

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Daniel Gustavo Schreiner

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE PLAUSIBILIDADE DO
SISTEMA DE FREIOS PARA FÓRMULA SAE**

Santa Maria, RS
2021

Daniel Gustavo Schreiner

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE PLAUSIBILIDADE DO SISTEMA
DE FREIOS PARA FÓRMULA SAE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Engenheiro de Controle e Automação.**

Orientador: Dr. Fernando Mariano Bayer

Santa Maria, RS
2021

Daniel Gustavo Schreiner

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE PLAUSIBILIDADE DO SISTEMA
DE FREIOS PARA FÓRMULA SAE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Engenheiro de Controle e Automação**.

Aprovado em 29 de novembro de 2021:

Fernando Mariano Bayer, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Claiton Moro Franchi, Dr. (UFSM)

Fábio Ecke Bisogno, Dr. (UFSM)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal de Santa Maria por todo ensino de excelência e infraestrutura prestada durante minha graduação.

Agradeço a minha família por tudo e pelo apoio enquanto estive em Santa Maria.

Agradeço a Franciele por toda atenção e carinho durante a graduação, incluindo neste trabalho.

Agradeço ao curso de Engenharia de Controle e Automação da UFSM e todo corpo docente que foram sempre sensacionais.

Agradeço meus colegas e amigos por toda parceria durante a graduação dentro e fora da sala de aula.

Agradeço os professores Fernando Bayer, Mario Martins e Roberto Hausen, por todo apoio e ensinamentos fora da sala de aula.

E por fim agradeço a Equipe FORMULA UFSM a qual tem esse trabalho dedicado, responsável por grande parte dos meus melhores momentos dentro da graduação.

RESUMO

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE PLAUSIBILIDADE DO SISTEMA DE FREIOS PARA FORMULA SAE

AUTOR: Daniel Gustavo Schreiner

ORIENTADOR: Fernando Mariano Bayer

Quando se trata de um protótipo do tipo Formula SAE, estes estão em constante evolução e modificações, sempre buscando o regulamento vigente como limitante de projeto. Ainda assim, muitas tecnologias podem ser empregadas nestes protótipos. Uma tecnologia importante para o desempenho do protótipo em pista é o uso de um acelerador eletrônico, deste modo, tem-se como objetivo geral da pesquisa desenvolver um dispositivo de plausibilidade do sistema de freio (*brake system plausibility device* – BSPD), o qual é um sistema obrigatoriamente solicitado pelo regulamento da SAE quando a equipe de Formula decide usar um acelerador eletrônico, garantindo a segurança nos testes e em competições do protótipo. Para tanto, a pesquisa foi dividida em quatro etapas, sendo: revisar e interpretar o regulamento vigente da competição a qual o protótipo é destinado; definir a ideia inicial do dispositivo em si; realizar as simulações eletrônicas do sistema, e por fim elaborar a modelagem da placa de circuito impresso e suas conexões. Como base teórica para o desenvolvimento da pesquisa utilizou-se do regulamento do ano 2021. Como resultado das simulações feitas, conclui-se que o projeto apresentou resultado dentro do que era esperado, com a metodologia utilizada para o desenvolvimento do dispositivo satisfatória e o mesmo pronto para ser fabricado no momento que a equipe decidir fazer uso de um acelerador eletrônico. Deste modo, conclui-se um ciclo de cinco anos na equipe FORMULA UFSM com o desenvolvimento de um material que pode contribuir para a constante melhoria da performance dos protótipos da equipe.

Palavras-chave: Formula SAE, BSPD, ETC, acelerador eletrônico.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A BRAKE SYSTEM PLAUSIBILITY DEVICE FOR FORMULA SAE

AUTHOR: Daniel Gustavo Schreiner

ADVISOR: Fernando Mariano Bayer

When it comes to a prototype of Formula SAE type, they are in constant evolution and modifications, always looking for the current regulation as the design limitation. Still, many technologies can be employed in these prototypes. An important technology for the performance of the prototype on the track is the use of an electronic throttle control, thus, the general objective of the research is to develop a brake system plausibility device (BSPD), which is a system obligatorily required by SAE regulations when the Formula team decides to use an electronic throttle control, ensuring safety in prototype tests and competitions. Therefore, the research was divided into 4 stages, namely: reviewing and interpreting the current rules of the competition to which the prototype is destined; define the initial idea of the device itself; perform the electronic simulations of the system, and finally develop the modeling of the printed circuit board and its connections. As a theoretical basis for the development of the research, the regulation of the year 2021 was used. As a result of the simulations carried out, it is concluded that the project presented a result within what was expected, with the methodology used for the development of the device satisfactory and the same ready to be manufactured the moment the team decides to use an electronic accelerator. Thus, a cycle of 5 years in the FORMULA UFSM team is concluded with the development of a material that can contribute to the constant improvement of the performance of the team's prototypes.

Keywords: Formula SAE, BSPD, ETC, electronic throttle control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 - ECU MOTEC M800.....	22
Figura 2-2 - Diagrama de funcionamento do Acelerômetro	23
Figura 2-3 - Acelerômetro AIM	24
Figura 2-4 - Curva de calibração acelerômetro AIM	25
Figura 2-5 - TPS Bosch	26
Figura 2-6 - Desenho interno do sensor TPS	26
Figura 2-7 - Corpo de borboleta mecânico	27
Figura 2-8 - Atuador de marcha lenta	28
Figura 2-9 - Corpo de borboleta eletrônico	28
Figura 2-10 - Partes internas do corpo de borboleta eletrônico	29
Figura 2-11 - Diagrama do AMP-OP	30
Figura 2-12 - Porta lógica AND	31
Figura 2-13 - Porta lógica OR	32
Figura 2-14 - Pinos do CI555.....	33
Figura 2-15 - Pinos do relé	34
Figura 2-16 – Relé	34
Figura 3-1 - Bancada de testes	35
Figura 3-2 - ECU Manager	38
Figura 3-3 - Setup de entrada de sensor na ECU	39
Figura 3-4 - Setup de entrada de sensor na ECU	39
Figura 3-5 - Setup de saídas auxiliares da ECU.....	40
Figura 3-6 - Calibração dos sensores do pedal	41
Figura 3-7 - Parâmetros do ETC	41
Figura 3-8 - Tabela de translação linear entre pedal e TBI	42
Figura 3-9 - Tabela de translação não linear entre pedal e TBI	42
Figura 3-10 - Tela de erros do software da MOTEC	43
Figura 3-11 - Circuito de alimentação Megasquirt	44
Figura 3-12 - Circuito de alimentação.....	45
Figura 3-13 - Circuito do relé de falta de alimentação	46
Figura 3-14 - Comparador do TPS	47
Figura 3-15 - Comparador do acelerômetro	48
Figura 3-16 - Comparador de tensão baixa	49

Figura 3-17 - Timer de 1s	50
Figura 3-18 - Bloqueio de sinal	51
Figura 3-19 - Diagrama de seqüência de funcionamento	52
Figura 3-20 Placa de circuito impresso - posição dos componentes	53
Figura 3-21 - Placa de circuito impresso - roteamento de trilhas	54
Figura 3-22 - Placa de circuito impresso - visualização 3D superior	55
Figura 3-23 - Placa de circuito impresso - visualização 3D	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Códigos de erro da ECU.....	19
Tabela 2 - Pinos da ECU MOTEC M800	36
Tabela 3 - Pinos do pedal do acelerador	37
Tabela 4 - Pinos da TBI	37
Tabela 5 - Tabela verdade do Relé	45
Tabela 6 - Tabela verdade do comparador do TPS	46
Tabela 7 - Tabela verdade do comparador do acelerômetro	47

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - Regulamento de ETC da FORMULA SAE	60
Anexo 2 - Notice of intent	65
Anexo 3 - Circuito eletrônico completo.....	66
Anexo 4 - Lista de materiais	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>3D</i>	3 Dimension
<i>APPS</i>	Accelerator Pedal Position Sensor
<i>BSE</i>	Brake System Encoder
<i>BSPD</i>	Brake System Plausibility Device
<i>CAN</i>	Control Area Network
<i>DBW</i>	Drive By Wire
<i>ECU</i>	Engine Control Unit
<i>ETC</i>	Electronic Throttle Control
<i>FMEA</i>	Failure Mode and Effect Analysis
<i>FSAE</i>	Formula SAE
<i>LIN</i>	Local Interconnect Network
<i>PWM</i>	Pulse Width Modulation
<i>MAF</i>	Mass Air Flow
<i>SAE</i>	Society Of Automotive Engineers
<i>SMD</i>	Surface Mounted Device
<i>TBI</i>	Throttle Body Injection
<i>TPS</i>	Throtle Position Sensor

