um microcontrolador com o periférico de comunicação *CAN* já incorporado no mesmo, apresentando a vantagem de não ser necessário utilizar um controlador *CAN*, para ler e escrever no barramento de comunicação, e posteriormente enviar a informação por um protocolo de comunicação para o microcontrolador. Esta vantagem terá como resultado a utilização de menos componentes nas placas, tornando possível diminuir o tamanho das mesmas e simultaneamente diminuir o custo de produção dos módulos futuramente desenvolvidos. O microcontrolador escolhido foi o AT90CAN128, da marca Atmega®, este microcontrolador de 8bits possui as seguintes especificações. (Microchip, AT90CAN128 Datasheet, 2022):

- 16MHz;
- 128kB de Flash;
- 4kB de SRAM;
- 2 barramentos de comunicação Série;

- 16 pinos digitais;
- 8 pinos analógicos;
- Controlador CAN.

Foi definido criar uma placa de desenvolvimento com objetivo de ter uma base onde se encontrem os componentes definidos como *standard*. Esta base comum permitirá aos membros da equipa ter um primeiro contacto com o *hardware* em bancada onde poderão desenvolver e testar código com o objetivo de validar os módulos que estão a ser projetados sem existir a necessidade de desenvolver logo o módulo final. A placa permite reduzir drasticamente o número de iterações feitas para um módulo uma vez que numa fase prematura do projeto é possível identificar em bancada erros na construção do módulo pretendido.

O nome dado à placa de desenvolvimento foi “Devboard 1.0”, com as seguintes especificações:

- Foi implementada uma porta micro USB e um controlador USB com o intuito de facilitar a programação do microcontrolador e o interface entre o utilizador e o computador;
- Um *transceiver* CAN para permitir a leitura e transmissão de mensagens no barramento de comunicação CAN. Esta é uma das características mais importantes da placa uma vez que o veículo segue uma arquitetura de construção descentralizada onde os módulos estão distribuídos ao longo do mesmo e comunicam entre eles via o barramento de comunicação CAN;
- Outra funcionalidade incorporada foi a capacidade de ligar e desligar a resistência de fim de barramento da comunicação CAN;
- LEDs programáveis para auxiliar o utilizador nos testes em bancada.

Neste subcapítulo, não será revisto em detalhe a arquitetura de *hardware* da placa uma vez que os módulos eletrónicos a seguir apresentados nesta tese serão explicados em detalhe cuja arquitetura de *hardware* é igual à da placa de desenvolvimento.

No projeto da placa de circuito impresso foi escolhido desenhar a placa inspirada num Arduino Uno[®] dado que é uma das placas de desenvolvimento mais utilizada no mundo e com maior familiarização no seio da equipa. Este design vai de encontro ao objetivo de facilitar o desenvolvimento em bancada dos módulos, igualmente com esse fim em mente decidiu-se adicionar pinos machos e fêmeas para portas de sinal do microcontrolador e um bloco de dois terminais para ligação rápida dos fios de comunicação CAN. A placa de desenvolvimento da Sparkfun[®] AST-CAN485 foi usada como base referência no desenvolvimento da “Devboard 1.0”.

Na Figura 17 é possível observar a vista 2D do design final da PCB, na Figura 18 - Design Final da "Devboard 1.0" - 3D pode ser constatado o design final da PCB com a vista 3D e por último a Figura 19 demonstra o design final da placa de desenvolvimento após serem soldados e montados os componentes na placa "Devboard 1.0".

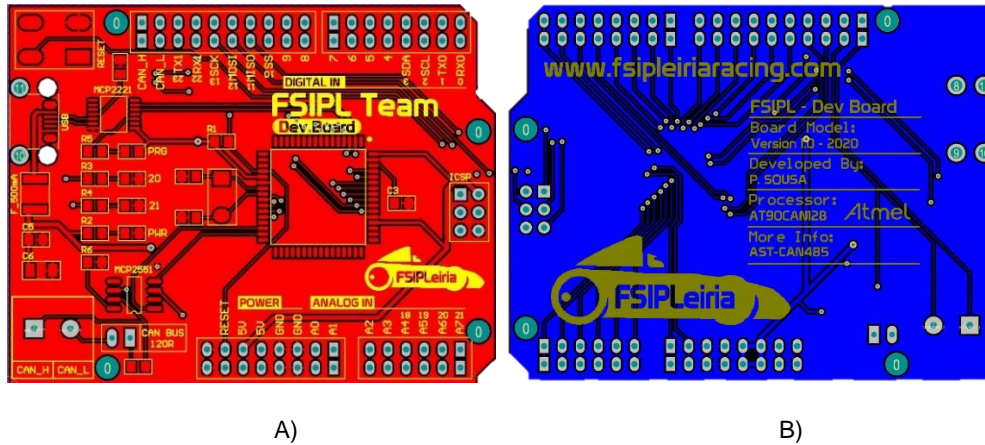


Figura 17 - Design Final da "Devboard 1.0" - 2D. A) Top Layer, B) Bottom Layer.

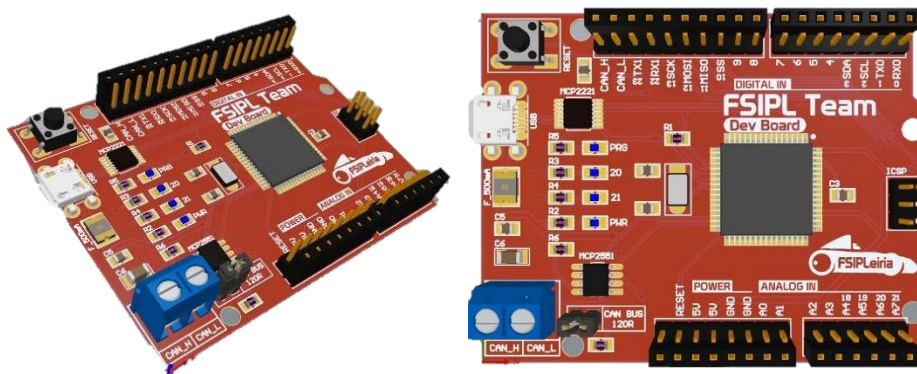


Figura 18 - Design Final da "Devboard 1.0" - 3D.

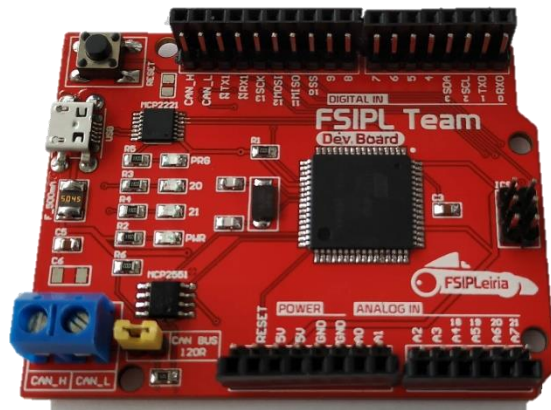


Figura 19 - Resultado Final da Placa "Devboard 1.0".

Visto que a placa desenvolvimento vai ser usada pelos membros surgiu a necessidade de fazer um breve diagrama onde se encontram as funcionalidades e especificações da "Devboard 1.0" neste diagrama observa-se a numeração lógica das portas da placa, a localização do botão de *reset*, o interruptor para ligar e desligar a resistência de fim de barramento da comunicação entre outras informações relevantes.

O diagrama criado com as funcionalidades e especificações pode ser observado na Figura 20.

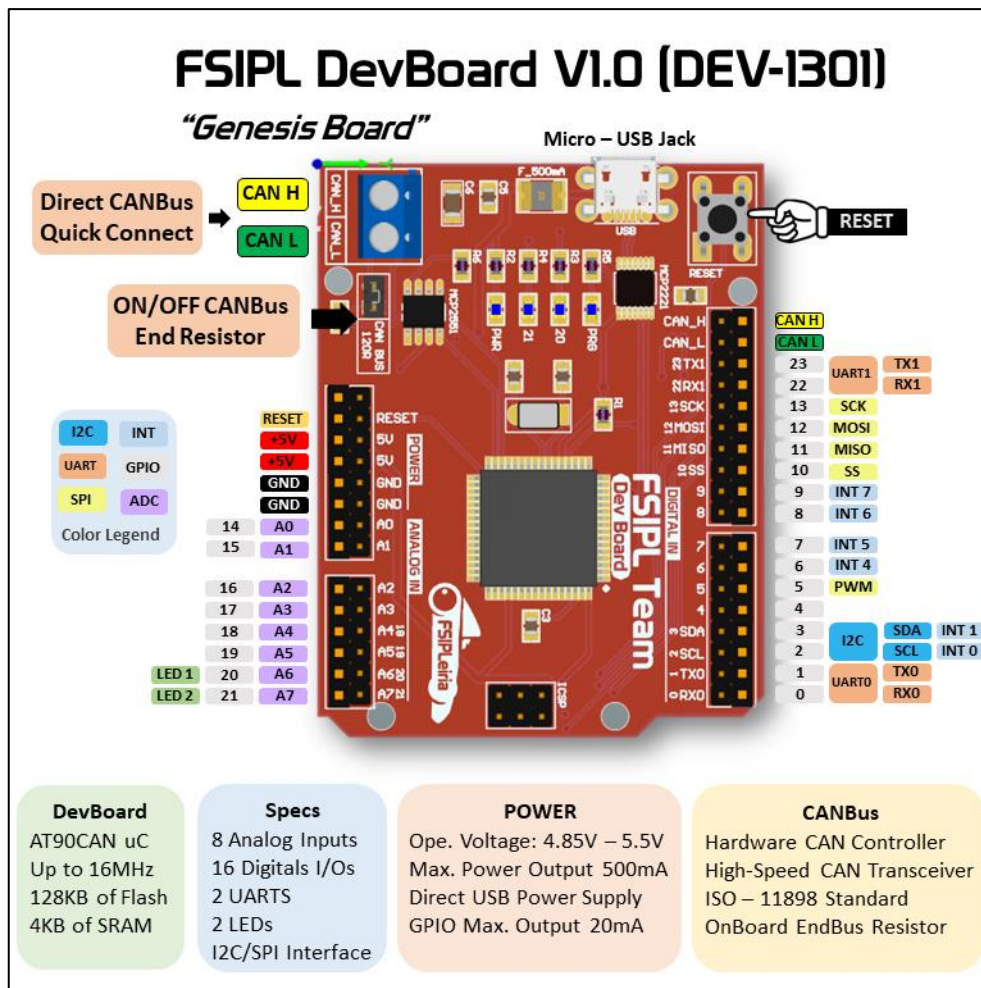


Figura 20 - Diagrama de Especificações e Funcionalidades "Devboard 1.0".

3.2.2. DevBoard 2.0

Com adoção da "Devboard 1.0" em múltiplos projetos, esta começou a apresentar algumas limitações, exemplificando falta de bibliotecas compatíveis com o microcontrolador, memória reduzida, entre outros. Estas insuficiências mencionadas levaram a limitações no desenvolvimento de módulos ou à diminuição de desempenho dos mesmo no veículo. Dado que placa de desenvolvimento criada apresenta limitações, começou gerar uma incerteza como seriam desenvolvidos os próximos módulos eletrônicos para o veículo, nomeadamente qual seria o *hardware* presente nos futuros módulos.

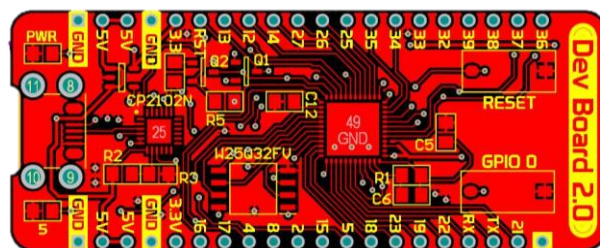
Face às circunstâncias foi decidido conceber uma nova placa de desenvolvimento, onde estaria presente o *hardware* base para o desenvolvimento dos próximos módulos.

Dado os bons resultados obtidos com a “Devboard 1.0”, nomeadamente a fácil integração da placa com os membros que estão a desenvolver módulos devido à reduzida curva de aprendizagem foi mantida a mesma filosofia de construção para a nova placa desenvolvimento batizada como “Devboard 2.0”.

Para a “Devboard 2.0” foi optado por utilizar novamente a plataforma de programação Arduino IDE® e para o microcontrolador foi decido usar um processador de 32bit comparativamente ao microcontrolador usado anteriormente o AT90CAN128 apenas de 8bit. Por norma a velocidade de relógio de um microcontrolador de 32bits é superior, tornando-o assim mais eficientes ao nível de tempo de execução das tarefas. Um microcontrolador de 32bits tem geralmente oito vezes mais memória que um de 8bits. Analisando os microcontroladores de 32bits mais utilizados e compatíveis com a plataforma de programação da Arduino® a opção de microcontrolador foi o ESP32-PICO-D4 com as seguintes especificações (Espressif, 2022):

- Dual Core;
- Velocidade de relógio até 240Mhz;
- 4MB de Flash;
- 520kB de SRAM;
- 3 barramentos de comunicação Série;
- 3 barramentos de comunicação SPI;
- 2 barramentos de comunicação I2C;
- 2 DACs;
- 28 pinos digitais ou/e analógicos;
- Controlador CAN.

Para o projeto da PCB foi decido fazer um design inspirado no ESP32 da Sparkfun®, DEV-13907, com o objetivo de ajudar os membros da equipa na familiarização com a placa. Na Figura 21 é possível observar a vista 2D da placa de desenvolvimento “Devboard 2.0” e a Figura 22 a respetiva vista 3D. A Figura 23 demonstra o resultado obtido após o processo de soldadura dos componentes na placa.



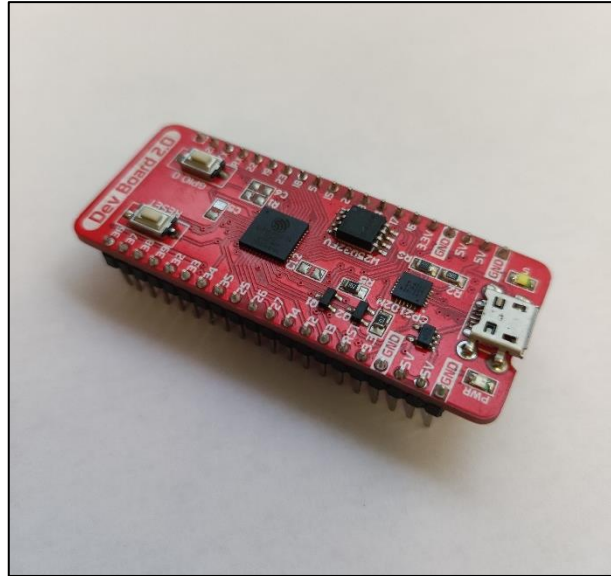
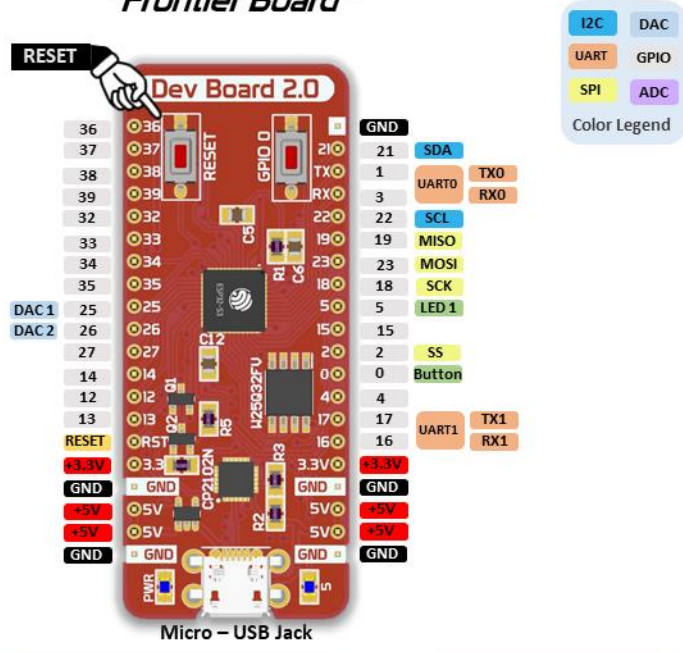


Figura 23 - Resultado Final da Placa "Devboard 2.0".

Tal como foi efetuado para "Devboard 1.0" foi desenvolvido um diagrama com as especificações e funcionalidades da placa de desenvolvimento "Devboard 2.0". A Figura 24 demonstra no novo diagrama desenvolvido.

FSIPL DevBoard V2.0 (DEV-3302)

"Frontier Board"



DevBoard
 ESP32-PICO
 Up to 240MHz
 4MB of Flash
 520KB of SRAM

Specs

18 Analog Inputs	2 I2S Interface
28 Digital I/Os	2 DACs
3 UARTS	1 LED
3 SPI Interface	CAN Bus
2 I2C Interface	Controller

POWER

Ope. Voltage: 3.00V – 3.6V
 Max. Power Output 500mA
 Direct USB Power Supply

Figura 24 - Diagrama de Especificações e Funcionalidades "Devboard 2.0".

3.3. Módulo Sensor de Posição da Caixa de Velocidades

3.3.1. Objetivo do Módulo

A caixa de velocidades está integrada no bloco do motor de combustão interna, foi desenvolvido um módulo para controlar a caixa de velocidades. Esse módulo tem a capacidade de controlar a caixa de velocidades, este é controlado pela unidade de gestão do motor de combustão interna. De modo ao módulo de atuação da caixa de velocidades funcionar é necessário o *feedback* do valor da mudança engrenada. Assim, surgiu a necessidade do valor de posição da caixa de velocidades estar presente no barramento de comunicação do veículo.