SUMÁRIO

1 OBJETIVOS.....	16
1.1 OBJETIVO GERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 REVISÃO DO REGULAMENTO TÉCNICO	17
2.1.1 General design.....	17
2.1.2 Commercial ETC system.....	17
2.1.3 Documentation.....	18
2.1.4 Throttle position sensor – TPS.....	18
2.1.5 Accelerator pedal position Sensor – APPS	18
2.1.6 Brake system encoder – BSE	19
2.1.7 Plausibility checks.....	19
2.1.8 Brake system plausibility device – BSPD.....	20
2.2 COMPONENTES AUXILIARES DO ETC	21
2.2.1 ECU	21
2.2.2 Acelerômetro.....	23
2.2.3 TPS E APPS.....	25
2.2.4 Corpo de borboleta.....	27
2.2.4.1 Corpo de borboleta mecânico.....	27
2.2.4.2 Corpo de borboleta eletrônico	28
2.3 COMPONENTES DO BSPD.....	30
2.3.1 Amplificador operacional.....	30
2.3.2 Portas lógicas	31
2.3.2.1 Porta lógica AND	31
2.3.2.2 Porta lógica OR	31
2.3.3 Circuito integrado 555.....	32

2.3.4	Relé	33
3	Desenvolvimento do BSPD	35
3.1	ETC DA MOTEC	35
3.1.1	Bancada de testes	35
3.1.2	Configuração no software da ECU.....	37
3.2	CIRCUITO ELETRÔNICO	43
3.2.1	Alimentação	44
3.2.2	Relé de falta de alimentação.....	45
3.2.3	Comparador do TPS	46
3.2.4	Comparador do acelerômetro.....	47
3.2.5	Comparador de tensão baixa.....	48
3.2.6	Timer	49
3.2.7	Bloqueio de sinal	50
3.3	DIAGRAMA DE FUNCIONAMENTO COMPLETO.....	52
3.4	PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO (COMPONENTES).....	53
3.5	PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO (TRILHAS).....	54
3.6	PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO (VISUALIZAÇÃO 3D)	55
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
	ANEXO 1 - REGULAMENTO DE ETC DA FORMULA SAE	60
	ANEXO 2 - NOTICE OF INTENT	65
	ANEXO 3 - CIRCUITO ELETRÔNICO COMPLETO.....	66
	ANEXO 4 - LISTA DE MATERIAIS	67

INTRODUÇÃO

O projeto FORMULA UFSM, desenvolvido desde 2010 por alunos e professores da Universidade Federal de Santa Maria, tem por objetivo projetar e construir um protótipo de corrida estilo formula. Este desafio permite aos alunos ter contato com um ambiente que simula uma empresa, permitindo colocar em prática a teoria vista em aula.

Esta categoria está espalhada por universidades do mundo todo, as quais participam de diversas etapas em diferentes países durante o ano. Para participar destas, existem regulamentos a serem seguidos e estes acabam sendo muito rígidos, por se tratar de alunos projetando e pilotando veículos de alto desempenho. Este regulamento é focado primeiramente em segurança, incluindo alguns sistemas redundantes de proteção, e é neste ponto que este trabalho converge, se resumindo a um dispositivo de segurança para o sistema de acelerador eletrônico.

Este sistema de acelerador eletrônico traz diversas vantagens, tais como:

- Auxílio na partida do motor;
- Controle de marcha lenta do motor;
- Translação não linear entre o pedal e a borboleta do acelerador;
- Controle de tração e de largada.

Como pretende-se instalar este sistema de acelerador eletrônico no FORMULA UFSM num futuro próximo, se faz necessário realizar o desenvolvimento deste dispositivo que dá título ao trabalho.

O dispositivo a ser abordado neste trabalho é chamado de *Brake System Plausibility Device* (BSPD) ou “Dispositivo de Plausibilidade do Sistema de Freios” sendo uma exigência do regulamento quando se utiliza o sistema de acelerador eletrônico.

Este dispositivo tem como objetivo detectar algumas condições inseguras do sistema, tendo a capacidade de desligar o motor se esta condição ocorrer. As condições inseguras a serem monitoradas, e que devem gerar o desligamento do motor, são:

- Falta de energia na linha de alimentação;
- Sensor do acelerador fora da faixa de trabalho;
- Acelerômetro fora da faixa de trabalho;

- Desaceleração maior que 0,8g e pedal do acelerador maior que 10% por mais de 1 segundo.

O dispositivo em si, deve ser não programável, e contar com a leitura em tempo real de alguns sensores analógicos, que seriam o acelerômetro longitudinal e o sensor de posição da borboleta do acelerador eletrônico, assim como a variação destes sensores em um período, logo se qualquer uma das condições de desligamento for acionada o sistema deve gerar uma falha para o desligamento do motor, sendo este desligamento através do corte do fluxo de combustível, da alimentação do corpo de combustível e retorno da borboleta para a posição de repouso. Estas três ações, quem realiza é a própria central de controle do motor, mas para isso ocorrer deve ser gerado um erro no controle do acelerador eletrônico, assim o *BSPD* permite ou não a passagem de um dos sinais de sensor de posição da borboleta para então gerar um erro no sistema e este entrar em modo de segurança desligando o motor.

1 OBJETIVOS

Neste capítulo serão apresentados os objetivos que se pretende atingir ao final do trabalho.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema de plausibilidade de freio, conforme exigências do regulamento da competição Formula SAE.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar e interpretar o regulamento da competição a qual se destina o protótipo;
- Definir os requisitos do dispositivo de plausibilidade do sistema de freio;
- Realizar as simulações eletrônicas do dispositivo;
- Desenvolver o layout da placa de circuito impresso do sistema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica necessária para a execução do trabalho. Nela são descritos o regulamento da competição, fundamental para a realização do dispositivo de plausibilidade do sistema de freios, bem como a descrição dos componentes auxiliares do ETC - *Electronic Throttle Control* - e os componentes do *BSPD*.

2.1 REVISÃO DO REGULAMENTO TÉCNICO

A cada nova temporada é disponibilizado um regulamento, o qual irá definir regras para as equipes que participam das competições de FORMULA SAE. O regulamento que será utilizado como base para as definições de premissas de projeto, é o FORMULA SAE RULES 2021, dentro deste regulamento existe o item “*IC.4 Electronic Throttle Control*”, que pode ser observado em sua versão original no Anexo 1, o qual aborda todos os itens obrigatórios do trabalho, que serão apresentados em seguida.

2.1.1 General design

Este item específico do regulamento é destinado ao uso de ETC. A seguir é apresentado um resumo deste item e seus subitens, a fim de facilitar a leitura e compreensão do mesmo.

Inicialmente são apresentados alguns requisitos técnicos mecânicos do sistema, como: o acelerador deve voltar para a posição de marcha lenta quando sua energia é removida, o acelerador deve possuir duas fontes capazes de retornar o sistema para marcha lenta - uma delas pode ser o próprio motor que controla a borboleta eletrônica, o qual compõe o sistema, e a outra uma mola de retorno - ambas serão utilizadas neste trabalho.

2.1.2 Commercial ETC system

Este item do regulamento diz respeito ao uso de controladores eletrônicos de borboleta comerciais, para isso deve ser apresentada a documentação de como o sistema funciona e dados técnicos gerais do sistema em si. O sistema que será usado neste trabalho é o ETC da marca australiana MOTEC, empresa fabricante de

gerenciadores eletrônicos de motores a combustão, a qual dentro do modelo de ECU (*engine control unit*) utilizado pela equipe já possui funções específicas para este fim.

2.1.3 Documentation

Em relação à documentação necessária, dois são os documentos solicitados pela organização do evento, anteriormente a competição.

Na data divulgada, deve-se enviar uma notificação de intenção de que você irá utilizar um ETC, nesta devem estar listados quais componentes mecânicos e eletrônicos comerciais serão utilizados e se existe algum sistema customizado. Posteriormente a aprovação de sua notificação de intenção, deve-se enviar um FMEA - *Failure Mode and Effect Analysis*, que avalia todas possíveis falhas do sistema ETC, incluindo seus acessórios, como BSPD e sensores. Este documento também é enviado anteriormente à data do evento e este será conferido juntamente com a equipe na inspeção técnica e serão realizados alguns testes de segurança.

Uma cópia da notificação de intenção pode ser observada no Anexo 2 deste trabalho.

2.1.4 Throttle position sensor – TPS

TPS, conhecido como sensor de posição da borboleta, deve ser usado duas ou mais unidades deste para conferir a posição da borboleta. Estes podem compartilhar a mesma alimentação, mas devem possuir conectores individuais, um para cada sensor, a fim de serem desconectados durante a inspeção técnica e conferir o funcionamento do modo de segurança da ECU que os lê e controla o ETC. Os sinais brutos do TPS também devem ser enviados diretamente para a ECU, via fios, sem nenhum tipo de retransmissão por outra linha, como comunicação CAN, LIN, etc.

2.1.5 Accelerator pedal position Sensor – APPS

Pode-se dizer que este sensor é exatamente igual ao TPS, a única diferença entre eles é o local de medição, enquanto o TPS lê a posição da borboleta, localizada no corpo de borboleta na admissão de ar do motor, o APPS é localizado

no pedal do acelerador, na frente do carro junto aos pés do piloto, a função deles, é ler justamente a posição do pedal e informar a ECU qual posição de borboleta o piloto deseja de acordo com a posição do pedal. 100% de acionamento do pedal do acelerador, não significa que a borboleta irá abrir 100%, isso irá depender da estratégia programada dentro da ECU, onde, por exemplo, 50% do pedal do acelerador já pode ser 100% de abertura da borboleta e vice versa, isso se dá de acordo com a tabela de translação, que será abordada no tópico 3.1.2. Um pedal de acelerador comercial pode ser utilizado caso seja de interesse da equipe.

2.1.6 Brake system encoder – BSE

Este requisito é análogo ao anterior, só que agora serve para medir a posição do pedal de freio.

2.1.7 Plausibility checks

Existe uma lista de testes de plausibilidade, os quais a ECU fica realizando a todo o momento, a fim de verificar se há um problema mecânico ou elétrico no sistema, na Tabela 1 seguem os Códigos de erro da ECU, a descrição e a sua respectiva causa.

Tabela 1 - Códigos de erro da ECU

Código de erro	Descrição	Causa
DBW Err	Combinação de todos os erros.	Um número de configurações e parâmetros estão causando múltiplos erros
DBW TPx	Um dos dois TPS realizou uma contagem acima do limite superior ou menos que o limite inferior.	Um dos dois sensores saiu da janela de leitura que foi configurada
DBW TPDx	Um dos dois APPS realizou uma contagem acima do limite superior ou menos que o limite inferior.	Um dos dois sensores saiu da janela de leitura que foi configurada
DBW TPT	Os sensores TPS, não estão coerentes entre si, havendo uma diferença de mais de 20% em 400 ms.	Diferença entre TPS1 e TPS2 é maior que 20% em 400 ms.
DBW TPDT	Os sensores APPS, não estão coerentes entre si, havendo	Diferença entre APPS1 e APPS2 é maior que 10%

	uma diferença de mais de 10% em 400 ms.	em 400 ms.
DBW SP	Controle de malha fechada em erro. Ocorre com uma diferença entre TPS e APPS é maior que 20% em 800 ms.	Controle do motor falhou ou motor danificado.
DBW SUP	Os sensores APPS estão utilizando a mesma alimentação	O instalador utilizou a mesma alimentação para os dois sensores APPS.

Elaboração: Autor.

2.1.8 Brake system plausibility device – BSPD

Este dispositivo é o foco deste trabalho, muitos requisitos de funcionamento deste sistema são descritos neste item, os quais serão todos listados abaixo em formato de tradução literal do regulamento.

- **IC.4.8.1** Um circuito não programável deve ser usado para monitorar o controle de borboleta eletrônica. O BSPD deve ser fornecido, além das verificações de plausibilidade no ETC, que interpretam a solicitação do acelerador do piloto e controlam a posição do acelerador do motor.
- **IC.4.8.2** Os sinais de quaisquer sensores devem ser enviados diretamente para o BSPD. As saídas de outros módulos não podem ser usadas no lugar dos sinais brutos dos sensores.
- **IC.4.8.3** O BSD deve monitorar as seguintes condições:
 - a) Ambos os seguintes por mais de um segundo:
 - Frenagem brusca (exemplo: desaceleração > 0,8 g);
 - Borboleta superior a 10% aberta.
 - b) perda de sinal do(s) sensor(es) de frenagem;
 - c) perda de sinal do sensor de acelerador;
 - d) Remoção de energia do circuito BSPD
- **IC.4.8.4** Quando qualquer uma das condições acima existir, o BSPD deve:
 - Desligue a energia do acelerador eletrônico
 - Desligue o fluxo de combustível
 - Feche o acelerador para a posição de marcha lenta
- **IC.4.8.5** O BSPD só deve ser reiniciado desligando e ligando o interruptor mestre primário IC.8.4.3

- **IC.4.8.6** O BSPD não deve ser reiniciado quando o Interruptor Mestre do *Cockpit* IC.8.4.4 está OFF.
- **IC.4.8.7** Os sinais e função do BSPD devem ser passíveis de verificação durante a Inspeção Técnica através dos seguintes itens:
 - a) Um conjunto separado de conectores destacáveis para quaisquer sinais do(s) sensor(es) de frenagem, sensor(es) de aceleração e remoção de energia apenas para o dispositivo BSPD.
 - b) Uma caixa de interrupção comutável em linha disponível que permite a desconexão do(s) sensor(es) de freio(s), sensor(es) de aceleração individualmente e alimentação apenas para o dispositivo BSPD.

2.2 COMPONENTES AUXILIARES DO ETC

Para o funcionamento do ETC e BSPD, alguns componentes auxiliares devem estar presentes. São eles: ECU; Acelerômetro; TPS e APPS; e Corpo de borboleta, ambos descritos a seguir.

2.2.1 ECU

A *Engine control unit* (ECU) é o controlador central e o coração do sistema de gerenciamento do motor. Ele controla o suprimento de combustível, gerenciamento de ar, injeção de combustível e ignição. Devido à escalabilidade de seu desempenho, a unidade de controle também é capaz de controlar o sistema de escapamento, bem como de integrar as funções da transmissão e do veículo.

A ECU gerencia todos os tipos de trem de força e topologias, como gasolina, diesel, GNV, etanol, sistema híbrido e célula de combustível.

A unidade de controle do motor gerencia todos os requisitos do motor, prioriza e, em seguida, os implementa. Exemplos de requisitos incluem a posição do pedal do acelerador e os requisitos do sistema de escapamento para a composição da mistura.

O torque serve como o principal critério para a implementação de todos os requisitos. A relação ar-combustível é regulada de modo que o torque seja fornecido o mais eficiente possível. Além das funções relevantes para a combustão, a unidade de controle eletrônico inclui funções de segurança, proteção e diagnóstico (BOSCH, 2021).

A ECU utilizada no projeto é a M800 (Figura 2-1), produzida pela empresa Australiana MOTEC. Esta ECU é focada em motores de competição, desde projetos terrestres como carros e motos até projetos aquáticos como barcos e jet-skis, ela já possui uma função para o uso de acelerador eletrônico, chamada de “*Drive by Wire*”, além de inúmeras outras funções de controle de sistemas de tração em geral.

Figura 2-1 - ECU MOTEC M800



Fonte: MoTeC (2021).

Esta ECU é utilizada pela equipe desde 2012, a qual vem sendo cada vez mais bem empregada na totalidade de suas funções. O funcionamento de uma ECU se deve basicamente a um conjunto de entrada de sinais, os quais ela processa e envia um conjunto de sinais de saída.

As entradas podem ser desde um botão no painel a um conjunto de sensores, como:

- Sensor de temperatura (água, ar, óleo);
- Sensor de pressão (óleo, ar, turbo, freio);
- Sensor de posição (pedal, borboleta).

As saídas podem ser desde um LED de sinalização no painel a um conjunto de atuadores, como:

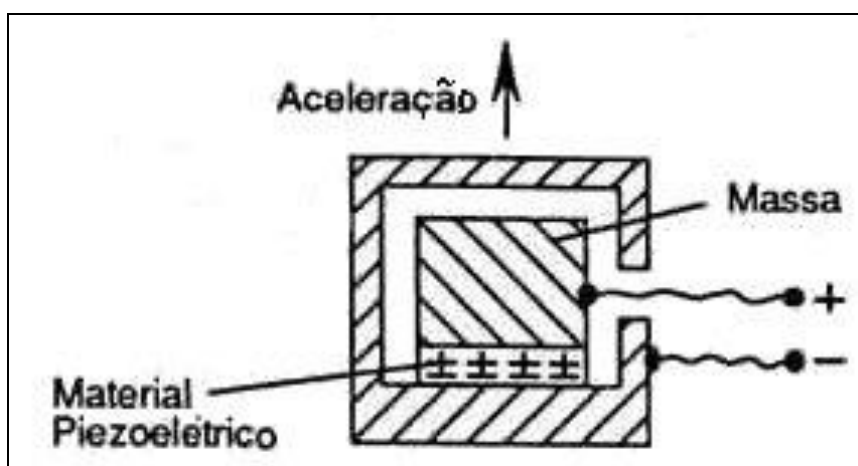
- Bico injetor;

- Bobina de ignição;
- Relés;
- Borboleta eletrônica;
- Atuador de marcha lenta;
- Atuador de comando de válvulas variável.

2.2.2 Acelerômetro

A Figura 2-2 ilustra de forma esquemática o funcionamento desse tipo de acelerômetro. Uma caixa metálica contém uma massa, também metálica, colocada sobre uma lâmina do material piezoelétrico. Esta, por sua vez, está fixada ao fundo da caixa.

Figura 2-2 - Diagrama de funcionamento do Acelerômetro



Fonte: SEARA-UFC (2021).

Se a caixa estiver em repouso, o material piezoelétrico suporta o peso da massa e sofre uma compressão que resulta em uma voltagem nos terminais vistos à direita da imagem (+ e -). Essa tensão pode ser medida com um milivoltímetro.

Se a caixa for acelerada para cima, como mostra a figura, a compressão do material piezoelétrico aumenta e a voltagem de saída se eleva proporcionalmente à aceleração. Se a aceleração for para baixo, a compressão do material é aliviada e a voltagem de saída é diminuída. Desse modo, obtém-se uma voltagem nos terminais que deve ser proporcional à aceleração da caixa (SEARA-UFC, 2021).