Uma vez que foi selecionado usar a caixa de velocidades original do motor, o sensor de posição da caixa utilizado é o sensor original. O sensor de posição da caixa de velocidades não apresenta o princípio de funcionamento tradicional, como descrito na pesquisa bibliográfica. Este possui uma saída de sinal digital para cada valor de mudança, o sensor tem a capacidade de detetar as 6 posições de mudança e o neutro do veículo. Consequentemente o sensor de posição da caixa de velocidades possui 7 fios um fio exclusivo para cada posição da caixa. Para determinar a posição da mudança engrenada na caixa de velocidades o sensor apresenta o seguinte funcionamento: vai definir o sinal de saída com o valor de massa e os restantes sinais ficam em estado indefinido. O canal de sinal que tem a saída lógica de massa identifica a posição caixa de velocidades e os outros sinais terão um estado lógico indefinível. A Figura 25 demonstra uma imagem do sensor de posição da caixa de velocidades da Yamaha MT07.



Figura 25 - Sensor de Posição da Caixa de Velocidades (DAMSport, 2022).

Para a unidade de comando do motor ter a capacidade de adquirir o valor da posição da caixa de velocidades é necessário que a unidade leia o estado lógico de cada um dos 7 fios de sinal. Contudo, a unidade de comando do motor selecionada para o veículo tem como especificação 3 entradas de sinal digital e 6 entradas de sinal analógico, faz um total de 9 entradas de sinal. Se for conectado o sensor da caixa com 7 sinais de saída. A unidade terá 7 entradas de sinal ocupadas, das 9 entradas de sinal disponíveis no total. Deste modo vai limitar significativamente a conexão de sensores extras na unidade. Isto apresenta uma desvantagem porque as portas digitais e analógicas ocupadas pelo sensor, podiam ter sido usadas para ler múltiplos sensores, em vez de um único sensor.

Este módulo foi desenvolvido com o objetivo de resolver este *bottleneck* e libertar as portas de leitura de sinal da unidade. O módulo tem assim como requisito ler o estado lógico dos 7 fios de sinal elétrico provenientes do sensor de posição de mudança, interpretar os seus estados lógicos, determinar o valor atual da mudança e enviar informação para o barramento de comunicação CAN do veículo.

Outros requisitos para a conceção do módulo de conversão do valor de posição de caixa de velocidades, foram:

- Ter a capacidade de ler todos os sinais provenientes do sensor de posição, processar a informação e determinar o valor de mudança engrenada para posteriormente enviar os dados adquiridos e processados para o barramento de comunicação CAN do veículo;

- Apresentar um tempo de atualização do valor de mudança engrenada inferior a 10ms. Desde que engrenou uma nova mudança até ao valor ser atualizado no barramento comunicação do veículo;
- A placa de circuito impresso ter a menor dimensão possível ou caso seja possível integrar diretamente a placa na cablagem elétrica do veículo.

3.3.2. Arquitetura do *Hardware*

3.3.2.1. Diagrama de Blocos

O desenvolvimento do *hardware* foi dividido em múltiplas subestruturas que podem ser observadas no diagrama de blocos do circuito na Figura 26.

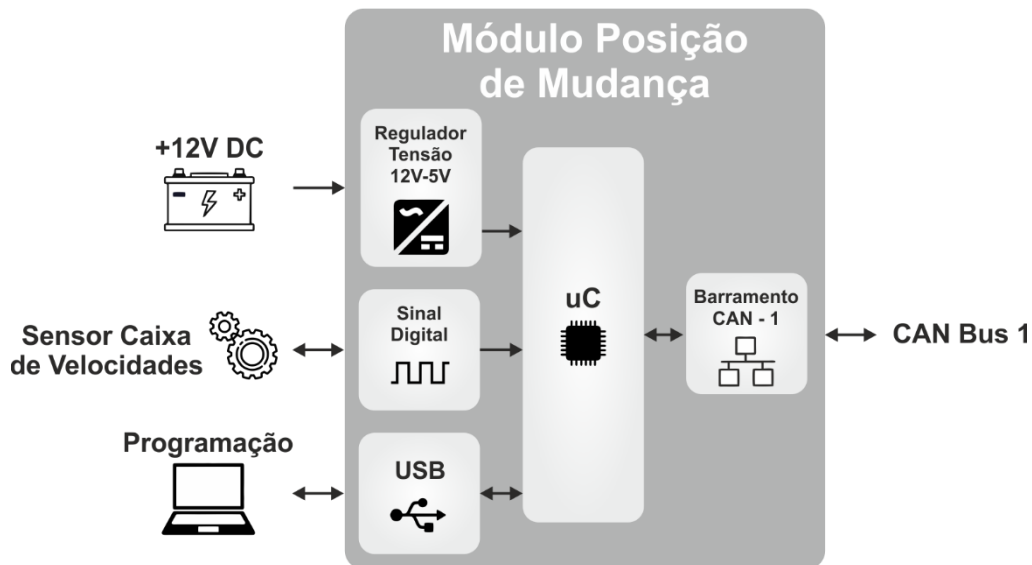


Figura 26 - Diagrama de Blocos do Circuito do Módulo do Sensor da Caixa de Velocidades.

O diagrama encontra-se dividido em 5 blocos distintos interligados entre si e explicados mais detalhadamente de seguida:

- O bloco relativo ao “Regulador de Tensão” é dedicado alimentação do módulo. Este é responsável por converter os 12V nominais de alimentação provenientes da bateria de baixa tensão do veículo e transformá-los em 5V para alimentação do módulo;
- O bloco “Sinal Digital” é responsável por fazer o condicionamento sinal proveniente do sensor de posição da caixa de velocidades. A placa foi

desenhada para possuir 7 entradas de sinal cada uma tem uma resistência de 10KΩ com objetivo de fazer efeito *pull-up* no sinal do sensor de modo a facilitar a leitura ao processador. A sua utilização é explicada pelo facto de existirem 6 saídas do sensor de posição com *output* de sinal indefinido. Quando este evento ocorrer o processador vai ler estado lógico de “1” e caso seja engrenada uma nova mudança o sensor de posição vai enviar um sinal de massa e o processador vai ler um estado logico de “0”;

- O bloco “μC” relativo ao processamento de sinal é onde está inserido o microcontrolador. Neste caso em específico o microcontrolador tem de ler o estado lógico de múltiplas portas e determinar, em função da leitura efetuada, o valor de mudança engrenada na caixa de velocidades e enviar a informação para o barramento de comunicação CAN do veículo. Assim, optou-se por seleccionar um microcontrolador de 8bits dada a ausência da necessidade de existir uma elevada capacidade de processamento, e simultaneamente ter um custo reduzido em comparação a outros processadores de 32bits normalmente utilizados noutros módulos. Adicionalmente, foi tido em consideração a seleção de um processador com o periférico de comunicação CAN já incorporado no processador;
- No bloco “USB” encontram-se presentes os circuitos integrados e os componentes passivos responsáveis pela comunicação USB na placa. Foi adicionada funcionalidade de comunicação USB para facilitar o interface entre placa e computador e facilitar a programação da mesma;
- No bloco “CAN Bus 1” está inserido o *transceiver* de comunicação CAN e os componentes passivos necessários para o correto funcionamento da comunicação. Decidiu-se não colocar resistência de fim de barramento de comunicação CAN na placa.

3.3.2.2. Componentes Seleccionados

Este subcapítulo tem como objetivo identificar e explicar em maior detalhe os componentes utilizados no desenvolvimento e construção do módulo do sensor de posição da caixa de velocidades. Na Tabela 3 encontram-se identificados os principais componentes utilizados no módulo.

Tabela 3 - Lista de Componentes Utilizados no Módulo sensor de posição da caixa de velocidades.

Descrição	Qtd.	Referência	Observação
Microcontrolador	1	AT90CAN128	Aquisição e processamento de informação
Regulador Tensão Linear	1	MIC5209	Regulador de tensão 12V-5V
Transceiver CAN	1	MCP2562	Interface entre o microcontrolador e o barramento de CAN
Controlador USB	1	MCP2221A	Conversor USB-to-Série

Microcontrolador

De modo a ir de encontro à nova filosofia de desenvolvimento de placas foi utilizado o uso dos microcontroladores na equipa foi selecionado o microcontrolador AT90CAN128 da marca Microchip® com uma velocidade de processamento de 16MHz, As suas especificações podem ser observadas em maior detalhe no subcapítulo 3.2.1.

Regulador de Tensão Linear

O regulador de tensão selecionado foi o MIC5209 da marca Microchip®. Este conversor de tensão tem como objetivo converter o valor de tensão elétrica proveniente da bateria do veículo 12V para o valor lógico de 5V, valor de tensão nominal do módulo. Foi decidido usar o MIC5209 devido a duas características: primeiro devido ao tamanho reduzido do componente em comparação a um DCDC comutado genérico e em segundo lugar um menor custo de aquisição comparativamente com um regulador comutado. Entre algumas das características relevantes do regulador destacam-se a capacidade de fornecer proteção contra correntes inversas, proteção contra sobre temperatura, baixo ruído na conversão e gama de tensão de entrada compreendida entre 8V e 20V (Microchip, MIC 5209, 2022).

Transceiver CAN

O MCP2562 da marca Microchip® foi o *transceiver* utilizado na placa, mais detalhes sobre o MCP2562 podem ser lidos no subcapítulo 3.1.2.1.

Conversor de Comunicação USB para Série

O MCP2221A foi o componente integrado elegido para ser usado como interface entre a comunicação Série proveniente do microcontrolador e a comunicação USB proveniente de um computador. Este componente simplifica o processo de carregamento de código para o módulo e o diagnóstico do mesmo. O conversor de comunicação USB cumpre os requisitos de funcionamento da indústria automóvel (Microchip, MCP2221A Datasheet, 2022).

3.3.3. Arquitetura do *Firmware*

O fluxograma do *firmware* desenvolvido para o módulo do sensor de posição da caixa de velocidades pode ser observado na Figura 27.

O *firmware* inicia com configuração e inicialização dos periféricos necessário para o correto funcionamento do módulo nomeadamente o barramento de comunicação *CAN*. Em seguida, é inicializada a função `loop()` onde se encontra o código base do módulo que irá estar a correr sucessivamente, a primeira tarefa é a leitura do estado lógico das portas do microcontrolador conectadas ao sensor de posição da caixa e determinar o valor da mudança atual. Se existir alteração do valor da marcha engrenada, será escrito o novo valor no barramento de comunicação *CAN*, caso contrário, segue para a próxima operação lógica onde determina se o timer excedeu o intervalo de tempo ou não. Esta tarefa tem como intuito perceber se é necessário escrever o valor atual da marcha engrenada no barramento de comunicação. O código foi concebido com um temporizador que irá escrever o valor da posição da caixa no barramento *CAN* a cada 10ms. Após isso, será determinado se há algum erro na leitura do valor da engrenagem. Caso exista, será escrito no barramento de comunicação *CAN* uma mensagem que indica que ocorreu um erro no leitura do valor da mudança engrenada. Esta função foi incorporada no *firmware* com o objetivo de verificar se existe algum erro na leitura do valor. Como Exemplo, se existir dois ou mais sinais asseridos à massa do veículo provenientes do sensor ou se não existir nenhum sinal de massa do veículo, a função vai escrever uma mensagem de estado de erro no barramento de comunicação do veículo. Esta funcionalidade foi concebida com o

nível de segurança máximo em mente uma vez que o módulo e o sensor estão integrados no veículo numa zona de elevada vibração que pode originar fadiga.

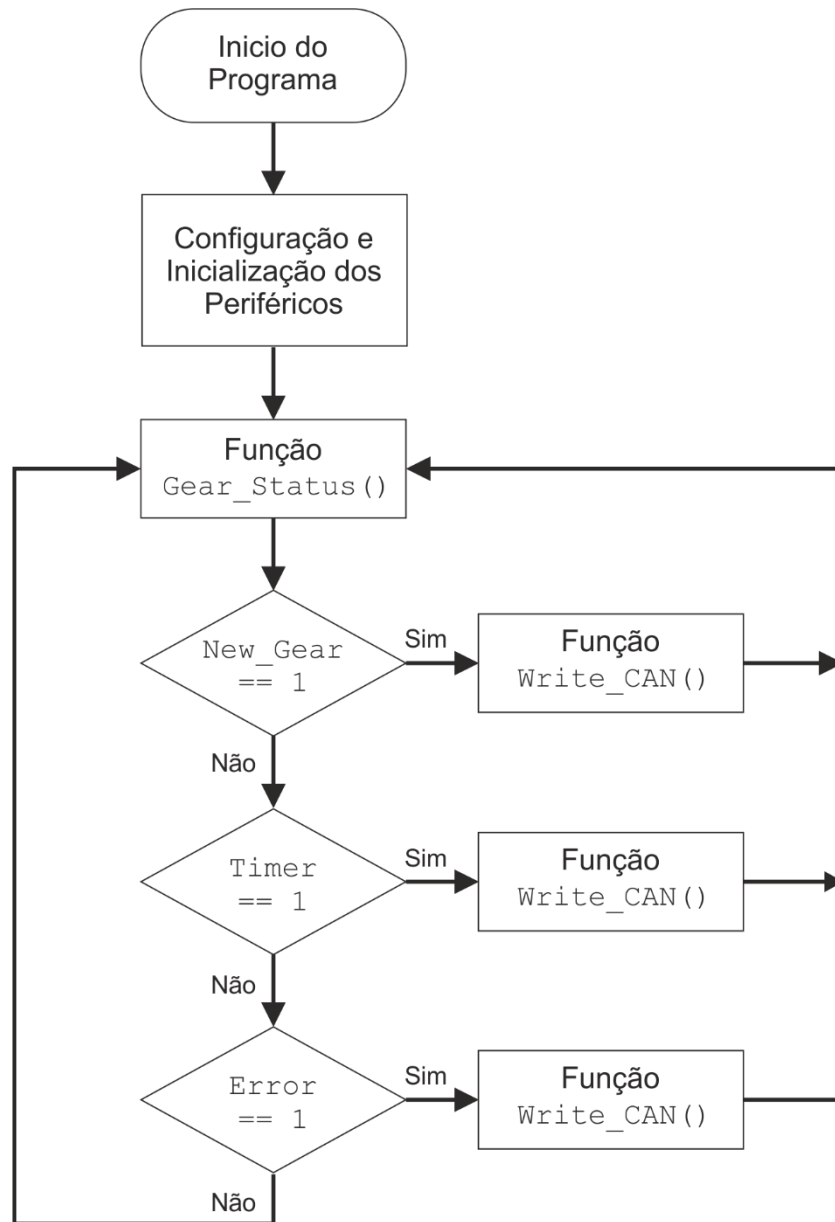


Figura 27 - Fluxograma do Firmware do Módulo Sensor de Posição da Caixa de Velocidades.

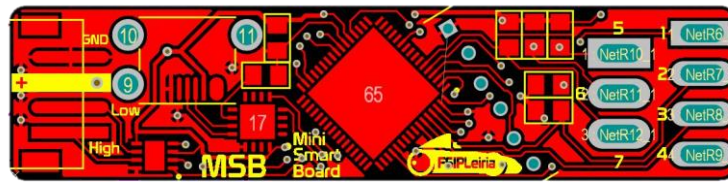
3.3.4. Projeto de PCB

Este módulo em particular foi projetado para ser o mais compacto possível, quando este for montado na cablagem do veículo fique a parecer parte permanente da mesma. Foi decidido fazer integração do módulo desta forma devido ao facto de se pretender ter o módulo o mais próximo do sensor de posição da caixa de velocidade. Dado as dimensões reduzidas do módulo era mais vantajoso em termos de volume fazer a integração do mesmo na cablagem do veículo. Vai ser utilizado como proteção da placa uma manga termo retrátil.

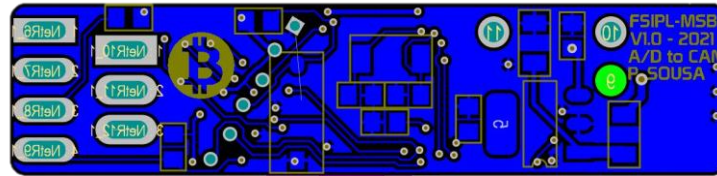
Com este propósito em, foi projetado uma placa de circuito impresso com baixo valor de largura e um valor elevado valor de comprimento. Que permitisse posteriormente a inserção de uma manga termo retrátil para proteção. Os fios elétricos que vão conectar diretamente na placa foram organizados pela seguinte ordem. Os fios provenientes do sensor de posição da caixa velocidades foram conectados numa extremidade da placa, e os fios do barramento de comunicação e alimentação da placa foram conectados na extremidade oposta da placa. Permitindo assim uma fácil integração do módulo na cablagem elétrica do veículo.

Foi selecionado o encapsulamento QFN (*Quad Flat No Leads*) para o microcontrolador. Esta geometria de componente apresenta diferenças comparativamente aos encapsulamentos normais. Os terminais do componente não expandidos para as extremidades, mas sim, são integrados na parte inferior do componente, permitindo reduzir significativamente a área ocupada na PCB pelo componente.

A PCB foi produzida com as seguintes especificações 0.2mm de largura de pista para as pistas de sinal. Uma largura relativamente superior para as pistas de potência nomeadamente de 0.8mm as pistas responsáveis pela alimentação dos componentes integrados. Espessura da placa de 1.6mm e 1oz de espessura de cobre, a dimensão final obtida foi de 56.4 x 12.9mm que vai representar uma área de 4218.08mm². Pode-se observar o resultado obtido do módulo referente a vista 2D da PCB na Figura 28, a vista 3D pode ser constatada na Figura 29. A Figura 30 representa o resultado final do módulo posteriormente ao componentes e fios terem sido soldados na PCB.



A)



B)

Figura 28 - Design Final da PCB do Módulo Sensor da Posição da Caixa de Velocidades - 2D. A) Top Layer, B) Bottom Layer.