O acelerômetro é um dispositivo utilizado para medir a aceleração de um corpo no qual ele está instalado, geralmente convertendo uma energia mecânica em um sinal elétrico que pode ser medido, tipicamente sendo uma proporção de tensão em Volts para aceleração em G. O acelerômetro utilizado para o projeto é o “AIM SPORTS – EXTERNAL SINGLE AXIS ACCELEROMETER”, da marca AIM (Figura 2-3), que produz diversos equipamentos para *motorsports*.

Figura 2-3 - Acelerômetro AIM

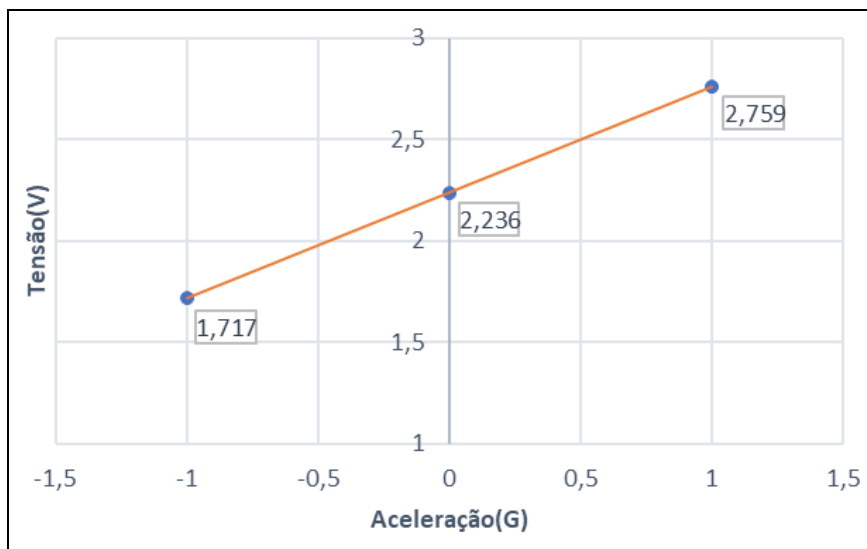


Fonte: ME-MO-TEC (2021).

Este é um acelerômetro uniaxial alimentado com 5V e com uma saída de 0 a 5v dependendo da sua leitura, conforme a curva de calibração da Figura 2-4. Por se tratar de um sensor uniaxial a sua posição no protótipo deve ser definido como acelerômetro longitudinal ou lateral.

Para o acelerômetro ler a desaceleração do protótipo em freadas, deve ser posicionado longitudinalmente. Além disso, este sensor consegue fazer leituras de +- 5G a uma temperatura de trabalho entre 0°C e 70°C.

Figura 2-4 - Curva de calibração acelerômetro AIM



Fonte: Autor.

2.2.3 TPS E APPS

O funcionamento e construção de um sensor de posição da borboleta (TPS) e um sensor de posição do pedal (APPS) são idênticos, a única diferença é a posição de instalação deles no veículo.

A função de um sensor de posição é justamente informar a ECU em qual posição/ângulo o dispositivo se encontra. Ambos são dispositivos que enviam um sinal de tensão que depende desta angulação, o caso do APPS, através dele a ECU sabe se o condutor do veículo está acelerando e o quanto ele está acelerando, geralmente apenas veículos com acelerador eletrônico possuem APPS.

Já o TPS, praticamente todos os veículos equipados com injeção eletrônica possuem, este serve para a ECU saber se o corpo de borboleta se encontra na posição que ela mandou de acordo com a posição do pedal. Em veículos que não possuem acelerador eletrônico, o TPS (Figura 2-5) serve também para ver quanto o condutor está acelerando.

Figura 2-5 - TPS Bosch

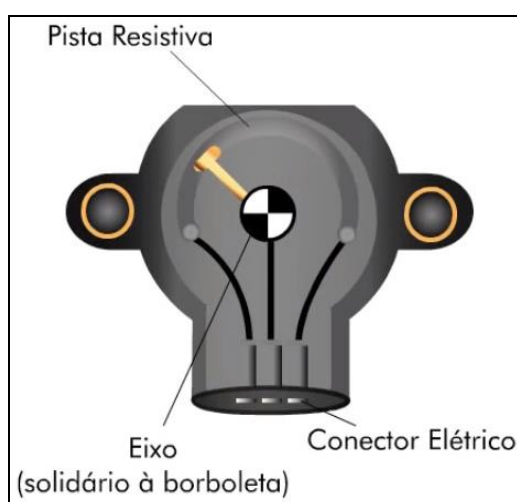


Fonte: BOSCH (2021).

O funcionamento de um TPS é análogo a um resistor de circuito eletrônico. O dispositivo possui uma pista resistiva, ligada a um polo positivo e negativo, um em cada lado, geralmente em formato de semicírculo, e possui no centro da pista um acoplamento com o eixo a ser medido a angulação, quando este eixo gira, ele também gira o contato, fazendo com que o contato ande sobre a pista. Desta maneira ele ou se aproxima mais do polo positivo da pista ou do polo negativo, e é através dessa variação da tensão no contato que é possível descobrir com precisão o ângulo do eixo.

Figura 2-6 pode ser observado o funcionamento interno do sensor.

Figura 2-6 - Desenho interno do sensor TPS



Fonte: Adaptado de CANAL DA PEÇA (2021).

2.2.4 Corpo de borboleta

2.2.4.1 Corpo de borboleta mecânico

Throttle body, mais conhecido como corpo de borboleta (Figura 2-7), é um mecanismo composto por um disco, chamado de borboleta, este fica acoplado a um eixo, tudo isso no centro de um tubo/corpo por onde passa o ar que entra no motor. Na ponta desse eixo existe uma polia, na qual é ligado um cabo de aço do pedal do acelerador, também mecânico, fazendo assim a borboleta abrir ou fechar de acordo com o quanto o cabo de aço é puxado. Por fim, esse mecanismo é responsável por controlar a quantidade de ar que entra no motor, controlando assim a aceleração do motor.

Figura 2-7 - Corpo de borboleta mecânico



Fonte: MIXAUTO (2021).

Alguns destes corpos de borboleta ainda possuem um acessório a mais para conseguir controlar a marcha lenta do motor, que é basicamente a rotação que o motor fica ligado em repouso, sem ninguém interferindo no seu normal funcionamento. Este acessório é conhecido então como “Atuador de marcha lenta” (Figura 2-8), geralmente controlado pela ECU através de uma válvula PWM, a qual permite passar ou bloquear o ar através de uma entrada paralela da borboleta.

Os sistemas mecânicos que não possuem este atuador possuem um parafuso no qual é apertado ou solto, movimentando a borboleta em si e fazendo ela abrir ou fechar, regulando assim o seu batente na hora que ela entra em repouso.

Figura 2-8 - Atuador de marcha lenta



Fonte: IGUAÇU AUTO PEÇAS (2021).

2.2.4.2 *Corpo de borboleta eletrônico*

O corpo de borboleta eletrônico (Figura 2-9) foi mais uma das grandes evoluções dos automóveis. Ele substituiu o carburador dos carros e ajudou no desempenho dos automóveis atuais.

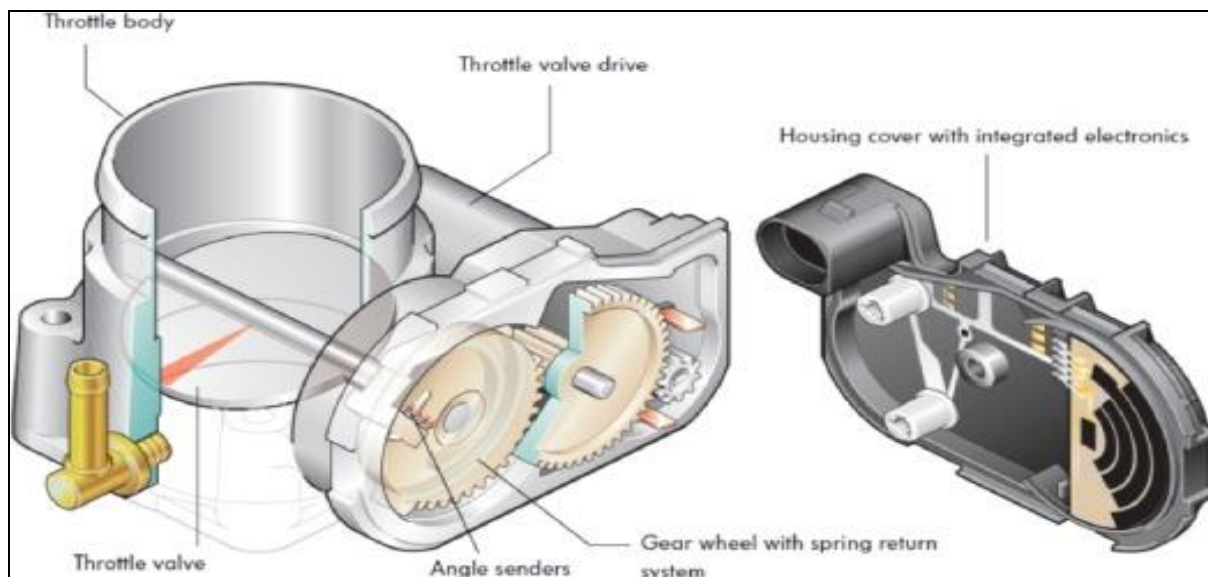
Figura 2-9 - Corpo de borboleta eletrônico



Fonte: ALTESE (2021).