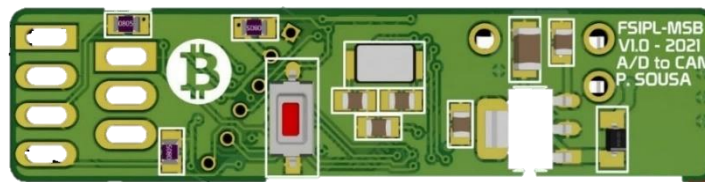


Figura 29 - Design Final do Módulo Sensor da Posição da Caixa de Velocidades - 3D

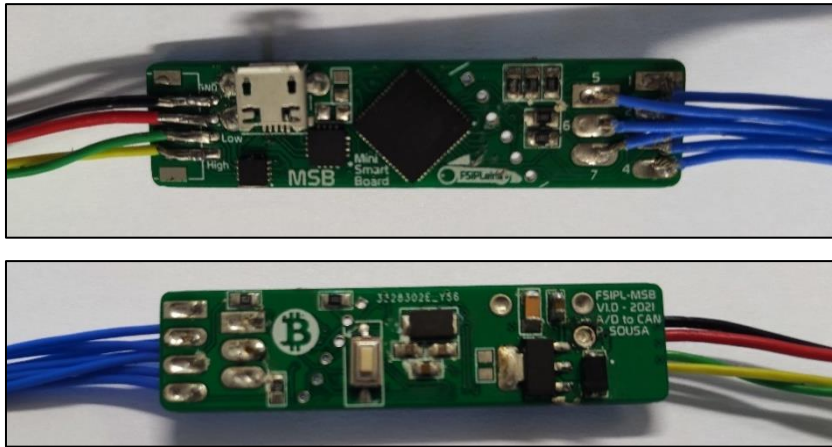


Figura 30 - Resultado Final do Módulo Sensor da Posição da Caixa de Velocidades.

3.3.5. Relatório de Custos

Na Tabela 4 pode ser constatado o nome do componente, a referência, a quantidade utilizada, o valor monetário individual e o valor monetário total de cada componente em euros. Foi utilizado o site “mouser.com” como ponto de referência para o custo dos componentes, com intuito de simplificar a estimativa de custo assume-se o valor de 1€ para as resistências presente na placa e igualmente o valor 1€ para todos os condensadores existentes no módulo. O módulo tem um custo estimado de produção de 21.15€.

Tabela 4 - Custo e Quantidade de Componentes do Módulo Sensor de Posição da Caixa

Componente	Quantidade	Custo Unitário(€)	Custo total(€)
Microcontrolador	1	9.58	9.58
Regulador Tensão Linear	1	1.62	1.62
Transceiver CAN	1	1.45	1.45
Cristal	1	0.66	0.66
Controlador USB	1	2.81	2.81
Porta USB	1	0.7	0.7
Resistência	-	-	1
Condensadores	-	-	1

Díodo	1	0.45	0.45
Botão Genérico	1	0.18	0.18
PCB	1	1.7	1.7
Total(€):			21.15

3.4. Módulo Telemetria

3.4.1. Objetivo do Módulo

Quando são efetuado testes em pista com o veículo *Formula Student* foi identificado que não existe qualquer *feedback* com informação do veículo, ou seja, enquanto o veículo estiver em pista não é possível obter informação sobre as grandezas medidas. Por exemplo se o veículo for para a pista efetuar testes e o motor de combustão interna subir de temperatura a ventoinha térmica presente nos radiadores vai ligar. Com o fim de, manter a temperatura do motor numa janela estável e segura de operação durante todo o período de operação do veículo. Caso a ventoinha não ligar, o motor do veículo vai sobreaquecer. O piloto com tudo que está acontecer ao seu redor não vai ter capacidade de monitorizar as grandezas medidas no veículo e não vai conseguir perceber que o motor está a sobreaquecer. Quando ele ou os membros da equipa presentes em pista notarem que o motor sobreaqueceu já pode ter acontecido danos ao mesmo.

Verificou-se a necessidade desenvolver um módulo com a capacidade de enviar a informação relevante sobre o veículo para os membros de equipa presentes na *box*, com o fim destes analisarem a informação e identificarem anomalias durante o funcionamento do veículo. Identificou-se a necessidade de conceber um sistema de telemetria para o formula.

Uma vez que o veículo tem a generalidade da informação adquirida, dos sensores e atuadores, no barramento de comunicação *CAN* do veículo foi decidido construir um módulo transmissor em que um microcontrolador adquiere-se os dados presentes no barramento e envia a informação por comunicação sem fios para um recetor.

Como tem sido norma nos módulos anteriores foi definido um número de requisitos para o desenvolvimento do módulo de telemetria, sendo os requisitos os seguintes:

- O módulo tem de ser compacto para fácil integração no veículo;

- Ter o alcance necessário para se conseguir funcionar nas provas;
- A análise dos dados recebidos seja efetuada num interface intuitivo para utilizador.

O primeiro requisito efetuado pela equipa foi algo fundamental na construção do veículo fazer o módulo compacto e leve. Como utilizado no módulo sensor de posição da caixa de velocidades recorreu-se novamente a componentes com o pacote *SMD*.

O segundo requisito efetuado pela equipa foi o módulo de envio de dados ter o alcance necessários para os eventos realizados pelo veículo, o formula vai competir na *Formula Student Italy* no circuito *Autodromo Riccardo Paletti - Varano de' Melegari*. Com intuito de obter uma estimativa do alcance necessário para o sistema de telemetria recorreu ao Google Maps® para medir a distância mínima necessária. A metodologia utilizada foi medir desde um ponto médio da pista até uma das suas extremidades. O ponto médio escolhido foi a bancada principal e a extremidade selecionada da pista foi o circuito de pista mais curto. Dado que este é o que vai ser utilizado na competição. Na Figura 31 observa-se a distância obtida entre a bancada principal do circuito e a extremidade da pista, o valor obtido foi de 362m.



Figura 31 - Autodromo Riccardo Paletti Medição de distância (GoogleMaps, 2022).

Para escolha do módulo de envio de dados foi tido em conta as várias opções atualmente no mercado. Mas uma vez que a equipa possui um módulo de comunicação por ondas rádio da marca Digi Xbee®. Antes de se ter iniciado uma pesquisa intensa sobre os outros módulo existentes foi decido perceber se o módulo disponível podia ser usado e cumpria os requisitos necessários (XBee/XBee-PRO, 2022).

O módulo existente é o XB24C este módulo apresenta as seguintes especificações:

- Num espaço fechado ou denso ambiente urbano tem um alcance até 60m;
- Num espaço ao ar livre tem um alcance 1200m em linha de vista;
- Taxa de dados 250000b/s;
- Uma tensão lógica de alimentação de 3.3V e uma corrente máxima de consumo 45mA;
- 2.4Ghz frequência de operação;
- Temperatura máxima de funcionamento de 85°C;
- Dimensão de 21.99 x 34 x 3mm.

Com nas especificações referidas acima este módulo apresenta os requisitos necessários em papel. Face às limitações económicas da equipa foi decidido usar o Xbee® XB24C.

O terceiro requisito efetuado pela equipa é os dados recebidos serem analisados num ambiente gráfico intuitivo e agradável para o utilizador. Posto isto foi decidido utilizar o *software* LabView® é um interface gráfico usado em diversas área desde a engenharia à ciência, o interface permitiu realizar visualização de variáveis e manipulação das mesmas. Dado a simplicidade em fazer ambientes gráficos torna este software a ferramenta ideal para realizar o ambiente gráfico, a descodificação, visualização dos dados recebidos de quando o veículo se encontra em pista. Na Figura 32 é possível observar um exemplo de um interface gráfico desenvolvido no Labview® (NI, 2022).

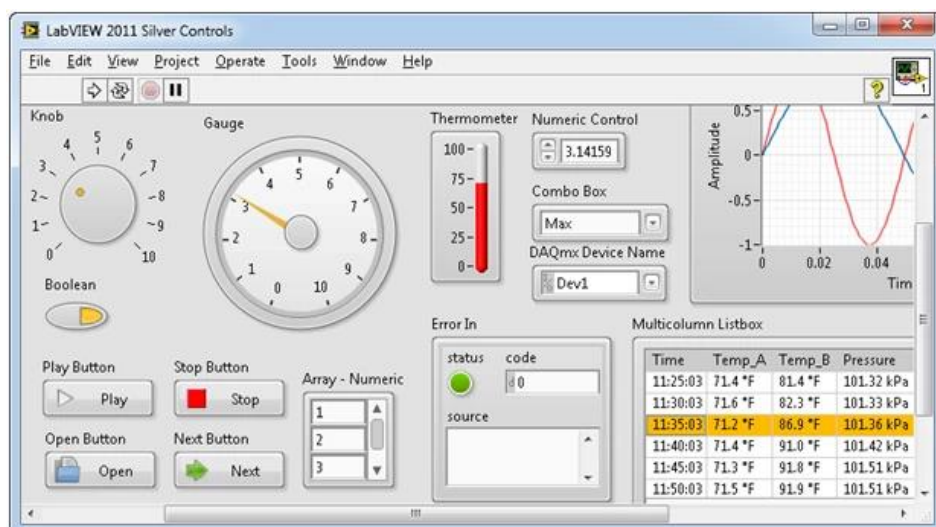


Figura 32 - Exemplo do Interface Gráfico Labview (CAESystems, 2022).

3.4.2. Arquitetura do *Hardware*

Diagrama de Blocos

Neste subcapítulo vai ser abordado e explicado o desenvolvimento do *hardware*, a arquitetura do circuito foi dividida em 5, podem ser observadas no diagrama de blocos da Figura 33.

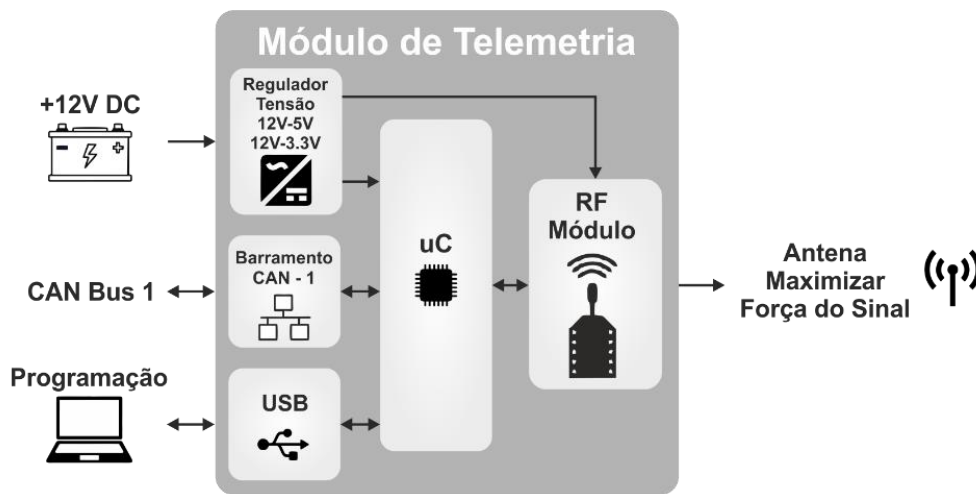


Figura 33 - Diagrama de Blocos do Circuito do Módulo da Telemetria.

Abaixo será identificado e explicado a importância e finalidade de cada área:

- O bloco relativo ao “Regulador de Tensão” é dedicado à alimentação de todos os componentes do módulo. Converte os 12V nominais provenientes da bateria do veículo e transforma no nível de tensão lógica necessária para alimentação dos circuitos integrados presentes no módulo. Neste caso em específico optou-se por utilizar dois reguladores de tensão uma vez que existe a necessidade de duas tensões lógicas. Uma de 3.3V e outra 5V. O barramento de 5V é responsável por alimentar os componentes normais da placa como o microcontrolador, *transceiver* CAN, controlador USB, entre outros. Enquanto o barramento 3.3V foi adicionado exclusivamente para alimentar o módulo de envio de dados nomeadamente Xbee® dado que este não consegue funcionar com uma tensão lógica de 5V;

- O bloco “ μ C” é responsável pelo microcontrolador e todos os periféricos necessário para o seu correto funcionamento. Neste caso o microcontrolador é responsável por ler as mensagem presentes no barramento de comunicação do veículo, fazer uma seleção das mensagens importantes para enviar. Enviar os dados com a correta codificação por comunicação série para o Xbee[®];
- Como tem sido norma no bloco “USB” foi adicionado com objetivo de melhorar o interface entre o módulo e computador, outra vantagem adquirida com a integração do controlador USB é a simplicidade na programação do módulo uma vez que é apenas necessário ligar um cabo micro USB. Neste bloco encontra-se integrado o controlador USB e todos os componentes passivos necessários para o seu correto funcionamento;
- No bloco “CAN Bus 1” está integrado o *transceiver* de comunicação CAN e os componentes passivos necessários para a sua correta operação;
- O bloco “RF Módulo” é onde se encontra o módulo transmissor de ondas Este transmissor pertence à família da marca Xbee[®], é relativamente simples de integrar uma vez que necessita apenas para o seu correto funcionamento alimentação e um barramento de comunicação com o protocolo série. Juntamente foi adicionado neste bloco dois *LEDs* de estado da placa com objetivo do utilizador compreender melhor se a placa encontra-se a funcionar corretamente ou não. O primeiro *LED* ficou conectado à linha de transmissão de dados enviados pelo microcontrolador, assim o utilizador consegue perceber se o microcontrolador está ou não a enviar dados corretamente para o transmissor de ondas rádio. O segundo *LED* foi ligado a um pino dedicado do módulo transmissor que apresenta como sinal de saída um *PWM* com intuito de diminuir ou aumentar a intensidade de um *LED* em função da intensidade de sinal entre o transmissor e recetor.

Componentes Seleccionados

Na Tabela 5 estão identificados os principais componentes utilizados no módulo da Telemetria.

Tabela 5 - Lista de Componentes Utilizados no Módulo da Telemetria.

Descrição	Qtd.	Referencia	Observação
Microcontrolador	1	AT90CAN128	Aquisição e processamento de informação
Regulador DCDC Comutado	1	R-78E3.3-0.5	Regulador de tensão 12V-3.3V
Regulador DCDC Comutado	1	R-785.0-1.0	Regulador de tensão 12V-5V
Transceiver CAN	1	MCP2562	Interface entre o microcontrolador e o barramento de CAN
Controlador USB	1	MCP2221A	Conversor USB-to-Série
Módulo RF	1	XB24C	Transmissor de dados integrado no veículo

Microcontrolador

Dado o novo método de desenvolvimento e investigação de módulos eletrónicos adotado pela equipa recorreu-se novamente ao microcontrolador *standard* o AT90CAN128, podem ser observado em maior detalhe as especificações do microcontrolador no subcapítulo 3.1.2.1.

Reguladores de Tensão Comutados

Para esta placa foi utilizado 2 reguladores de tensão comutados do fabricante RECOM®. Foi seleccionado reguladores comutados devido ao facto de o regulador apresentar uma excelente eficiência superior a 90% como resultado não vai dissipar energia em forma de calor. Dessa forma a placa vai ser dispensada da instalação de um dissipador de calor, outra vantagem deste regulador é a capacidade de proteção contra

curto circuitos e autoproteção em caso de excesso de temperatura. Como foi mencionado anteriormente o regulador possui uma ampla gama de valores de tensão de entrada para o seu funcionamento, estes valores estão compreendidos dentro da gama de operação da bateria de 12V do veículo. Vai permitir o regulador ter uma saída de tensão estável, independente dos picos de tensão provenientes do sistema de baixa tensão do veículo (Power, 2022).

O regulador responsável por fornecer a tensão lógica para a placa de 5V tem a referência de R-785.0-1.0 e o regulador responsável por fornecer os 3.3V lógicos apresenta a referência R-78E3.3-0.5.

Transceiver CAN

O MCP2562 da marca Microchip® foi o *transceiver* selecionado para ser utilizado no módulo da telemetria, apresenta a mesma metodologia de funcionamento que o *transceiver CAN* do módulo sensor de posição da caixa de velocidades, os detalhes do MCP2562 podem ser lidos no subcapítulo 3.1.2.1.

Controlador USB

O MCP2221A da marca Microchip®, foi novamente utilizado uma vez que pertence ao grupo de circuito integrados *standard* para serem utilizados na construção dos módulos eletrônicos, informação sobre a sua integração e metodologia de funcionamento podem ser lidas no subcapítulo 3.3.2.2.

Módulo RF

A marca XBee® foi a selecionada para ser usada como módulo transmissor de dados presente no veículo, mais objetivamente foi utilizado o modelo XB24C. As especificações deste módulo podem ser observadas com maior detalhe no subcapítulo 3.4.1.

3.4.3. Arquitetura do *Firmware*

O fluxograma do *firmware* concebido presente no módulo da telemetria pode ser observado na Figura 34. Como tem sido princípio no desenvolvido do *firmware* para os módulos eletrônicos foi utilizada a mesma metodologia, descrita nos capítulos anteriores referentes à arquitetura de *firmware*.

A inicialização e configuração dos periféricos representa o início do *firmware*. No caso da placa da telemetria o objetivo é adquirir a informação presente no barramento de comunicação CAN. De seguida enviar os dados processados por comunicação série para o transmissor. Assim, os periféricos principais a serem inicializados são comunicação série e o CAN. A função `loop()` desenvolvida para ser o mais simples possível, de modo a não existir erros no código que pudessem originar uma interrupção da transmissão de dados. A primeira função a ser executada dentro do `loop()` é a função `Read_CAN()` responsável pela leitura dos dados presentes no barramento CAN e realizar a descodificação dos mesmo. Consiste numa série de descolamentos e aplicação de *offsets* às múltiplas variáveis adquiridas. A segunda função a ser executada é a `Struct_DATA()` responsável por guardar as variáveis adquiridas num vetor de dados pela ordem correta, a fim de enviar os dados para o transmissor a uma taxa de transmissão constante. Para não encher os buffers do módulo transmissor. Visto que os dados são guardados com uma elevada taxa de aquisição pelo *Datalogger*, a informação enviada pelo módulo não necessita de uma taxa de atualização elevada. Os dados são enviados a uma taxa de atualização de 10Hz. A operação lógica será verdadeira após cada 100ms da informação ter sido escrita no barramento série. De modo simplificar a descodificação dos dados na receção, a função é igualmente responsável por enviar os dados numa codificação fixa onde os *bytes* de dados seguem sempre a mesma estrutura de envio.

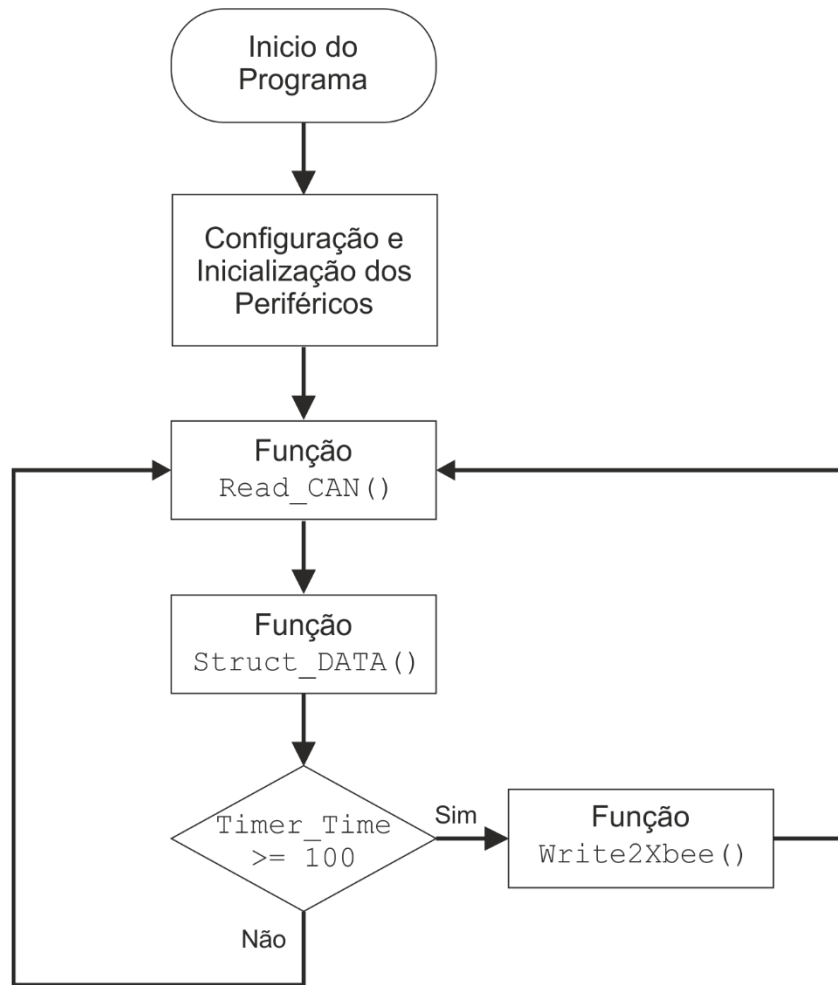


Figura 34 - Fluxograma do Firmware do Módulo da Telemetria.

3.4.4. Projeto de PCB

Foi novamente escolhida a metodologia de dimensionar a placa com as menores dimensões possíveis, para facilitar a integração do módulo no veículo. Posto isto foi selecionado utilizar sempre que possível o *package QFN* para os componentes em que os fabricantes disponibilizassem essa opção.

Na organização dos componentes na PCB decidiu-se colocar os componentes que apresentavam maior volume e altura na mesma superfície onde está inserido o conector automóvel de 6 pinos. Os componentes mais volumosos na placa são os reguladores de tensão comutados, transmissor de ondas rádio e o conector. Ficaram na superfície superior da placa. Na superfície inferior foram colocados os componentes que apresentavam uma altura semelhante a uma resistência SMD, neste caso em específico os circuitos integrados e componentes passivos necessários para o correto funcionamento do módulo. Nesta PCB os componentes é que definiram o comprimento e largura mínima da placa. A largura da placa foi definida com a largura igual do conector de 6 pinos. O comprimento da placa foi definido por três componentes o conector, os reguladores comutados e o transmissor de dados. Como resultado obteve-se uma placa extremamente densa e com as menores dimensões possíveis.

As especificações de produção da PCB são semelhantes ao módulo do sensor de posição da caixa de velocidades, a dimensão final da placa foi de 40 x 56.2mm e uma área total de 2248mm². Na Figura 35 representa a vista 2D e a Figura 36 é referente à vista 3D do design final da PCB do módulo da Telemetria. Na Figura 37 demonstra o resultado final do módulo após os componentes soldados.

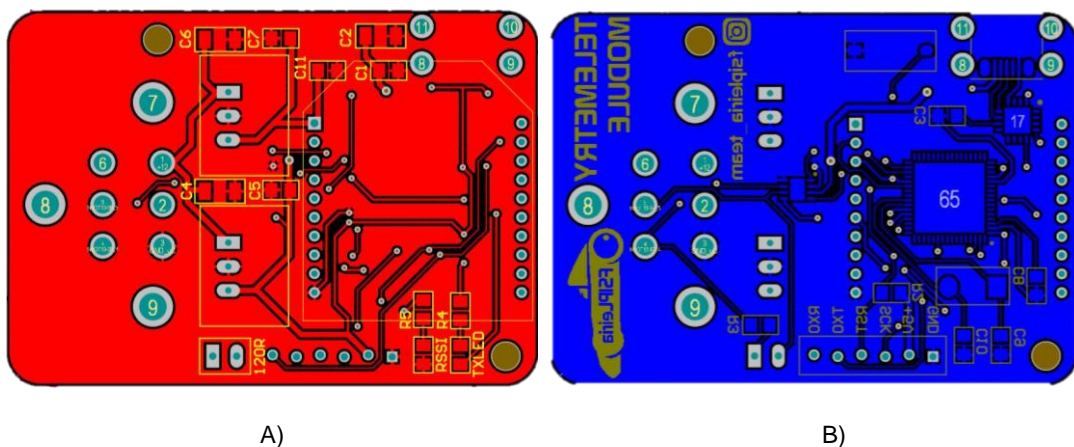


Figura 35 - Design Final da PCB do Módulo da Telemetria - 2D. A) Top Layer, B) Bottom Layer.

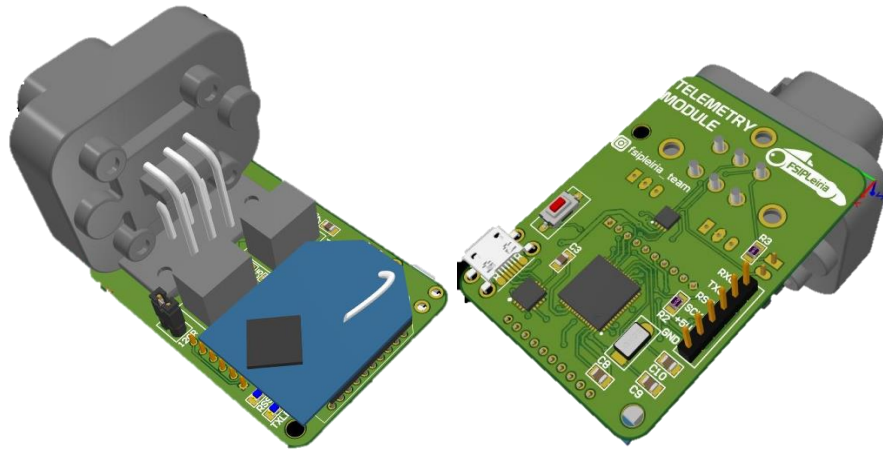


Figura 36 - Design Final da PCB do Módulo da Telemetria - 3D

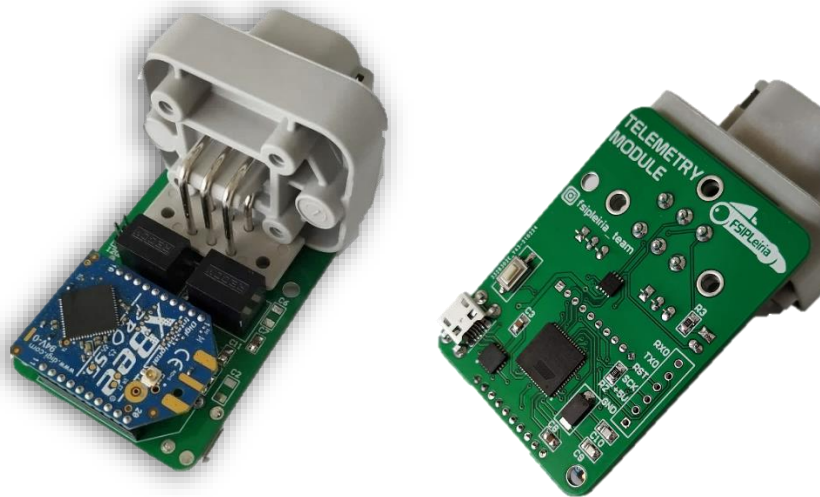


Figura 37 - Resultado Final do Módulo da Telemetria.

O fabricante do módulo de transmissão de dados Xbee[®] fornece um conjunto de regras de integração do módulo transmissor na PCB e no ambiente ao seu redor, com o propósito de melhorar o desempenho do sinal proveniente da antena e evitar interferências no sinal. Uma das regras, define uma área designada de *Keepout*, espaço no qual deve ser evitado objetos e estruturas metálicas. Pode ser observado a área *Keepout* na Figura 38. Dado que o chassi do veículo é feito de aço e não foi designado durante o processo de construção do módulo, a localização onde este iria ficar no veículo. Percebeu numa fase inicial que cumprir a zona de *Keepout* provavelmente não ia ser possível concretizar. Assim, a solução escolhida, que permitiu obter o melhor desempenho, foi a instalação de uma antena externa. A antena ficou ligada ao módulo por um cabo de sinal isolado, como benefício desta opção foi possível aumentar a liberdade do módulo para este ser integrado

em qualquer parte do veículo. O local designado para a instalação da antena da telemetria, onde esta não fique rodeada de objetos e estruturas metálicas, foi o capô do veículo dado que é uma localização do mesmo onde existe uma maior distância a um objeto metálico da estrutura do veículo. Na Figura 39 é possível observar a integração da antena no veículo.

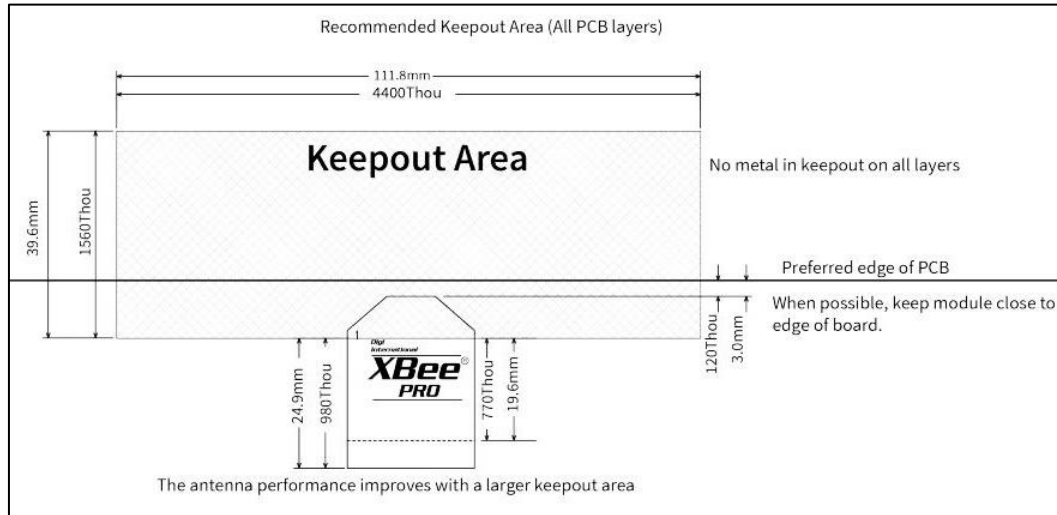


Figura 38 - Área "Keepout" - Transmissor de dados (Digi, 2022).



Figura 39 - Localização da Antena da Telemetria no Veículo.

3.4.5. Relatório de Custos

O nome dos componentes, a referência, a quantidade utilizada, o valor monetário individual, valor monetário total de cada componente e o valor total em euros do módulo é possível analisar na Tabela 6. O módulo ficou com um custo total estimado de produção de 94.88€. Os preços dos componentes e o valor monetário atribuído a determinados componentes passivos segue a mesma lógica utilizada no relatório de custos dos módulos anteriores. Foi utilizado dois módulos Xbee®, visto que um módulo será usado como transmissor e outro como recetor. O módulo pode ser conectado a qualquer computador por uma porta USB com o auxílio de *shield*, o custo do *shield* foi ignorado para a estimativa do custo de produção do módulo da telemetria.

Tabela 6 - Custo e Quantidade de Componentes do Módulo da Telemetria.

Componente	Quantidade	Custo Unitário(€)	Custo total(€)
Microcontrolador	1	9.58	9.58
Regulador Tensão Comutado 5V	1	3.92	3.92
Regulador Tensão Comutado 3.3V	1	3.25	3.25
Transceiver CAN	1	1.45	1.45
Cristal	1	0.66	0.66
Controlador USB	1	2.81	2.81
Porta USB	1	0.7	0.7
Resistência	-	-	1
Condensadores	-	-	1
Díodo	1	0.45	0.45
Botão Genérico	1	0.18	0.18
Xbee	2	32.13	64.26
PCB	1	1.7	1.7
Total(€):			94.88

3.4.6. Interface Gráfico

O *software* selecionado para realizar o ambiente gráfico foi Labview®, que apresenta um método de programação gráfico por objetos, onde não é necessário utilizar uma única linha de código na criação dos interfaces. O LabView® apresenta múltiplas ferramentas matemáticas, manipulação de *strings*, acesso a *hardware*, entre outras opções, o que permite realizar inúmeros projetos de variados conteúdos. Neste programa existem duas janelas distintas de desenvolvimento, o interface, onde se situa a parte gráfica (para visualização por parte do utilizador) e o diagrama de blocos onde se encontra toda a programação realizada por blocos. Foi selecionado receber os dados por comunicação série dado que o *software* tem capacidade descodificar, visualizar e armazenar os dados recebidos em forma de *strings*.

Foi decidido dividir o interface gráfico em múltiplas páginas com o objetivo de o utilizador não ser sobrecarregado com excesso de informação e tornar a experiência de visualização desconfortável. Desse modo foi tido como fim desenvolver cada página do interface gráfico o mais simples e acessível possível para os membros da equipa conseguirem utilizar e compreender a informação apresentada perante eles num período de tempo reduzido. No primeiro interface apresentado ao utilizador a página número 1 denominada de “Main”, é dedicada exclusivamente para a apresentação do programa e para efetuar a seleção das definições necessárias para a correta configuração e visualização da receção de dados pela porta série, nesta página é possível selecionar o *baudrate*, definir qual a porta série a ser utilizada para a comunicação e visualizar o número de *bytes* recebidos. Na Figura 40 é possível observar a página número 1 do interface gráfico.

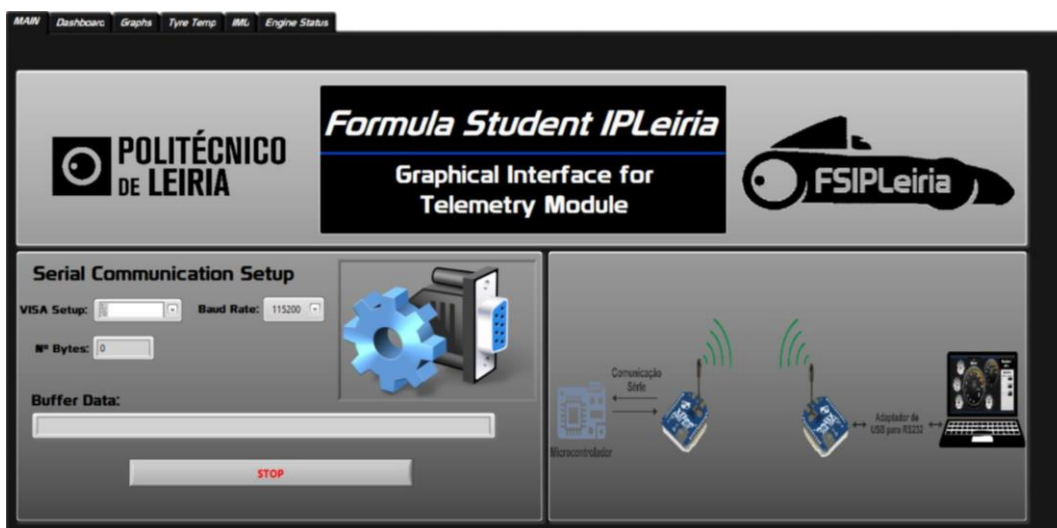


Figura 40 - Interface Gráfico Módulo Telemetria, Página 1.

Visto que o módulo de telemetria vai ser utilizado maioritariamente quando o veículo encontra-se em pista ou testes foi definido criar uma página do interface onde se pode ter uma visualização rápida e clara das variáveis mais importantes do veículo. Nesta página, designada de “Dashboard”, sendo algumas das variáveis mais importantes para monitorizar as seguintes: velocidade de rotação do motor (RPM), temperatura do líquido de refrigeração (ET) e a pressão de óleo do motor (OP). Com o propósito de tornar a página o mais simples possível para visualização o design da mesma foi inspirado no quadrante de instrumentos tradicional de um veículo automóvel. Igualmente foram adicionas luzes de aviso, programáveis pelo utilizador. Esta característica foi adicionada caso o utilizador por alguma razão não estiver a visualizar o interface gráfico e um valor de grandeza medida ficar num valor não normal. Neste caso irá ligar a luz e a mesma não se desligará. Assim com esta funcionalidade o utilizador quando regressar e observar o interface vai constatar que a luz de aviso está ligada mesmo que o valor da grandeza medida tenha estabilizado para um valor normal. Figura 41 representa a página 2 do interface.