O corpo de borboleta é o componente responsável pela admissão de ar, controlada eletronicamente nos veículos, de acordo com a aceleração do pedal (Figura 2-10).

Figura 2-10 - Partes internas do corpo de borboleta eletrônico



Fonte: SCIENCE DIRECT (2021).

Os primeiros corpos de borboleta funcionavam através do cabo do acelerador e do atuador de marcha lenta. O cabo do acelerador controlava a quantidade de ar que seria admitida e o sensor de posição da borboleta monitorava o ângulo de abertura da borboleta. Essa informação era enviada para a ECU que calculava a quantidade de combustível a ser injetada, baseada na quantidade de ar admitido. Enquanto o atuador de marcha lenta controla a abertura pelo motor de passo (*bypass*), por onde passa uma quantidade suficiente de ar, mesmo com o corpo de borboleta fechado.

Com as evoluções automotivas, o corpo de borboleta deixou de ser controlado pelo cabo do acelerador, ao invés disso, ele é controlado pela ECU, que também faz o controle da marcha lenta. No pedal do acelerador, há um potenciômetro que quando acionado, o potenciômetro envia uma resistência em PWM para a ECU. Ela por sua vez, mapeia e transforma essa resistência em tensão para a abertura do corpo de borboleta. A velocidade de ar admitido é controlada por diversos sensores do motor, como o sensor de fluxo de ar (MAF), sensor de temperatura do ar, entre outros, dos quais a sonda lambda é a mais importante. Ela

avisa para a ECU se a mistura ar + combustível está “rica” ou “pobre”. A ECU recebe essa informação e injeta a quantidade correta de combustível (MIXAUTO, 2021).

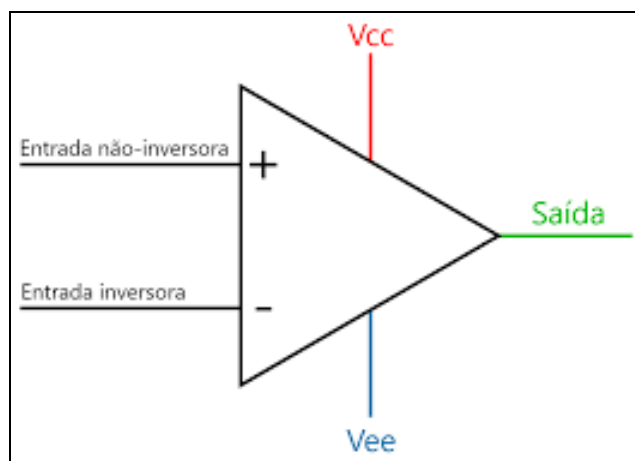
2.3 COMPONENTES DO BSPD

2.3.1 Amplificador operacional

Conhecido popularmente como AMP-OP, é basicamente um circuito integrado, o qual tem a capacidade de amplificar um sinal que nele entra e também possui a capacidade de realizar operações matemáticas como, por exemplo, multiplicação, subtração, soma, integração e derivação, por isso o termo “operacional”.

A estrutura básica de um AMP-OP são duas entradas, conhecidas como inversora e não-inversora, dois pinos de alimentação, um positivo e o outro negativo e um pino de saída conforme Figura 2-11.

Figura 2-11 - Diagrama do AMP-OP



Fonte: MUNDO PROJETADO (2021).

Internamente ele consiste em um conjunto de resistores, transistores e capacitores, a fim de que quando um sinal entra na entrada inversora ele inverte sua fase, e na não inversora ele mantém a fase do sinal, os amplificadores operacionais possuem diversas finalidades, a que será usada neste trabalho é na função de “COMPARADOR DE TENSÃO”, a qual será explicada no tópico 3.2.3

2.3.2 Portas lógicas

As portas lógicas existem em praticamente qualquer circuito digital e microcontrolado, elas são componentes eletrônicos que podem possuir uma ou mais entradas e apenas uma saída e o valor desta saída, que será binário, irá depender do tipo de porta lógica empregada e do valor das entradas.

Os tipos de porta lógica mais comuns são:

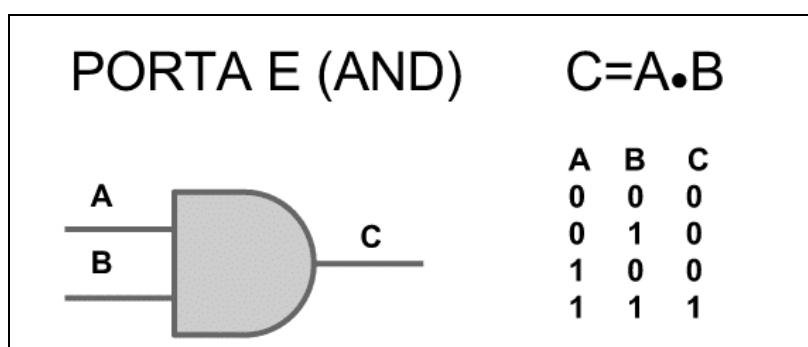
- E(AND);
- NÃO(NOT);
- OU(OR);
- NÃO E(NAND);
- NÃO OU(NOR).

São utilizados dois tipos de portas lógicas diferentes neste projeto, a porta AND e a porta OR.

2.3.2.1 Porta lógica AND

A porta AND pode ter duas ou mais entradas. O resultado da sua saída só será 1, quando todas as entradas forem 1. Qualquer diferença entre as entradas resultará em uma saída de valor 0, como pode ser visto na Figura 2-12.

Figura 2-12 - Porta lógica AND



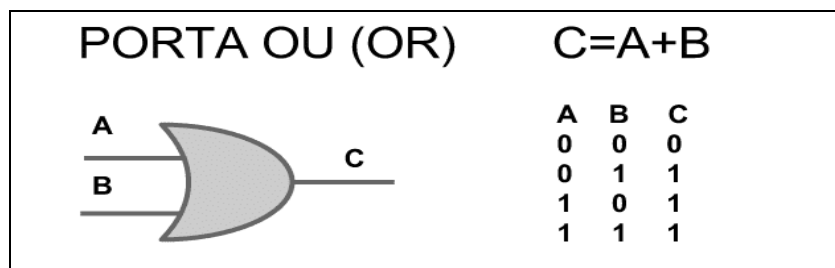
Fonte: EMBARCADOS (2021).

2.3.2.2 Porta lógica OR

A porta OR pode ter duas ou mais entradas, o resultado da sua saída só será zero quando todas as entradas forem zero. Qualquer valor diferente de zero em pelo

menos uma das entradas resultará em uma saída 1, como pode ser visto na Figura 2-13.

Figura 2-13 - Porta lógica OR



Fonte: EMBARCADOS (2021).

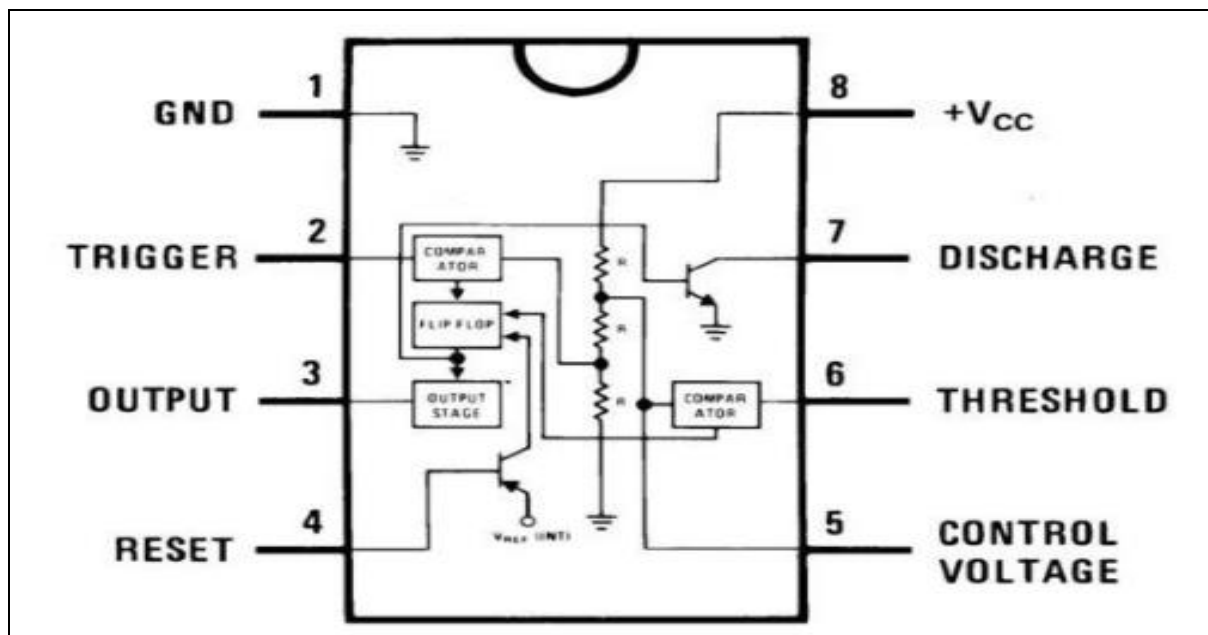
2.3.3 Circuito integrado 555

O CI 555 é um Circuito Integrado que foi desenvolvido originalmente para servir como um oscilador e *timer* com um uso geral. Ele foi criado pelo engenheiro Hans Camenzind, em 1970, e mesmo passados 50 anos da sua criação, pouco se mudou na composição deste circuito.