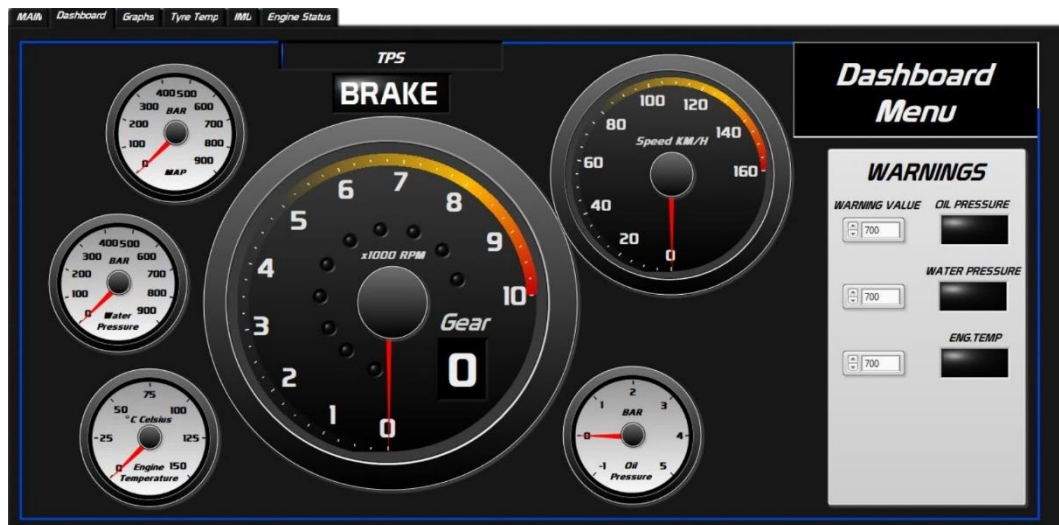


Figura 41 - Interface Gráfico Módulo Telemetria, Página 2.

A página número 3 do interface foi concebida para ser possível ter uma visualização gráfica de uma variável ao longo do tempo com a meta de permitir verificar o comportamento desse parâmetro com o decorrer do funcionamento do sistema. A Figura 42 apresenta o interface do separador “Graph” onde se pode observar a existência de dois gráficos temporais. Foi adicionado um segundo gráfico, que funciona exatamente da mesma forma que o primeiro e permite observar as mesmas variáveis, com o intuito de

oferecer ao utilizador maior flexibilidade nos modos de visualização das variáveis disponíveis. Desta forma é possível num gráfico visualizar a velocidade de rotação do motor e no outro a pressão da admissão, a importância de selecionar as variáveis que se pretendem visualizar em cada gráfico foi devido ao facto que o ajuste da escala do gráfico é automático no Labview®. Consoante o valor da variável apresentada pode originar diminuição drástica da resolução de visualização de uma das variáveis se estas tiverem ordens de grandeza diferentes. Para além do mencionado, foram adicionadas, a cada gráfico, ferramentas de apoio à análise dos dados apresentados graficamente que permitem desempenhar ações como aumentar ou diminuir o zoom da janela do gráfico.



Figura 42 - Interface Gráfico Módulo Telemetria, Página 3.

Foi desenvolvido pela equipa um módulo com um sensor de temperatura por infravermelhos que permite medir a temperatura dos pneus do veículo quando o mesmo se encontra em pista e enviar os dados recolhidos para o barramento de comunicação do veículo. A temperatura dos pneus é um valor de referência utilizado para auxiliar na configuração do sistema de suspensão e na dinâmica do veículo. Com objetivo de auxiliar os membros da equipa na configuração do sistema de suspensão e a dinâmica do veículo em geral foi adicionada uma nova página ao interface gráfico da telemetria onde é possível observar a temperatura de todos os pneus dos veículos medida em três localizações diferentes. Esta é a página número 4 do interface denominado de "Tyre Temp" que pode ser observada na Figura 43. A vantagem que representa a criação desta nova página é a diminuição no tempo de configuração dinâmica do veículo. Anteriormente a equipa para obter os dados da temperatura dos pneus tinha de ler os dados presentes no cartão de memória do *Datalogger* e analisá-los a-posteriori. Este processo moroso comparando com

a nova abordagem, caso não seja necessário fazer uma análise detalhada da informação, em que a equipa observa a evolução da temperatura dos pneus quase em tempo real com base no interface da telemetria.

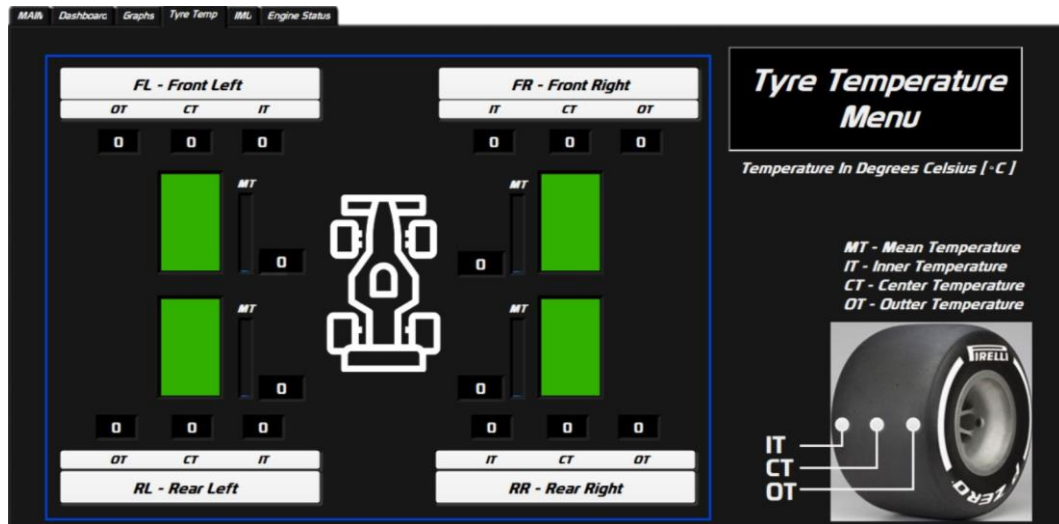


Figura 43 - Interface Gráfico Módulo Telemetria, Página 4.

De igual modo à página de “Tyre Temp.” a página número 5 com o nome de “IMU” foi elaborada para auxiliar a equipa na configuração dinâmica do veículo em pista. Nesta página pode-se visualizar o comportamento do carro em função das novas configurações adicionadas ao veículo. Nesta página é possível igualmente observar as grandezas medidas pelo acelerómetro presente no veículo montado próximo do centro de massa do mesmo, nomeadamente os valores de inclinação e aceleração do veículo relativamente aos três eixos de liberdade. Na Figura 44 é possível observar a página desenvolvida para o interface gráfico

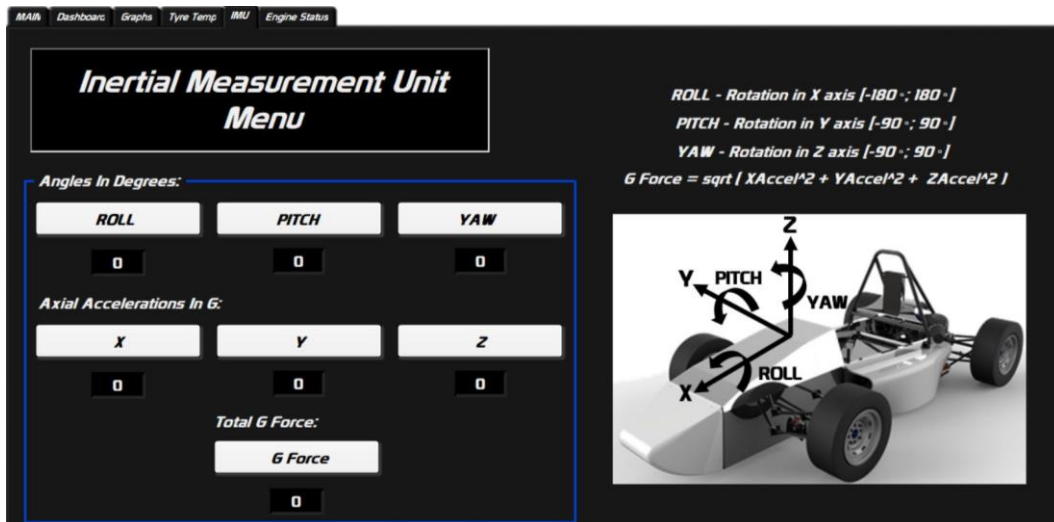


Figura 44 - Interface Gráfico Módulo Telemetria, Página 5.

A última página desenvolvida para este interface foi a página número 5. Neste separador é possível observar um elevado número de grandezas medidas. Este separador foi criado para a equipa ter uma página com uma elevada densidade de informação caso seja necessário obter um valor de alguma variável que não se encontra presente nos outros separadores. Assim, sendo é possível visualizar os valores adquiridos por múltiplos sensor, analisar a configuração de alguns parâmetros na unidade de comando do motor e perceber o estado de alguns atuadores. A Figura 45 representa a página número 5 designada de “Engine Status”.



Figura 45 - Interface Gráfico Módulo Telemetria, Página 6.

4. Testes Práticos Realizados aos Módulos

Este capítulo tem como objetivo explicar e demonstrar os resultados obtidos nos ensaios realizados aos módulos desenvolvidos com o intuito de validar em bancada o correto funcionamento do *hardware* e *firmware* concebido. Este capítulo encontra-se estruturado em quatro subcapítulos o primeiro referente aos equipamentos de testes utilizados nos testes efetuados aos módulos com o intuito de fazer uma breve introdução dos mesmos e os restantes três subcapítulos são referentes aos teste individuais realizados a cada módulo nomeadamente ao módulo do *Datalogger*, sensor posição da caixa de velocidades e da telemetria.

4.1. Equipamentos de Teste e medição

Dada a necessidade de medir sinais elétricos num determinado intervalo de tempo e conseguir quantificar o mesmo e gravar os dados medidos a fim de determinar o período de resposta de atuação e o comportamento dos módulos, foi selecionado a utilização de um osciloscópio da marca PicoScope® Série 2000. Este osciloscópio apresenta dois canais de medição, largura de banda de 25MHz, descodificação de protocolos de comunicação, entre outras características. Outra vantagem que advém da utilização do PicoScope® é conectividade ao computador que permitiu utilizar um interface gráfico avançado para leitura, análise e gravação dos sinais elétricos adquiridos. Na Figura 46 é possível visualizar o interface gráfico observado pelo utilizador durante o processo de medição e gravação dos sinais elétricos.

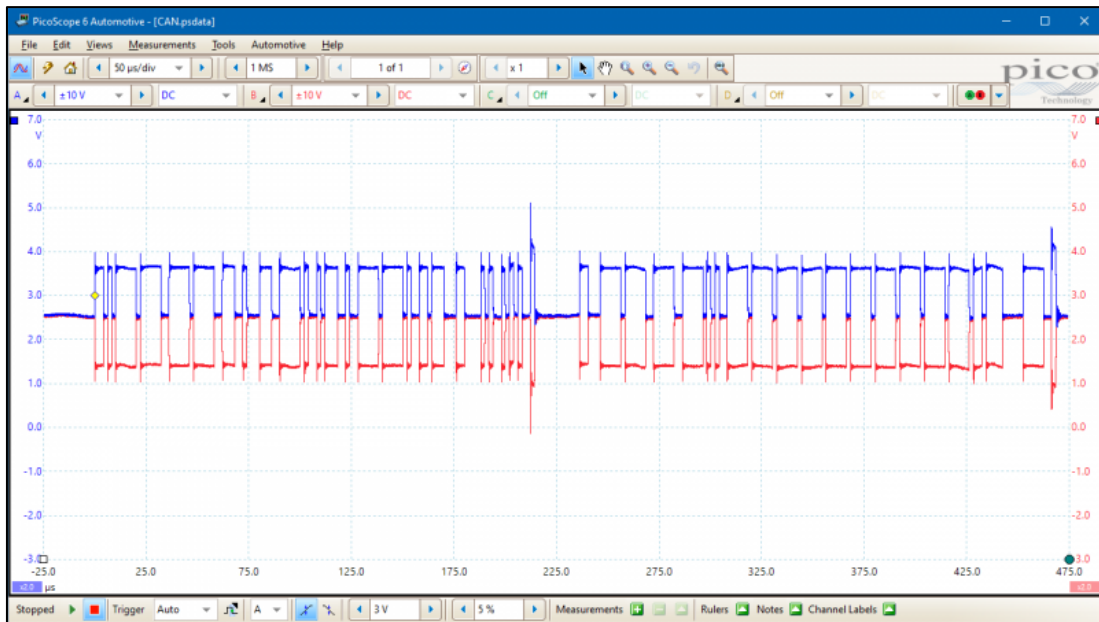


Figura 46 - Interface Gráfico PicoScope.

O barramento de comunicação do veículo é um dos sistemas mais importantes do veículo uma vez que a maioria da informação do veículo se encontra presente no mesmo, desde do valor das variáveis adquiridas pelos sensores até ao comando dos atuadores, todos os módulos presentes no veículo encontram-se ligados ao barramento de comunicação CAN. Como tal, é necessário validar e garantir que a comunicação entre os módulos funciona corretamente. Desse modo, foi utilizada uma ferramenta para diagnóstico do barramento de comunicação CAN, o VN1600 da marca VECTOR®. Este equipamento permite ler mensagens e escrever mensagens, medir a estatísticas do barramento como a sua taxa de ocupação e número de mensagens de erro por segundo, gravação de dados, gerador sinais entre outras funções. A Figura 47 é possível observar os equipamentos da VECTOR® da família VN1600.



Figura 47 - Equipamentos da Família VN1600 da VECTOR®.

4.2. *Datalogger*

Para o módulo do *Datalogger* foram efetuados três ensaios experimentais para validar o funcionamento do módulo:

- O primeiro ensaio com o intuito de validar a taxa de gravação de dados a 200Hz, ou seja confirmar que o módulo consegue gravar os dados no cartão de memória a cada 5ms;
- O segundo ensaio serviu para validar o regulador de tensão presente na placa, garantir com o funcionamento normal do veículo e os picos de tensão presentes no barramento de 12V não vão influenciar pela negativa o funcionamento do regulador de tensão;
- Em terceiro o ensaio experimental de validação serviu para constatar o correto funcionamento do circuito "EPW" e garantir que quando existir uma falha de energia no barramento de alimentação do módulo os dados gravados no cartão SD são salvos e não ficam corrompidos.

Ensaio 1

Definiu-se a taxa de gravação de dados de 200Hz. O módulo tem uma janela temporal de operação de 5ms para conseguir ler e adquirir as variáveis no barramento CAN, fazer a respectiva descodificação, estruturar os dados e por último escrever os mesmo no cartão SD da placa. O primeiro passo antes de começar a desenvolver detalhadamente o *firmware* foi garantir que o módulo conseguia ler o barramento de comunicação do veículo em menos de 5ms e quantificar o tempo que este demorar a ler. De modo a compreender

se iria existir tempo necessário para executar o resto do código necessário a desenvolver, para isso recorreu-se ao osciloscópio para medir o tempo decorrido entre o início e fim da leitura. No código do módulo definiu-se uma porta do microcontrolador com estado lógico de 3.3V durante o processo de leitura e no fim essa porta seria definida novamente com um estado lógico de 0V. O instante em que o osciloscópio mediu a saída do microcontrolador a alto nível vai corresponder ao tempo decorrido para o processo de leitura do barramento CAN. Na Figura 48 é possível observar o sinal presente na porta do microcontrolador e tempo medido pelo osciloscópio, o tempo leitura do barramento obtido foi de 147.8 μ s. Assim, na janela temporal disponível de 5ms para executar o código completo após o processo de leitura ficaram 4.852ms livres para executar o restante código. Percentualmente a leitura do barramento de comunicação do veículo ocupou 2.9% do tempo disponível para executar o *firmware* do *Datalogger*.

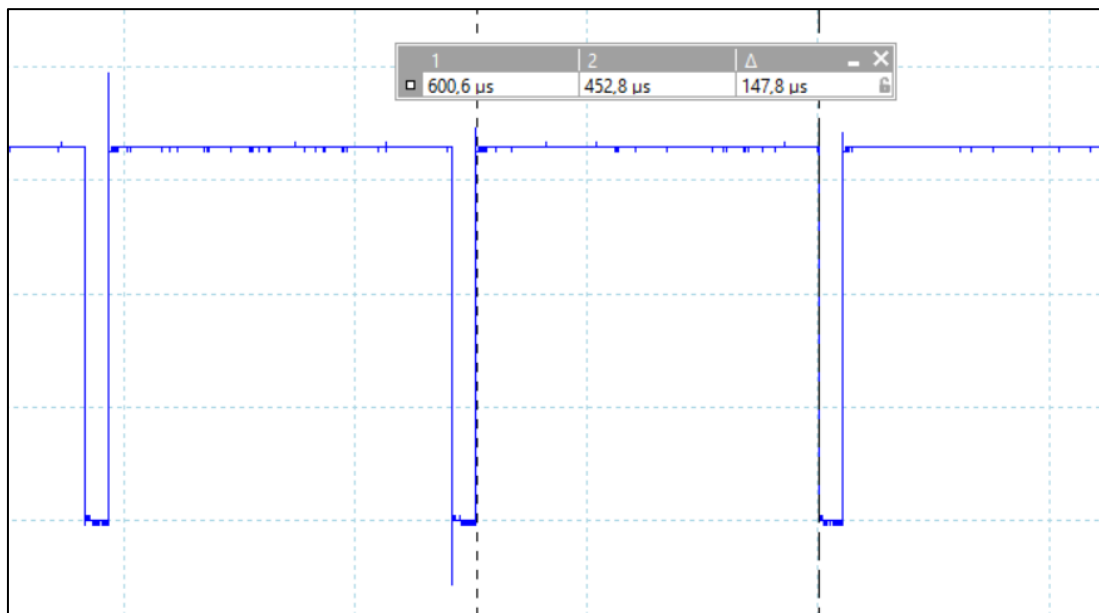


Figura 48 - Sinal Medido Osciloscópio Módulo Datalogger Ensaio 1.

Dado que o ensaio para determinar se existia tempo suficiente para executar o restante código após a leitura do barramento de comunicação ter sido realizado com sucesso, iniciou-se o processo de adição de novas funcionalidades ao *firmware* do código. Foi acrescentado o excerto de código relativo ao processo de escrita e gravação de dados no cartão SD bem como a leitura e descodificação de sinais elétricos de sensores adquiridos pelas portas analógicas do microcontrolador. A Figura 49 demonstra o período de tempo medido do *firmware* completo a ser executado. Por observação identifica-se que o módulo demora 3.246ms a executar o código desde o processo de leitura do barramento

de comunicação até à gravação de dados no cartão SD. É possível concluir que o *Datalogger* tem a capacidade de atingir a taxa de gravação de dados de 200Hz visto que executa todo o código em 3.2ms, período inferior ao tempo limite de 5ms para ser possível atingir a meta de 200Hz gravação.

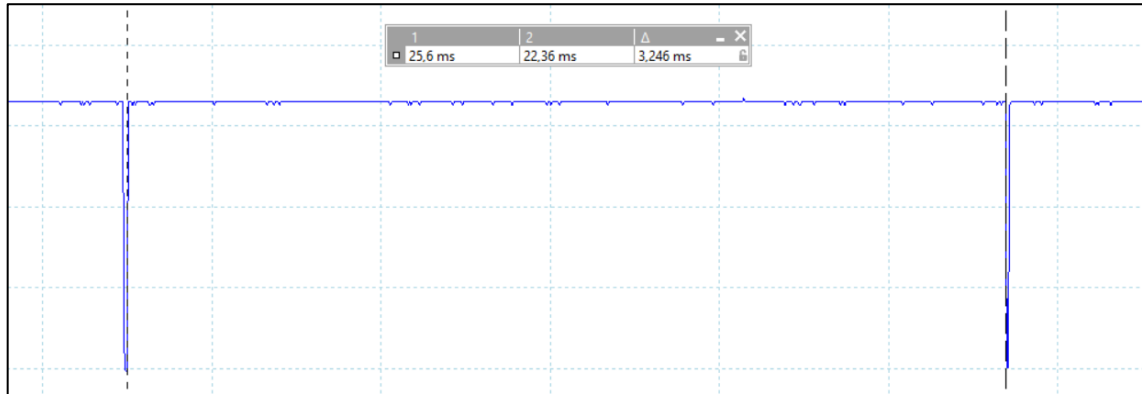


Figura 49 - Sinal Medido Osciloscópio Módulo Datalogger Ensaio 2.

A presente Figura 50 permite observar um ficheiro de dados gerado pelo *Datalogger* onde é possível constatar a gravação da linha temporal entre as a gravação dos dados. A primeira coluna do lado esquerdo identifica o tempo entre cada linha de dados onde o tempo medido é exatamente 5ms.

```

Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda
#_FSIPL_____Datalogger_____2022_CAR|
#_File_Name:FSIPL31.txt
#_Time:14:37:35_____Date[D/M/Y] = 5/7/2022
#
#
xtime [s]      RPM [rpm]      oil_pre [kPa]  Eng_Tp [°C]    Battery [v]    G_speed
0.000  5947.00  105.00  71.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.003  5947.00  105.00  71.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.008  5947.00  105.00  71.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.013  5950.00  105.00  71.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.018  5947.00  105.00  71.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.023  5947.00  105.00  71.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.028  5947.00  105.00  71.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.033  5947.00  105.00  71.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.038  5947.00  105.00  71.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.043  5947.00  105.00  71.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.048  5947.00  105.00  71.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00
0.053  5950.00  105.00  71.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00  0.00

```

Figura 50 - Ficheiro de Dados Gerado pelo Datalogger.

Ensaio 2

O segundo teste realizado ao módulo teve como intuito compreender a influência do ruído presente no sistema de 12V do veículo, na alimentação do microcontrolador e nos restantes componentes presentes na placa. Para isso foi efetuado o teste em bancada com o auxílio de uma fonte de alimentação utilizada para simular alimentação proveniente de uma bateria de 12V. Uma vez que esta possui a capacidade de definir a tensão de saída, foi utilizada para simular ruído na linha de 12V de maneira a compreender a resposta do regulador de tensão integrado no módulo e como este vai influenciar a tensão de alimentação do microcontrolador.

Um dos momentos de maior oscilação no valor de tensão do barramento de baixa tensão do veículo ocorre na fase de arranque do motor de combustão interna. Dado que o motor de arranque vai funcionar durante alguns instantes e este solicita um pico de potência que vai destabilizar o valor de tensão presente no barramento de 12V, realizou-se outra medição para obter e determinar a tensão de alimentação do microcontrolador durante o processo de arranque do motor de combustão interna. Na Figura 51 é possível analisar os valores de tensão no barramento de 12V do veículo (linha a azul) e tensão de alimentação do microcontrolador e circuitos integrados (linha a vermelho) durante o processo de arranque do motor. Durante o processo de ligar o motor de combustão existe uma queda no valor de tensão no barramento de 12V, antes do início de funcionamento do motor arranque o barramento de 12V apresenta um valor de tensão medido de 12.49V e durante o processo de ligar o motor de combustão, apresentou um valor médio de 10.9V e um valor mínimo de 9.12V. As oscilações de tensão influenciaram o valor tensão de saída do regulador de alimentação do microcontrolador de 5V, tendo tido como o valor mínimo medido 4.67V. Visto que alguns dos circuitos integrados presentes no módulo apresentam um valor mínimo de tensão de entrada 4.5V, o valor de 4.67V medido durante o arranque do motor é um valor muito próximo do valor mínimo tensão de funcionamento de alguns componentes.

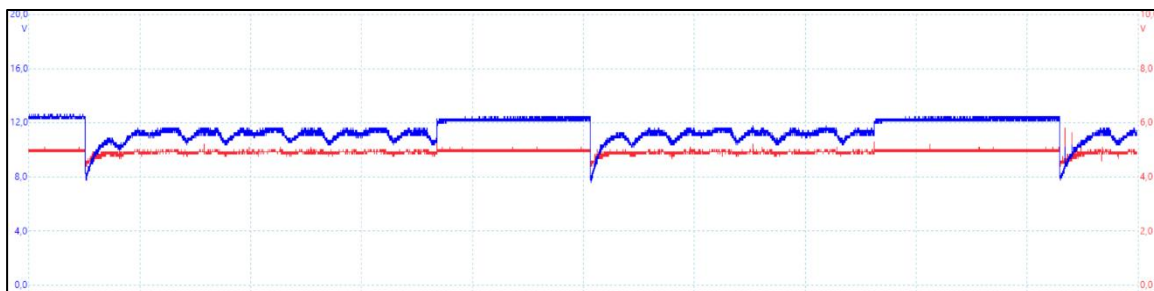


Figura 51 - Valores Tensão Elétrica Medidos Durante o Arranque do Motor.

Ensaio 3

O último teste realizado ao módulo tem como intuito validar o circuito desenvolvido denominado de “EPW – Energy Power Warning”. Este circuito foi concebido com o objetivo de proteger os dados do veículo, caso exista um encerrar incorreto do *Datalogger*, e consequentemente o “corrompimento” dos dados gravados no cartão SD. O circuito “EPW” apresenta a capacidade de monitorizar o valor de tensão presente no sistema de baixa tensão do veículo. Caso esse valor diminua para um nível que levará a um encerrar incorreto do *Datalogger* o circuito vai ter a capacidade de informar o microcontrolador e este irá fechar do ficheiro de dados corretamente sem que exista o corrompimento dos dados gravados.

Como metodologia de funcionamento, o circuito começa por monitorizar a tensão de alimentação do *Datalogger* e enviar o sinal elétrico para um divisor de tensão para efetuar condicionamento de sinal. De seguida, o sinal vai para um amplificador operacional comparador que irá comparar o valor de tensão de alimentação do microcontrolador (5V) com o valor de tensão de alimentação do módulo (12V). Caso exista uma anomalia, o amplificador operacional irá enviar um sinal para um pino do microcontrolador que vai originar uma interrupção a fim de terminar o processo de gravação dados e encerrar corretamente o cartão micro SD. Foi novamente utilizada uma fonte de alimentação DC de bancada para simular a bateria de baixa tensão do veículo e um osciloscópio para medir os sinais de atuação do sistema “EPW”. Neste ensaio, foi monitorizado o valor tensão de alimentação do módulo e o sinal de “*trigger*” enviado pelo “EPW” para comandar o microcontrolador o fechar correto do ficheiro de dados. Na Figura 52 pode-se verificar o primeiro teste efetuado em que o valor de tensão do barramento de 12V foi diminuindo até que seja alcançada a tensão de 7.76V o valor de atuação do “EPW”.

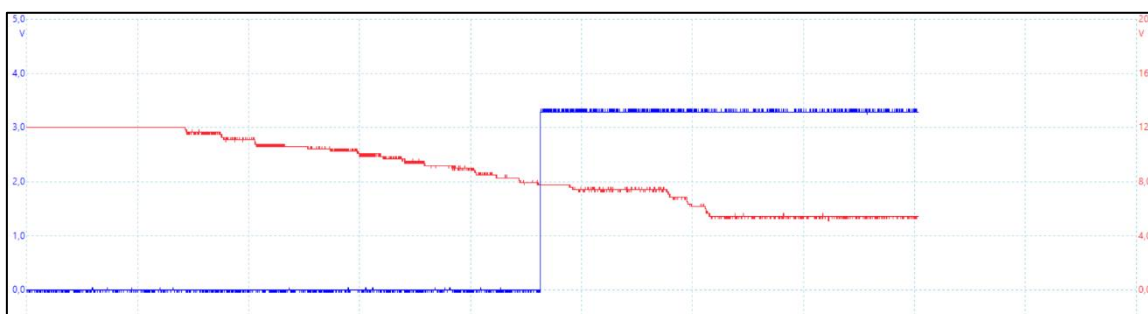


Figura 52 - Sinal Medido Osciloscópio Módulo Datalogger Circuito EPW Ensaio 1.

Foi realizado um novo ensaio de validação, são demonstrados os sinais medidos na Figura 53, com o intuito quantificar o tempo em que o módulo possui uma alimentação estável de 5V após ter sido acionado o circuito “EPW”. Neste ensaio, o módulo foi alimentado corretamente durante 5 minutos e de seguida removeu-se a alimentação total do módulo, e medindo-se o sinal de comando proveniente do circuito “EPW” representado na Figura 53 pela linha azul e a tensão de alimentação de 5V dos componentes presentes na placa possível observar pela linha vermelha. Entre o sinal de comando proveniente do circuito “EPW” e a queda de tensão no barramento de alimentação de 5V decorreram 2.21s. Este valor significa que após ter sido perdida a alimentação do módulo o microcontrolador possui uma janela de operação de 2.2s para concluir a gravação de dados e fechar o cartão SD de modo a guardar os dados presentes no mesmo.

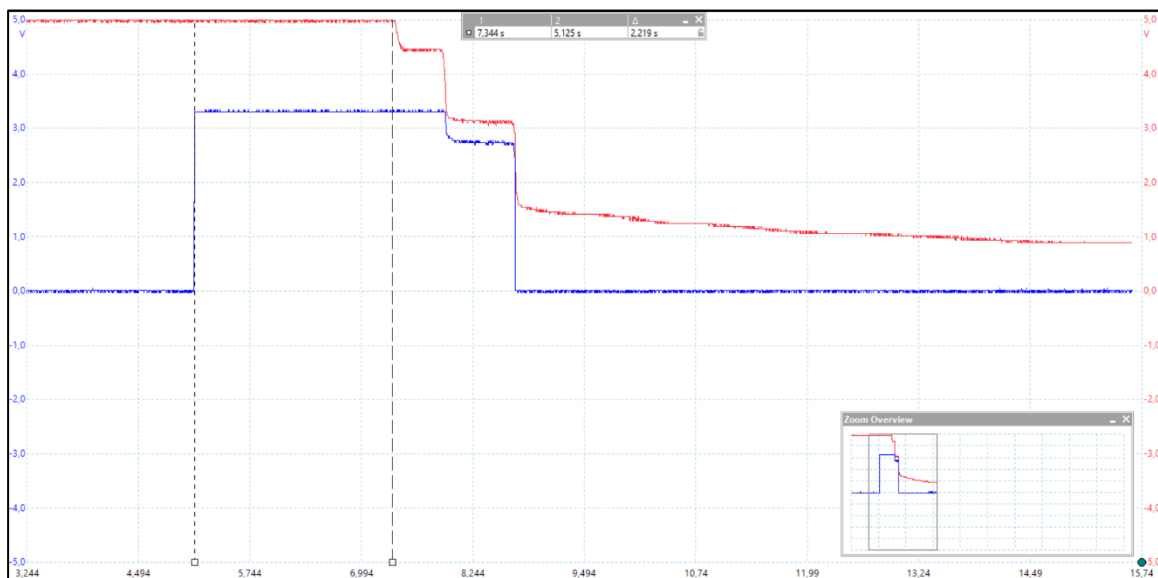


Figura 53 - Sinal Medido Osciloscópio Módulo Datalogger Circuito EPW Ensaio 2.

É possível concluir que o circuito “EPW” apresenta um correto funcionamento uma vez que é verificado, através dos ensaios realizados, que o microcontrolador recebe o comando correto para encerrar o ficheiro de dados presentes no cartão SD e possui tempo necessário para executar a tarefa. De forma a informar, a-posteriori, que o *Datalogger* encerrou a gravação de dados automaticamente por atuação do “EPW”, foi acrescentado no final do ficheiro de dados uma mensagem com a respetiva informação. Na Figura 54 é possível ler a mensagem gravada no ficheiro de dados caso o circuito “EPW” tenha sido ativado.

6.993	5.00	94.00	118.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.998	5.00	94.00	118.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.003	5.00	94.00	118.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
#_!!ERROR!!_#									
#_-> !! No Power, backup close !! <-_#									

Figura 54 - Ficheiro de Dados Datalogger Mensagem de Aviso de Erro.

4.3. Módulo Sensor de Posição Caixa de Velocidades

O ensaio prático mais relevante realizado ao módulo do sensor de posição da caixa de velocidades consistiu na medição do tempo de latência ocorrido entre o sinal enviado pelo sensor de posição e a mensagem transmitida no barramento de comunicação do veículo. Latência ou período de latência representa a diferença entre início de uma ação e o tempo decorre até se obter um resultado da mesma, ou seja, o tempo de resposta de um sistema a um comando solicitado.

Efetuu-se a medição do tempo de latência com recurso ao osciloscópio e à ferramenta de diagnóstico CAN. A ponta de prova do osciloscópio foi colocada a medir o sinal elétrico proveniente do sensor de posição da caixa e a segunda ponta de prova foi colocada a medir o sinal de saída de uma porta do microcontrolador. A porta do microcontrolador foi programada exclusivamente para os testes efetuados de validação em que o estado lógico da porta fica a 3.3V após ter sido executado todo o processo de leitura do valor de uma nova mudança e escrito no barramento de comunicação CAN do veículo a informação. Como elemento de redundância, foi confirmado no barramento de comunicação o novo valor da mudança engrenada no veículo. A Figura 55 demonstra os sinais elétricos medidos pelo osciloscópio, cuja linha a vermelho representa o sinal proveniente do sensor de posição da caixa e a linha azul é o sinal medido na porta do microcontrolador. Verifica-se que o sinal proveniente do sensor com o nível lógico alto, quando este passar para um nível lógico baixo vai significar que a mudança foi engrenada. Como resultado a porta do microcontrolador vai passar de um nível lógico baixo para alto após ter sido executado todo o ciclo do *firmware*. É possível observar que, ocorreu um intervalo de tempo 1.105ms. Foram realizados três ensaios em que o tempo médio de resposta foi de cerca 1.1ms, concluindo-se que o módulo apresenta um período de latência de 1.1ms.

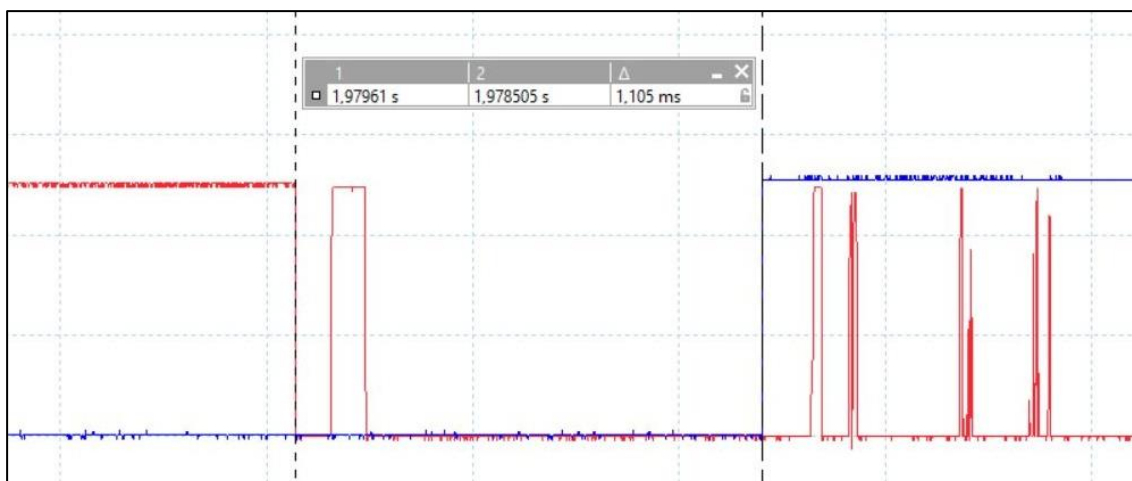


Figura 55 - Medição do Período de Latência do Módulo de Posição da Caixa de Velocidades

O veículo *Formula Student*, devido a uma limitação do atuador da caixa de velocidades, apresenta um tempo de engrenagem de 220ms. Por comparação, o tempo de 1.1ms apresenta ser um valor aceitável como período de latência para módulo de posição caixa de velocidades, uma vez que o valor representa 0.5% do tempo decorrido para trocar de velocidade permitindo ter a resolução necessária de leitura da posição da caixa de velocidades.