Existem teorias dizendo que a sua identificação como 555 é feita por causa do divisor de tensão interno que ele possui, o qual tem três resistores com 5.000 Ohms cada. Devido à grande versatilidade deste componente, foram e ainda são criadas incontáveis aplicações para o mesmo (MATTEDE, 2021).

O CI 555 é um dos mais empregados em circuitos eletrônicos, este se trata de um oscilador e *timer*. É muito versátil podendo criar desde um simples *clock*, *timer*, até um controle PWM de carga. Neste trabalho ele será usado como um simples *timer*, no qual dependendo dos valores de outros componentes eletrônicos acoplados a ele, é possível determinar um certo tempo que inicia contagem através do pino *TRIGGER* e aciona o pino de saída (*OUTPUT*) ao final desta contagem de tempo, sua pinagem pode ser vista na Figura 2-14.

Figura 2-14 - Pinos do CI555



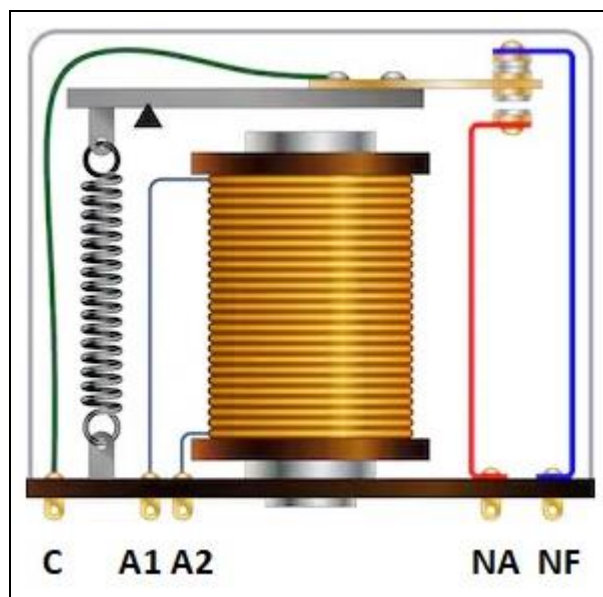
Fonte: AUTOCORE ROBÓTICA (2021).

2.3.4 Relé

Um relé é um dispositivo eletromecânico, este consiste em uma bobina e um contato mecânico, quando esta bobina (A1/A2) é energizada, ela fecha este contato mecânico, liberando a passagem da corrente do que estiver sendo interrompido por este contato.

A maioria dos relés possui na verdade um par de contatos, um chamado de Normalmente Fechado (NF) e um de Normalmente Aberto (NA) e mais um contato comum (C). Neste tipo de relé, quando a bobina é energizada, o contato NF abre com o pino comum e o contato NA se fecha com o pino comum, quando a bobina não está energizada, os contatos voltam para sua condição de repouso, como o nome do próprio contato informa, sua estrutura física pode ser observada na Figura 2-15 e na Figura 2-16.

Figura 2-15 - Pinos do relé



Fonte: APRENDENDO ELÉTRICA (2021).

Figura 2-16 – Relé



Fonte: FILIPEFLOP (2021).

3 DESENVOLVIMENTO DO BSPD

3.1 ETC DA MOTEC

3.1.1 Bancada de testes

Para dar início ao desenvolvimento do projeto, foi feita a montagem e configuração do sistema base, que seriam ECU, TBI e pedal. Para isso, desenvolveu-se uma bancada (Figura 3-1) onde todos os sistemas pudessem ser montados juntos, conectados então ao software de configuração e alimentados por uma bateria 12V de motocicleta.

Figura 3-1 - Bancada de testes



Fonte: Autor.

Nesta montagem se encontram a ECU Motec M800, um pedal de acelerador de um carro UNO FIRE 1.0, assim como a TBI também de UNO FIRE 1.0, os quais

foram apresentados anteriormente. Todos estes foram ligados conforme quadro de pinagem abaixo na Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4. Após tudo ligado, iniciou-se a configuração da função ETC dentro do software da Motec ECU Manager.

Tabela 2 - Pinos da ECU MOTEC M800

MAPA DE PINOS ECU MOTEC M800				
CONECTOR	PINO	NOME	FUNÇÃO	COMENTÁRIO
A	1	AUX 2	DC MOTOR -	
	2	5V ENG	5V ENG	TPS e APPS
	9	5V Aux Power	5V AUX POWER	ACCEL e BRK
	10	GND	GND	Bateria -
	11	GND	GND	Bateria -
	13	8V AUX POWER	8V AUX POWER	8V módulo CAN
	14	AV1	TPS1	Sinal
	15	AV2	TPS2	Sinal
	16	AV3	APPS1	Sinal
	17	AV4	APPS2	Sinal
	18	AUX1	DC MOTOR +	
	25	AV5	ACCEL	Sinal
	26	12V	12V+	Bateria+
B	14	0V Comms	0V CAN/GPS	0v módulo CAN
	15	0V AUX POWER	0V AUX POWER	ACCEL e BRK
	16	0V ENG	0V ENG	TPS e APPS
	20	AV6	BRAKE PRESS	Sinal
	23	CAN HI	CAN HIGH	
	24	CAN LO	CAN LOW	

Fonte: Autor.

Tabela 3 - Pinos do pedal do acelerador

PINOS DO PEDAL	
PINO	FUNÇÃO
1	5V ENG
2	5V AUX
3	APPS 2
4	0V ENG
5	0V AUX
6	APPS 1

Fonte: Autor.

Tabela 4 - Pinos da TBI

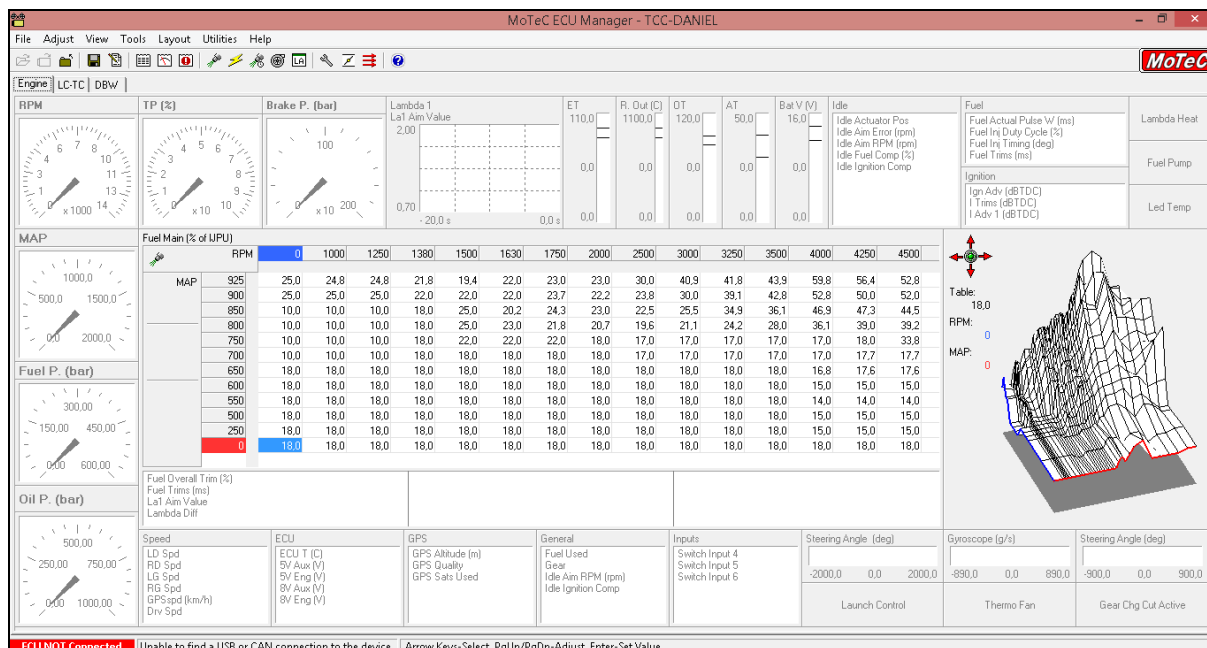
PINOS DA TBI	
PINO	FUNÇÃO
1	TPS 2
2	5V ENG
3	DC MOTOR +
4	TPS 1
5	DC MOTOR -
6	0V ENG

Fonte: Autor.

3.1.2 Configuração no software da ECU

O software de configuração utilizado foi o fornecido pela própria fabricante da ECU, este denominado MOTEC ECU MANAGER (Figura 3-2), o qual permite realizar todas as configurações da ECU *offline* e depois realizar o *upload* para ECU e também alterações online com a ECU conectada.

Figura 3-2 - ECU Manager



Fonte: Autor.

O primeiro passo então foi configurar as entradas na ECU (Figura 3-3). Neste sistema existem as seguintes entradas:

- TPS 1;
- TPS 2;
- APPS 1;
- APPS 2.

Figura 3-3 - Setup de entrada de sensor na ECU

Channel Name	Input	Calibration	Default	Diag Lo	Diag Hi	Filter	Warn Lo	Warn Hi
Throttle Position (TP)	AV1	#11 Throttle(%): Linear	20.0	<N/A>	<N/A>	1	<Off>	<Off>
Manifold Pressure (MAP)								
Inlet Air Temp (AT)								
Engine Temp (ET)								
Lambda 1 (La1)								
Lambda 2 (La2)								
Exhaust Man Pressure (EMAP)								
Mass Air Flow (MAF)								
Barometric Pressure (BAP)								
Fuel Temp (FT)								
Fuel Pressure (FP)								
Oil Temp (OT)								
Oil Pressure (OP)								

Buttons: Change... Delete... OK Cancel Help

Fonte: Autor.

Figura 3-4 - Setup de entrada de sensor na ECU

Channel Name	Input	Calibration	Default	Diag Lo	Diag Hi	Filter	Warn Lo	Warn Hi
Throttle Position 2 (TP2)	AV2	#11 Throttle(%): Linear	0.0	<N/A>	<N/A>	1	<Off>	<Off>
Throttle Pos Driver (TPD)	AV3	#11 Throttle(%): Linear	0.0	<N/A>	<N/A>	1	<Off>	<Off>
Throttle Pos Driver2 (TPD2)	AV4	#11 Throttle(%): Linear	0.0	<N/A>	<N/A>	1	<Off>	<Off>
DC Servo Pos (DCSvoP)								
Stepper Servo Pos (StSvoP)								

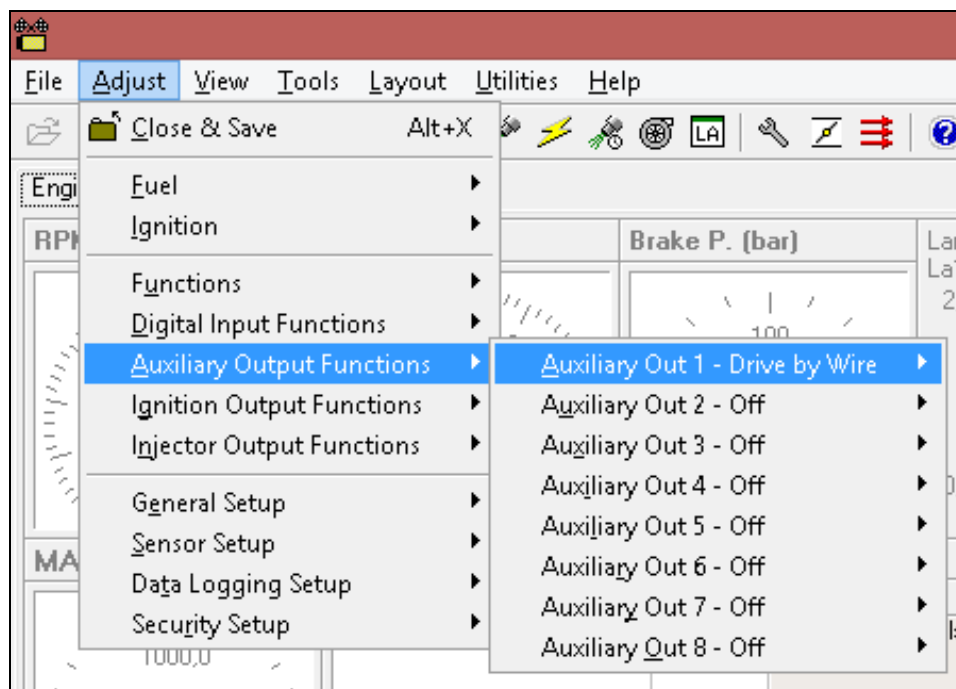
Buttons: Change... Delete... OK Cancel Help

Fonte: Autor.

Após as entradas dos sensores serem configuradas, inserimos as saídas do sistema, que nesse caso são apenas duas saídas, uma para o fio positivo do motor DC da TBI e uma para o fio negativo do motor DC da TBI, por ordem do fabricante,

estes dois fios devem ser inseridos nas duas primeiras saídas Aux1 e Aux2 da ECU conforme

Figura 3-5 - Setup de saídas auxiliares da ECU



Fonte: Autor.

Ainda na Figura 3-5 é possível observar que apenas a Aux 1 foi configurada como "Drive by Wire", pois a própria ECU reconhece que automaticamente a Aux 2 deve ser o fio negativo do motor DC, portanto ela deve ser configurada como OFF.

Agora devem ser calibrados os limites máximos e mínimos dos sensores. Para isso, existe uma janela específica para esta calibração, que primeiramente é desconectado um pino do motor DC para ele não funcionar e permitir a movimentação manual da borboleta, nesta janela mostrada na Figura 3-6. Throttle Pos e Driver Throttle, os quais respectivamente são TPS e APPS, para calibrar é necessário movimentar a borboleta da TBI para a posição completamente fechada e apertar a tecla "Enter" no Throttle Pos Closed e no Throttle Closed 2 que irá gravar a posição de 0% de abertura. Após este processo deve-se abrir a borboleta completamente e apertar a tecla "Enter" no Throttle Pos Open e no Throttle Open 2 que irá gravar a posição de 100% de abertura na TBI.

Figura 3-6 - Calibração dos sensores do pedal

Throttle Position			
Parameter		Value	Throttle Pos Closed TPLO
Throttle Pos Closed TPLO		* 91,3	Records the Throttle Position with the throttle fully closed Adjust by moving the throttle to the fully closed position then press the Enter key
Throttle Pos Open TPHI		* 6,3	
Throttle Pos 2 Closed		* 9,7	
Throttle Pos 2 Open		* 95,4	
Driver Throttle Closed		* 10,2	
Driver Throttle Open		* 45,1	
Driver Throttle 2 Closed		* 20,3	
Driver Throttle 2 Open		* 90,6	

Fonte: Autor.

Para fazer a calibração dos sensores APPS do pedal, é o mesmo processo, só que neste caso os itens que devem ser calibrados são os que iniciam com “Driver Throttle”.

Posteriormente, deve-se inserir os parâmetros de controle da TBI, estes parâmetros são fornecidos pela própria MOTEC, exceto os últimos 3 parâmetros que podem ser alterados dependendo do projeto no qual o sistema será aplicado conforme Figura 3-7.

Figura 3-7 - Parâmetros do ETC

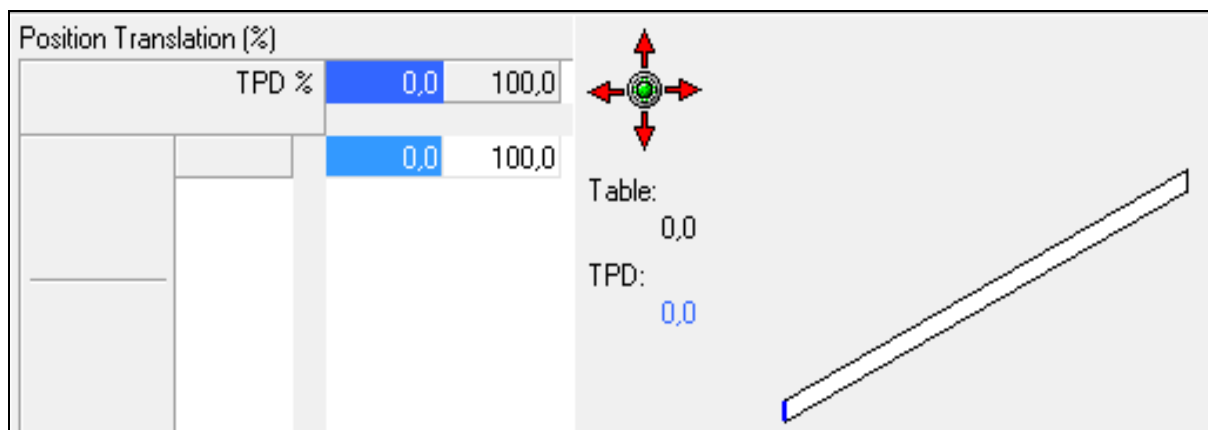
DBW	
Parameter	Value
Proportional Gain	120
Integral Gain	80
Derivative Gain	140
Period	1
Dead Band	0,3
Feed Forward	5
Negative Integral Clamp	-20,0
Frequency	8000
Motor Volts	12,00
Comp Method	0
Fail-safe RPM Limit	4000
Feedback Source	0

Fonte: Autor.