4.4. Módulo Telemetria

Para o módulo de telemetria foram efetuados dois testes com o intuito de validar os diferentes requisitos do mesmo. O primeiro teve por objetivo garantir que o módulo possui o *alcance* necessário de sinal para conseguir transmitir os dados provenientes do veículo para o recetor enquanto que o segundo ensaio mediu o tempo de latência que o módulo apresenta. Caso se verifique um valor elevado de tempo de resposta, pode tornar o módulo inviável para ser utilizado pela equipa.

Ensaio 1

No ensaio inicial foi pretendido verificar se o módulo tem o *alcance* de sinal necessário para garantir a distância mínima de aproximadamente 360m de linha de visão em campo aberto. O ideal era realizar o teste numa área semelhante onde o veículo irá competir. Devido à logística do ensaio não foi possível efetuar o mesmo, posto isto foi optado realizar o teste num meio urbano com uma menor distância e perceber o

comportamento do módulo de telemetria. Os testes foram realizados no campus da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Politécnico de Leiria, tal como ilustrado na Figura 56. A metodologia adotada para o ensaio foi utilizar um lugar de referência para o emissor de dados, enquanto que recetor ia aumentando a sua distância de envio de dados relativamente ao emissor. Na Figura 56 é possível observar a distância do primeiro teste efetuado ao módulo da telemetria, a distância entre recetor e o emissor de dados foi de 217m. Para esta distância o recetor conseguiu receber os dados e enviá-los pelo protocolo de comunicação série para o interface gráfico sem existir corrupção de dados, o teste foi efetuado durante um período de 15 minutos.



Figura 56 - Distância do Primeiro Teste Efetuado ao Módulo da Telemetria (GoogleMaps, 2022).

A Figura 57 representa a distância entre o recetor e emissor do segundo teste efetuado. Para este cenário, obteve-se uma distância de 358m, entre emissor e recetor. Neste segundo teste de validação os resultados não foram positivos uma vez que existiram falhas de comunicação e foram adquiridos dados corrompidos por parte do recetor. Ambos os testes foram executados em meios urbanos e sem linha de visão entre o recetor e

emissor. Assim, conclui-se que, a distância ideal de funcionamento para este tipo ambiente é de aproximadamente 217m.

Mesmo sem ter conseguido alcançar o requisito mínimo de distância de funcionamento em meio urbano, os valores obtidos representam resultados em testes cujo ambiente era menos propícios para a propagação do sinal quando comparando com o ambiente de uma pista. Pode-se com isto assumir que o módulo de telemetria possui a capacidade de alcance de sinal necessário para o correto funcionamento do sistema, uma vez que o ambiente em que o veículo vai funcionar com o módulo de telemetria é um meio não urbano e onde existe uma linha de visão entre o emissor e recetor.



Figura 57 - Distância do Segundo Teste Efetuado ao Módulo da Telemetria (GoogleMaps, 2022).

Ensaio 2

O teste de latência realizado ao módulo teve como fim determinar se este apresentava uma atuação suficiente rápida entre o envio dos dados presentes no barramento de comunicação do veículo e os dados apresentados ao utilizador no interface gráfico a uma frequência de 10Hz. Caso existia um elevado período de latência, os dados interpretados pelo utilizador ficam obsoletos. Por exemplo, se existir uma fuga que origine uma perda de pressão de óleo no sistema, o utilizador deve obter esses dados o mais breve possível de modo atuar e evitar danos ao motor de combustão interna do veículo.

Com o intuito de estimar o período de latência recorreu-se à ferramenta de diagnóstico CAN o VECTOR® para escrever mensagens no barramento de comunicação CAN. O módulo de telemetria irá ler as mensagens e enviar os dados para o módulo transmissor, de seguida o recetor vai receber a informação e demonstrá-la no interface gráfico. O tempo decorrido entre esta série de eventos vai corresponder ao período de latência medido do módulo. Efetuou-se um total de cinco ensaios para medir o período de latência do módulo, resultando num valor médio de período de latência aproximadamente de 0.7 segundos. O valor obtido é um tempo aceitável para o sistema em causa uma vez que permite reagir e prevenir danos mecânicos no veículo em caso de anomalia.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

5. Estrutura e Codificação do Barramento de Comunicação *CAN* do Veículo

O presente capítulo pretende expor em maior detalhe a organização e estrutura do barramento de comunicação do veículo. Aborda a codificação das mensagens *CAN* enviadas pelos módulos e o barramento de comunicação construído em bancada para validação da comunicação dos mesmos.

As especificações do barramento de comunicação presente no veículo são as seguintes:

- Velocidade de comunicação de 1Mbit/s ;
- Comprimento total aproximado de 4m;
- Resistência de fim de barramento de 120Ω em cada extremidade do barramento;
- Ordenação de *bytes* “*Little-Endian*”.

A organização do valor dos identificadores das mensagens foi estruturada com intuito das mensagens mais importantes terem o valor de identificação o menor possível de modo a conterem uma maior prioridade de escrita no barramento.

Na Figura 58 é possível observar as estatísticas medidas no barramento *CAN* numa medição em que o motor de combustão interna encontrava-se desligado. Analisando as estatísticas do barramento, este apresenta uma taxa de ocupação média de 8.02%, um valor médio de erros por segundo de zero e total de mensagens por segundo de 635. É de salientar que o barramento apresenta um baixo valor de mensagem, uma vez que a medição referida foi efetuada quando não se encontravam todos os módulos conectados ao barramento.

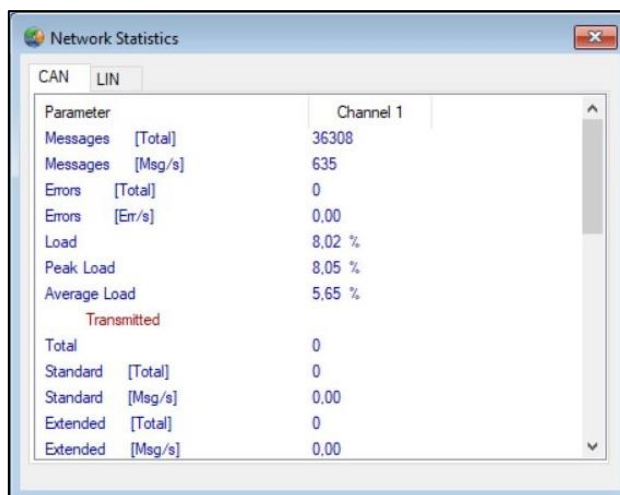


Figura 58 - Estatísticas Medidas no Barramento CAN.

Foi planeado realizar mais ensaios práticos ao barramento de comunicação do veículo, com o intuito de compreender como o funcionamento do motor de combustão interna iria influenciar as mensagens presentes no barramento de comunicação. Não foi possível efetuar esses testes, uma vez que o veículo sofreu de uma falha mecânica grave durante a competição e o mesmo ficou inoperacional.

5.1. Estrutura de Codificação do Barramento

5.1.1. Módulo *Datalogger*

Como estrutura de leitura e escrita de mensagens *CAN*, o *Datalogger* envia duas mensagens para o barramento e lê uma mensagem de controlo.

A primeira mensagem enviada é referente às portas analógicas do módulo e foi concebida para enviar o sinal analógico adquirido pela placa para o barramento de comunicação *CAN*.

A segunda mensagem enviada tem como objetivo dar feedback do estado módulo ao utilizador. Informar o utilizador se o módulo se encontra ou não a gravar dados, e se o cartão SD está ou não inserido no *Datalogger*.

A mensagem *CAN* de controlo adquirida pelo *Datalogger* permite ligar ou desligar a gravação de dados. O controlo é realizado pelo envio do valor decimal de “0” para terminar a gravação e enviado o valor de “255” para inicializar o processo de gravação de dados.

Descodificação da mensagem com o identificador de 0x501:

- *Byte 0*, valor “0” o módulo não se encontra a gravar dados e se o valor for “1” o módulo está gravar dados para o cartão SD;
- *Byte 1*, valor “0” o módulo tem cartão SD presente e se o valor for “1” o módulo não tem o cartão SD presente no mesmo.

A Tabela 7 demonstra em maior detalhe a codificação das mensagens *CAN* relativas ao módulo do *Datalogger*.

Tabela 7 - Estrutura de Codificação das Mensagens *CAN Datalogger*.

Dispositivo	Comunicação	Taxa	ID	Byte	Mensagem	Escala	Offset
Módulo Datalogger (Little-Endian)	Envia	100Hz	0x500	0	Valor de Tensão Analog - 1	x0.1	-
				1			
				2	Valor de Tensão Analog - 2	x0.1	-
				3			
				4	Valor de Tensão Analog - 3	x0.1	-
				5			
				6	Valor de Tensão Analog - 4	x0.1	-
			7				
			0x501	0	Estado Datalogger	-	-
				1	Erro no Cartão SD	-	-
				2			
				3			
				4			
				5			
	6						
7							
Recebe	-		0x510	0	Controlo do Processo de Gravação	-	-
				1			
				2			
				3			
				4			
				5			
				6			
				7			

5.1.2. Módulo Sensor de Posição da Caixa de Velocidades

A mensagem *CAN* enviada pelo módulo tem uma frequência de escrita constante onde o valor adquirido é enviado para o barramento de comunicação num intervalo constante de 5ms. Contudo, se existir alteração do valor de mudança engrenada na caixa de velocidade o módulo irá escrever no barramento de comunicação o novo valor. Esta funcionalidade foi programada no *firmware* do módulo com o intuito de obter o menor período possível de latência.

A mensagem enviada pelo módulo apresenta o endereço 0x77 e tem presente informação nos dois primeiros *bytes* da mensagem que seguem o seguinte protocolo:

- *Byte* 0, caso seja lido o valor “0” significa que o veículo tem a caixa na posição neutra, se for “1” significa que tem a primeira mudança engrenada, se for “2” significa segunda mudança está engrenada assim sucessivamente. Será a lógica para as restantes mudanças do veículo engrenadas;
- *Byte* 1, tem como objetivo dar feedback ao utilizador sobre o módulo. Se for adquirido o valor “0” o módulo está em operação normal, se for “10” significa que não se consegue ler sinal nenhum e se for “20” informa que mais de duas posições de caixa de velocidades foram lidas..

A Tabela 8 apresenta em maior detalhe a codificação da mensagem *CAN* escrita no barramento de comunicação do veículo pelo módulo do sensor de posição da caixa de velocidades.

Tabela 8 - Estrutura de Codificação das Mensagens *CAN* do Módulo de Posição da Caixa de Velocidades.

Dispositivo	Comunicação	Taxa	ID	Byte	Mensagem	Escala	Offset
Datalogger (Little-Endian)	Envia	200Hz	0x77	0	Posição da Caixa de Velocidades	-	-
				1	Erro no Processo de Leitura	-	-
				2			
				3			
				4			
				5			
				6			
				7			

5.1.3. Módulo Telemetria

De modo a compreender e ajudar no diagnóstico do módulo telemetria no barramento de comunicação, o módulo envia uma mensagem *CAN* a cada 100ms permitindo confirmar que o módulo se encontra a comunicar corretamente com o barramento de comunicação do veículo.

A mensagem enviada pelo módulo da telemetria apenas utiliza um *byte* de informação, quando o *byte* apresentar o valor “1”, significa que o módulo encontra-se a operar corretamente. Foi definido o valor 0x200 como endereço da mensagem *CAN* enviada. Visto que a mensagem *CAN* escrita por este módulo apresenta um menor valor de importância comparativamente a outros módulos, foi decidido baixar a taxa de escrita no barramento de comunicação para 10Hz. Esta diminuição da taxa de escrita de mensagens

com menor relevância no barramento CAN tem como objetivo diminuir o valor de taxa de ocupação do mesmo.

A Tabela 9 apresenta em maior detalhe a estrutura da mensagem CAN enviada pelo módulo da telemetria.

Tabela 9 - Estrutura de Codificação das Mensagens CAN do Módulo da Telemetria.

Dispositivo	Comunicação	Taxa	ID	Byte	Mensagem	Escala	Offset
Módulo Telemetria (Little-Endian)	Envia	10Hz	0x200	0	Feedback de Comunicação CAN	-	-
				1		-	-
				2			
				3			
				4			
				5			
				6			
				7			

5.2. Validação em Bancada do Barramento de Comunicação

Durante o desenvolvimento dos projetos dos módulos eletrónicos não se encontrava ainda montado e operacional o sistema de comunicação do veículo. Este facto originou uma limitação no desenvolvimento da eletrónica uma vez que não era possível validar o sistema de comunicação dos módulos, onde os mesmos se encontravam ligados a um único barramento de comunicação.

A fim de superar essa limitação no desenvolvimento de módulos, foi criado um barramento de comunicação CAN em bancada. Pretendeu-se desenvolver um barramento de comunicação onde fosse possível adicionar e retirar módulos facilmente, ligar e desligar as resistências de fim de barramento e por último ter a capacidade de aumentar e diminuir a distância total do barramento de comunicação.

Posto isto, foi desenvolvida uma placa de circuito impresso para facilitar o processo de ligação entre os módulos eletrónicos em bancada. Esta placa permite a ligação de quatro ramos do barramento CAN e ligar e desligar a resistência de fim de barramento. A placa desenvolvida foi batizada com o nome de “CANHub”. Na Figura 59 é possível observar o resultado da PCB desenhada. A Figura 60 representa o *design* final em vista 3D para a PCB do “CANHub”. É possível constatar que existem seis pontos de ligação na placa constituídos por terminais de blocos para facilitar a ligação de módulos ao barramento de comunicação ou retirar, permitindo assim uma maior liberdade por parte do utilizador. Em cada extremidade existe um pequeno interruptor que permite ligar ou desligar a resistência

de fim de barramento. É possível observar no canto superior direito da placa 4 pinos *headers* macho convencionais para facilitar a conexão de uma placa desenvolvimento. No canto superior esquerdo encontra-se integrado um conector da família *D-Sub* de nove pinos, adicionado para facilitar a conexão da placa a uma ferramenta de diagnóstico CAN como o PeakCAN® ou o VECTOR®. Na Figura 61 é possível observar o resultado final da PCB do “CANHub” após os componentes soldados na placa.

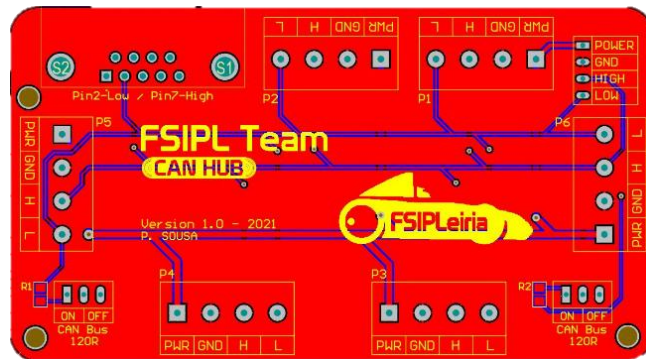


Figura 59 - Design Final da PCB do CANHub - 2D.

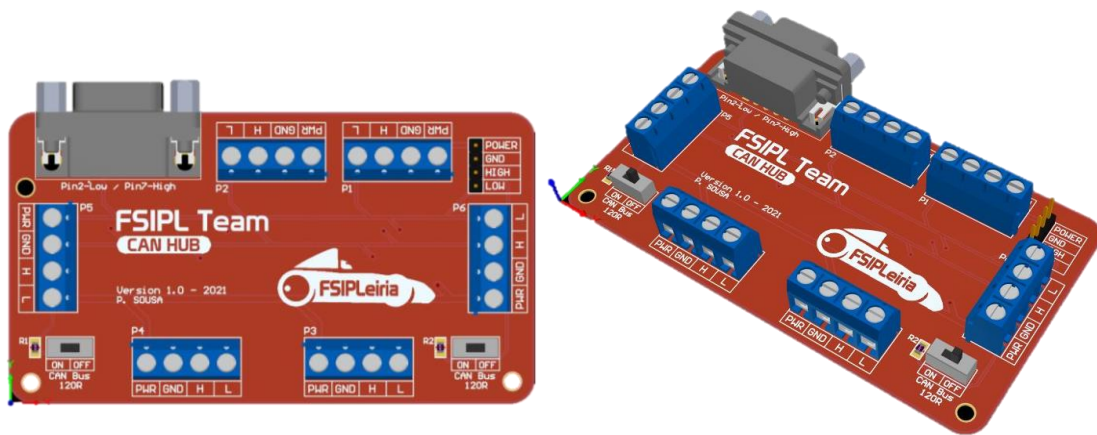


Figura 60 - Figura 40 - Design Final da PCB do CANHub - 3D.

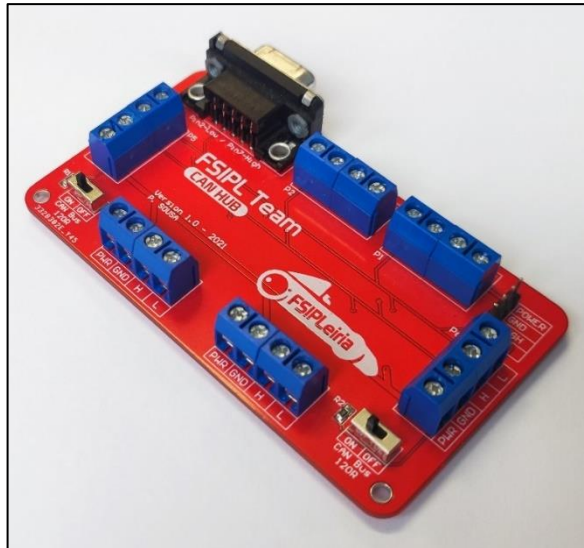


Figura 61 - Resultado Final da PCB do CANHub.

Para simular a unidade de comando do motor, foi adicionado ao barramento um módulo que simula a velocidade de rotação do motor, temperatura do líquido de refrigeração, pressão do óleo do motor entre outras variáveis pertinentes. Foi utilizado potenciômetros com o objetivo de ser possível modular o valor dos sinais enviados para o barramento CAN. Inicialmente no barramento de comunicação em bancada foram montados os seguintes módulos: o módulo de inércia, a luz de travagem, o módulo do *Datalogger* e o módulo da telemetria. O barramento de comunicação de bancada desenvolvido pode ser observado na Figura 62 onde se encontram todos os componentes e módulos montados. Na Figura 63 visualiza-se o barramento em funcionamento com a ferramenta de diagnóstico CAN conectada ao barramento a ler as mensagens presentes no mesmo.

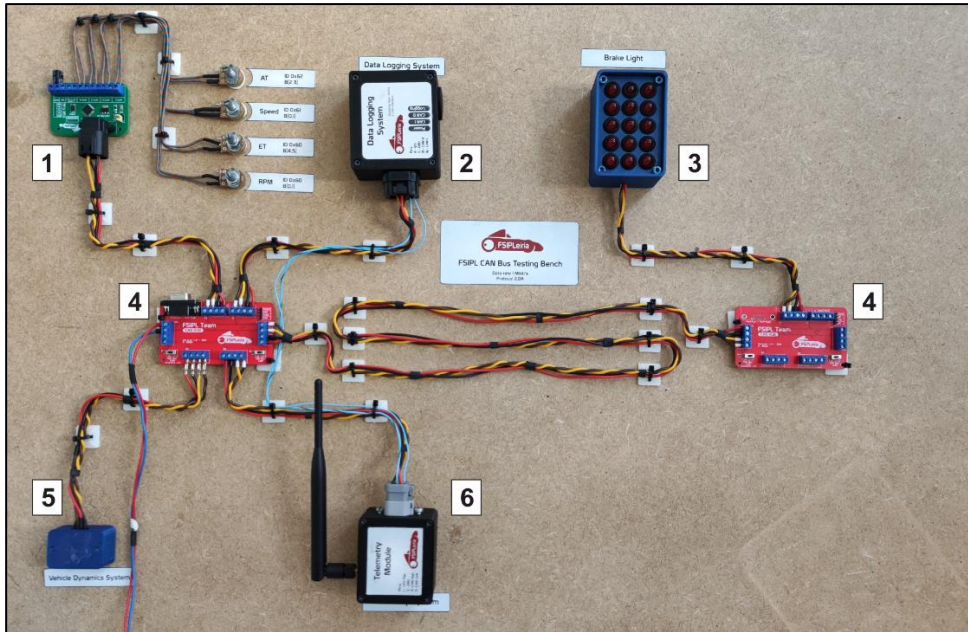


Figura 62 - Barramento de Comunicação CAN Montado em Bancada, 1 - Módulo a Simular a Unidade de Comando do Motor, 2 – Datalogger, 3 – Luz de STOP, 4 – Placa “CANHub”, 5 – Módulo de Inércia e 6 – Módulo de Telemetria .

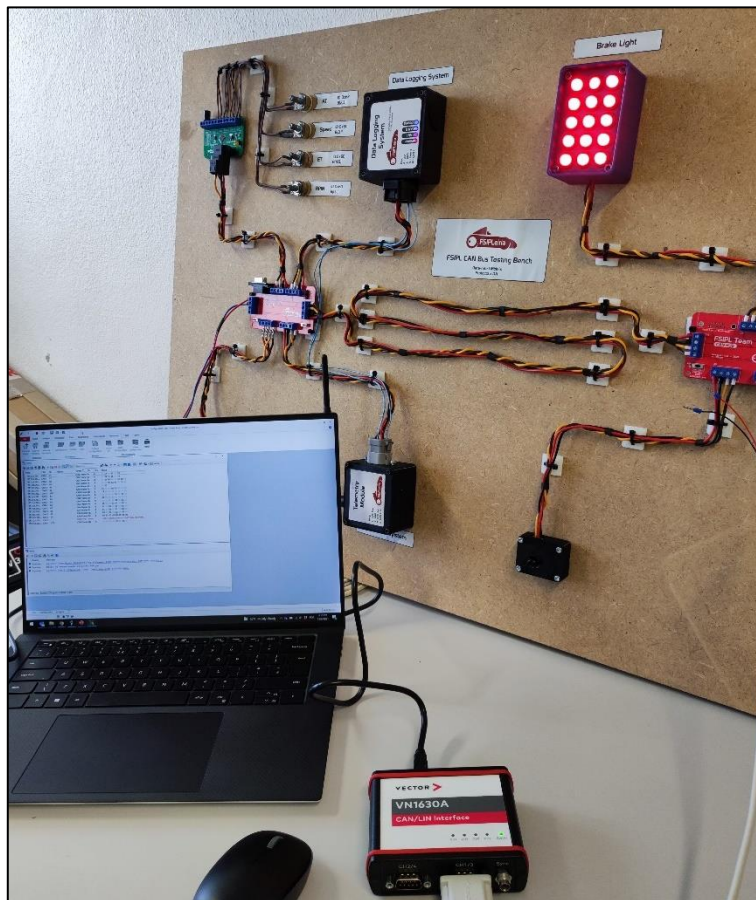


Figura 63 - Barramento de Comunicação CAN Montado em Bancada.

6. Conclusões

Este projeto teve como objetivo o desenvolvimento e construção de módulos eletrônicos para o veículo de competição *Formula Student* e, adicionalmente, sistemas embebidos de suporte para otimizar e simplificar o processo de concepção de novos módulos eletrônicos por parte dos membros da equipa.

Na revisão bibliográfica foi possível efetuar uma pesquisa de mercado que permitiu compreender as tecnologias existentes. Perceber as características pretendidas para cada módulo a desenvolver os fatores diferenciadores entre si. Foram também estudados os protocolos de comunicação sem fios disponíveis para uso e as suas particularidades. Este estudo na sua globalidade foi uma base de referência durante o desenvolvimento dos módulos.

Os módulos eletrônicos desenvolvidos apresentam as características de acordo com as especificações necessárias para a utilização no veículo. O *Datalogger* apresenta a capacidade de gravar dados num cartão SD a uma frequência de 200Hz. Um sistema de proteção de dados, caso a tensão de alimentação do módulo seja inferior a 7.7V. Os dados podem ser adquiridos pela leitura de dois barramentos de comunicação CAN, 2 portas digitais e 4 portas analógicas.

O módulo sensor de posição da caixa de velocidade apresenta as dimensões de 56.4mm por 12.9mm, extremamente reduzidas para facilidade de aplicação. Consegue ler 7 entradas do tipo digital, processar a informação e escrever a informação num barramento CAN, com tempo de latência de 1.1ms. Para facilitar a programação e o interface com o utilizador, este módulo possui uma porta do tipo micro USB.

O sistema de telemetria desenvolvido necessita apenas de uma conexão a um barramento de comunicação CAN e a alimentação de 12V. Com estes dois requisitos consegue transmitir as variáveis de funcionamento do veículo para um recetor e apresentá-las num interface gráfico de 5 páginas. O sistema apresenta uma distância ótima de funcionamento, entre transmissor e recetor, de 217 metros.

Foram criados dois sistemas embebidos, para facilitar o desenvolvimento e teste de componentes pelos membros. Estes foram inspirados em placas desenvolvimento existentes no mercado, com o intuito de diminuir a curva de aprendizagem durante a sua utilização.

Foi implementada uma bancada de testes com um barramento de comunicação do tipo CAN, que emula o barramento de comunicação e os componentes presentes no

veículo. Para facilitar as conexões do barramento foi projetada uma PCB, que permitiu criar o barramento de comunicação pretendido. Com a utilização de duas PCBs denominadas de “CANHub” é possível ligar ao barramento até 10 módulos de sistemas eletrônicos, ligar ou desligar as resistências de fim de barramento e efetuar uma conexão rápida para ferramentas de diagnóstico *CAN*.

Os módulos desenvolvidos foram testados e aplicados no veículo, contribuindo para a sua otimização e fiabilidade essenciais para a participação do veículos em várias provas. Para este resultado também contribuíram os restantes sistemas eletrônicos presentes no veículo, desenvolvidos com base nos sistemas embebidos projetados e desenvolvidos neste projeto. Também foram importantes na aquisição de dados de funcionamento que permitiram a otimização e verificação dos trabalhos de projeto mecânico de estruturas, comportamento dinâmico, otimização do motor de combustão interna, entre outros. Assim, considera-se que o presente projeto teve uma contribuição extremamente positiva para o sucesso do veículo e dos trabalhos realizados no mesmo.

7. Trabalhos Futuros

Os módulos desenvolvidos neste trabalho apresentam uma primeira iteração no constante desenvolvimento e otimização dos mesmos. Após os testes efetuados foram apontados aspetos a melhorar nos módulos eletrónicos construídos. As propostas de melhoria mais relevantes a serem efetuadas nos trabalhos futuros, são as seguintes:

- Adicionar a funcionalidade de início de gravação de dados no *Datalogger* automático. Em vez do piloto solicitar o início de gravação de dados, o módulo no seu *firmware* pode ter incorporado uma condição que deteta motor de combustão interna em funcionamento e inicia automaticamente a gravação dos dados;
- Visto que ambos os módulos, *Datalogger* e telemetria, acedem ao barramento de comunicação do veículo para adquirirem os dados. O microcontrolador presente no *Datalogger* apresenta livre um barramento de comunicação série que pode ser utilizado. Seria pertinente analisar a viabilidade de incorporar os dois módulos num único. De facto, o transmissor de ondas rádio incorporado no módulo da telemetria precisa apenas para funcionar 3.3V de alimentação e um barramento de comunicação série, ambos recurso que o módulo do *Datalogger* possui. A fusão dos módulos num único, iria poupar espaço no veículo e libertar parcialmente recursos financeiros que anteriormente tinham sido alocados em componentes para o módulo da telemetria;
- Analisando o módulo do sensor de posição da caixa de velocidades, caso exista necessidade, é possível tornar o módulo mais compacto. Utilizando as resistências internas do microcontrolador ao invés das resistências externas para fazer o efeito *pull-up*. Dado que o código do módulo já se encontra numa fase madura, não será necessário incorporar uma porta micro *USB* e respetivo controlador para facilitar o carregamento de código múltiplas vezes. Como alternativa, poderá ser implementado um *header* com os pinos necessários para efetuar o carregamento de código esporadicamente. Poderão também serem feitos avanços com o fim de simplificar as conexões dos fios eléctricos conectados à placa provenientes do sensor de posição da caixa. Todas estas considerações referidas acima irão contribuir diretamente para a redução do tamanho da placa.

8. Bibliografia

- Alliance, D. (2022). *Fresnel Zone*. Obtido de <https://www.data-alliance.net/blog/fresnel-zone-key-for-long-range-wifi-links/>
- BlogSpot. (Fevereiro de 2021). #163 - *Magnetômetro*. Obtido de <http://potassio-40.blogspot.com/2021/02/163-magnetometro.html>
- BoschMotorsport. (2022). *Data Logger and Sensor Interface C80*. Obtido de https://www.bosch-motorsport.com/content/downloads/Raceparts/Resources/pdf/Data%20Sheet_245845387_Data_Logger_and_Sensor_Interface_C_80.pdf
- CAESystems. (2022). *Labview*. Obtido de <https://www.cae-systems.de/mieten/labview-schulung.html>
- Circuits, A. A. (2022). *Introduction to CAN (Controller Area Network)*. Obtido de <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-can-controller-area-network/>
- Copeto, D. R. (2009). *Automotive data acquisition system - FST*.
- CSSElectronics. (2022). *CANedge1*. Obtido de <https://www.csselectronics.com/products/can-logger-sd-canedge1>
- DAMSport. (2022). *MT-07 GearBox Sensor*. Obtido de <https://www.dam-sport.net/es/sensor-de-punto-muerto-oem-neutral-yamaha-mt-07-700-mt-07-700-a-115750.html>
- DictionaryFormula1. (2022). *Telemetry*. Obtido de <https://www.formula1-dictionary.net/telemetry.html>
- Digi. (2022). *Understanding the Zigbee Protocol*. Obtido de <https://www.digi.com/blog/post/2018/understanding-the-zigbee-3-0-protocol>
- Dynamcis, R. C. (2022). *DATA ACQUISITION*. Obtido de <http://racingcardynamics.com/data-acquisition-fundamentals/>
- Eetasia. (2022). *Critical Electronics in Formula 1 Race Cars*. Obtido de <https://www.eetasia.com/critical-electronics-in-formula-1-race-cars/>

ElectronicHub. (2022). *Wireless Communication: Introduction, Types and Applications*. Obtido de <https://www.electronicshub.org/wireless-communication-introduction-types-applications/>

Embarcados. (2022). *Barramento CAN entre Arduinos UNO*. Obtido de <https://embarcados.com.br/barramento-can-entre-arduinios-uno/>

EMnify. (2022). *Fourth Generation Cellular Networks Explained*. Obtido de <https://www.emnify.com/iot-glossary/4g>

Espressif. (2022). *ESP32-PICO-D4*. Obtido de https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-pico-d4_datasheet_en.pdf

EvansTuning. (2022). *Datalogging*. Obtido de <https://www.evans-tuning.com/datalogging-why-you-need-it-1>

FAE. (2022). *Gearbox Position Sensor*. Obtido de <http://www.fae.es/en/gearbox-position-sensor-1-260>

Freudenberg, J. A. (2008). *Controller Area Network (CAN)*.

FSIPLeia. (2022). *Formula Student Racing Team*. Obtido de <https://formula.ipleiria.pt/en/about/>

FSIPLeia. (s.d.). Arquivo FSIPLeia Dpt. Eletrónico.

FSIPLeia. (s.d.). Sponsor Book.

Fusionconnect. (2022). *What is 4G*. Obtido de <https://www.fusionconnect.com/blog/what-is-4g-network>

Germany, F. S. (2022). *formulastudent.de*. Obtido de <https://www.formulastudent.de/fsg/>

GoMuchFaster. (2022). *DATA LOGGER C 60*. Obtido de <https://www.gomuchfaster.com/products/bosch-data-logger-c-60>

GoogleMaps. (2022). *Autodromo Riccardo Paletti - Varano de' Melegari*. Obtido de <https://www.google.pt/maps/place/Autodromo+Riccardo+Paletti++Varano+de'+Melegari/@44.6803498,10.0182528,1031m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x47807c93f1e6a417:0x27ce5198ac87603d!8m2!3d44.6804122!4d10.0209522>

IndustrialGroup, C. (2022). *SRH280DP - CONTACTLESS ROTARY SENSOR - DUAL OUTPUT*. Obtido de <https://www.cw-industrialgroup.com/Products/Legacy-Products/Sensors/Contactless-Rotary-Position-Sensor-Dual-SRH280DP>

JavaPoint. (2022). *CAN (Controller Area Network) protocol*. Obtido de <https://www.javatpoint.com/can-protocol>

Kvaser. (2022). *CAN Protocol Tutorial*. Obtido de <https://www.kvaser.com/can-protocol-tutorial/>

MaximIntegrated. (2022). *MaximIntegrated*. Obtido de <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231M.pdf>

Microchip. (2022). *AT90CAN128 Datasheet*. Obtido de <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/DataSheets/7679S.pdf>

Microchip. (2022). *MCP2221A Datasheet*. Obtido de <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/APID/ProductDocuments/DataSheets/MCP2221A-Data-Sheet-20005565E.pdf>

Microchip. (2022). *MCP2562*. Obtido de <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/DataSheets/20005167C.pdf>

Microchip. (2022). *MCP6541 Datasheet*. Obtido de <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/APID/ProductDocuments/DataSheets/MCP6541OutputSubMicroampComparators20001696K.pdf>

Microchip. (2022). *MIC 5209*. Obtido de <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005720A.pdf>

Motec. (2022). *Motec L120*. Obtido de <https://www.motec.com.au/L120usb/L120usb-specifications/>

NasaDeepSpaceNetwork. (s.d.). *DSN - NASA Deep Space Network*. Obtido de https://en.wikipedia.org/wiki/NASA_Deep_Space_Network

NI. (2022). *What Is LabVIEW*. Obtido de <https://www.ni.com/pt-pt/shop/labview.html>

Onsemi. (2022). *BSS138 Datasheet*. Obtido de <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/bss138-d.pdf>

PIHER. (s.d.). *PSC-360*. Obtido de 2022: https://www.piher.net/sensors/index.php/component/virtuemart/?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=1&category_id=1

PJRC. (2022). *Teensy® 3.6 Development Board*. Obtido de <https://www.pjrc.com/store/teensy36.html>

Power, R. (2022). *R-78E series is a switching regulator module*. Obtido de <https://recom-power.com/pdf/Innoline/R-78E-1.0.pdf>

Sciencedirect. (2022). *Fresnel Diffraction*. Obtido de <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/fresnel-zone>

Sparkfun. (2022). *Bluetooth Basics*. Obtido de <https://learn.sparkfun.com/tutorials/bluetooth-basics>

Student, F. (2022). *IMECHE*. Obtido de <https://www.imeche.org/news/news-article/formula-student-returns-to-silverstone-21-25-july-2021>

Student, F. (s.d.). *Formula Student Rules 2022*.

Student, F. (s.d.). *IMECHE*. Obtido de <https://www.imeche.org/events/formula-student/team-information/rules>

TransTron. (2022). *Gear Position Sensor for Motorcycles*. Obtido de <https://www.transtron.com/en/products/gear.html>

TutorialsPoint. (2022). *Wireless LAN Protocols*. Obtido de <https://www.tutorialspoint.com/wireless-lan-protocols>

Variohm. (2022). *The Advantages of Hall Effect Sensors*. Obtido de <https://www.variohm.com/news-media/technical-blog-archive/-the-advantages-of-hall-effect-sensors>

Wikipedia. (2022). *BluetoothProtocols*. Obtido de https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Bluetooth_protocols

XBee/XBee-PRO. (2022). *XBee/XBee-PRO S2C 802.15.4*. Obtido de <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90001500.pdf>

ZigBeeNetGuru. (2022). *The ZigBee Protocol*. Obtido de <https://www.netguru.com/blog/the-zigbee-protocol>