Por último a tabela de translação de posição deve ser criada. Nela que se define o comportamento do pedal em relação à abertura da borboleta. Na tabela

abaixo, 0% do pedal é 0% da borboleta, já o 100% do pedal é 100% da borboleta, configurando assim uma relação de 1 para 1, conforme Figura 3-8.

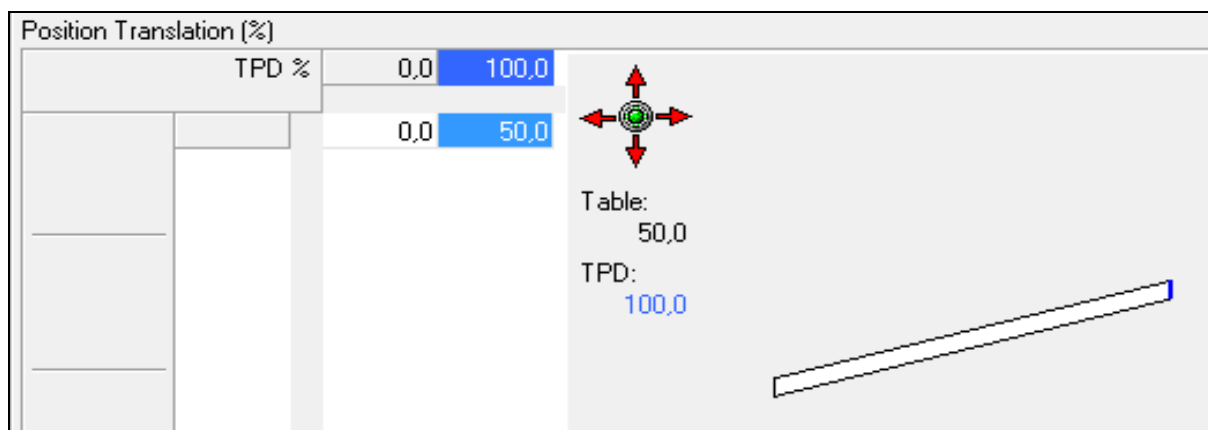
Figura 3-8 - Tabela de translação linear entre pedal e TBI



Fonte: Autor.

É possível também personalizar esta relação, como por exemplo, 100% do pedal é 50% da borboleta, como pode ser visto na Figura 3-9, assim como outras infinitas relações não necessariamente sempre lineares.

Figura 3-9 - Tabela de translação não linear entre pedal e TBI



Fonte: Autor.

Na Tabela 1 foram apresentadas diagnósticos de falhas que o sistema ETC pode resultar caso algo não esteja conforme o esperado, estes erros são mostrados na tela "View Screen, conforme Figura 3-10.

Figura 3-10 - Tela de erros do software da MOTEC

View Screen											
Sensors	Diagnostic Errors	Fuel	Ignition	Knock	Boost	Calculated	Status	Outputs	Internal	DBW4	GPS
Error Throttle Pos	Error	Error Exh Gas Temp 1	OK	Bat V	OK	Error REF Signal	OK				
Error TP 2	OK	Error Exh Gas Temp 2	OK	Lo Bat	OK	Error No REF Signal	OK				
Error TP Driver	OK	Error Exh Gas Temp 3	OK	DeltBat	OK	Error Ref Noise Ar	OK				
Error TP Driver2	OK	Error Exh Gas Temp 4	OK	DBW Err	Error	Error Ref Noise Tr	OK				
Error Manifold Pres	OK	Error Exh Gas Temp 5	OK	DBWTPx	Error	Error Ref Runt	OK				
Error Inlet Air Temp	OK	Error Exh Gas Temp 6	OK	DBWTPDx	OK	Error Ref Low Level	OK				
Error Engine Temp	OK	Error Exh Gas Temp 7	OK	DBW TPT	Error	Error Sync Signal	OK				
Error Lambda 1	OK	Error Exh Gas Temp 8	OK	DBWTPDT	OK	Error No Sync Signal	OK				
Error Lambda 2	OK	Error User Channel 1	OK	DBW SP	OK	Error Sync Noise Ar	OK				
Error Exh Man Pres	OK	Error User Channel 2	OK	DBWSUp	OK	Error Sync Noise Tr	OK				
Error Mass Air Flow	OK	Error User Channel 3	OK	DCSvoP	OK	Error Sync Runt	OK				
Error Baro Pressure	OK	Error User Channel 4	OK	DCSvoCo	OK	Error Sync Lo Level	OK				
Error Fuel Temp	OK	Error User Channel 5	OK	StSvoP	OK	Ref/Sync SynchroniseNotSYNCED					
Error Fuel Pressure	OK	Error User Channel 6	OK	StSvoCo	OK	Error Inj Max Duty	OK				
Error Oil Temp	OK	Error User Channel 7	OK	DvBoost	OK	Error Inj 1 Combined	OK				
Error Oil Pressure	OK	Error User Channel 8	OK	OverRPM	OK	Error Inj 2 Combined	OK				
Error Lateral G	OK	Error La1 Over Temp	OK	Reset	OK	Error Inj 3 Combined	OK				
Error Longitudinal G	OK	Error La2 Over Temp	OK	Memory	OK	Error Inj 4 Combined	OK				
Error Vertical G	OK	Error La1 Sen Ctrl	OK	StDMPCo	OK	Error Inj 5 Combined	OK				
Error Gear Sft Force	OK	Error La2 Sen Ctrl	OK	APV	OK	Error Inj 6 Combined	OK				
Error Slip Voltage	OK	Error No La1 Heater	OK			Error Inj 7 Combined	OK				
Error Gear Sen Volts	OK	Error No La2 Heater	OK			Error Inj 8 Combined	OK				
Error Knock Voltage	OK	Error ECU Temp	OK								

Fonte: Autor.

3.2 CIRCUITO ELETRÔNICO

Para o desenvolvimento do circuito eletrônico do BSPD, usou-se o software *Proteus Professional*, o qual permite também simulações eletrônicas e posteriormente o desenvolvimento de placas de circuito impresso além de gerar relatórios de falhas, lista de componentes, funções como auto roteamento de trilhas, capacidade de simulações SPICE, simulação de microcontroladores e por fim uma verificação 3D do layout da placa desenvolvida com seus respectivos componentes em vista tridimensional.

O circuito eletrônico como um todo, foi dividido em sub circuitos, que são eles:

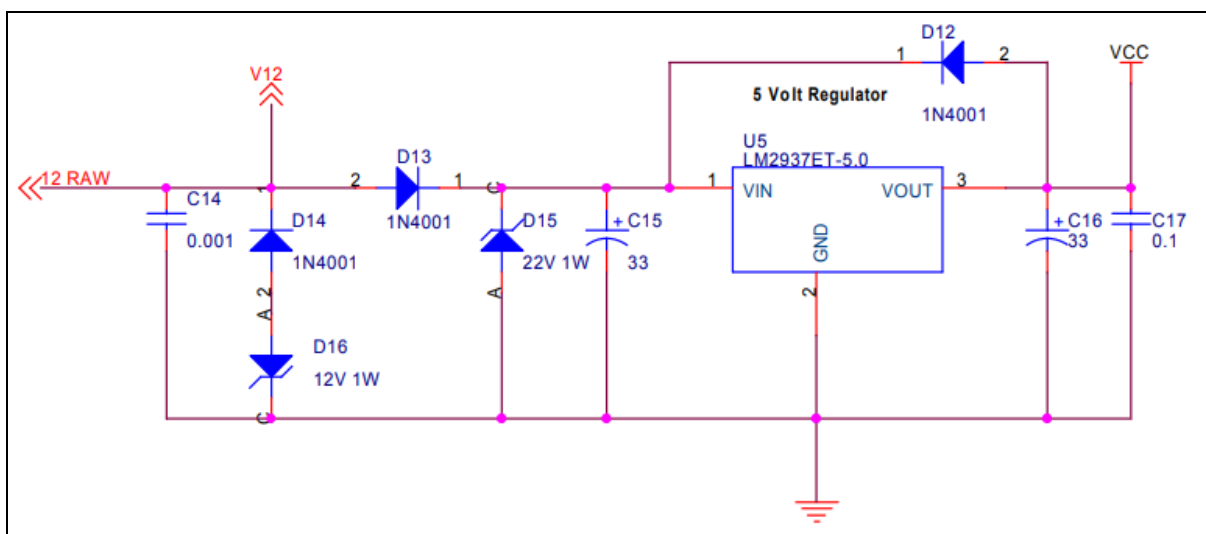
- Alimentação;
- Relé de falta de alimentação;
- Comparador do TPS;
- Comparador do Acelerômetro;
- Comparador de tensão baixa;
- Timer;
- Bloqueio de sinal.

3.2.1 Alimentação

O circuito de alimentação de um circuito embarcado automotivo não pode ser suscetível a ruídos e as variações de tensão da bateria que ocorrem muito, para isso, ele foi baseado na alimentação de outro sistema automotivo embarcado, a ECU Megasquirt, que tem o mesmo princípio de funcionamento da MOTEC, mas trata-se de um sistema *Open-source* onde seus circuitos podem ser encontrados facilmente na internet.

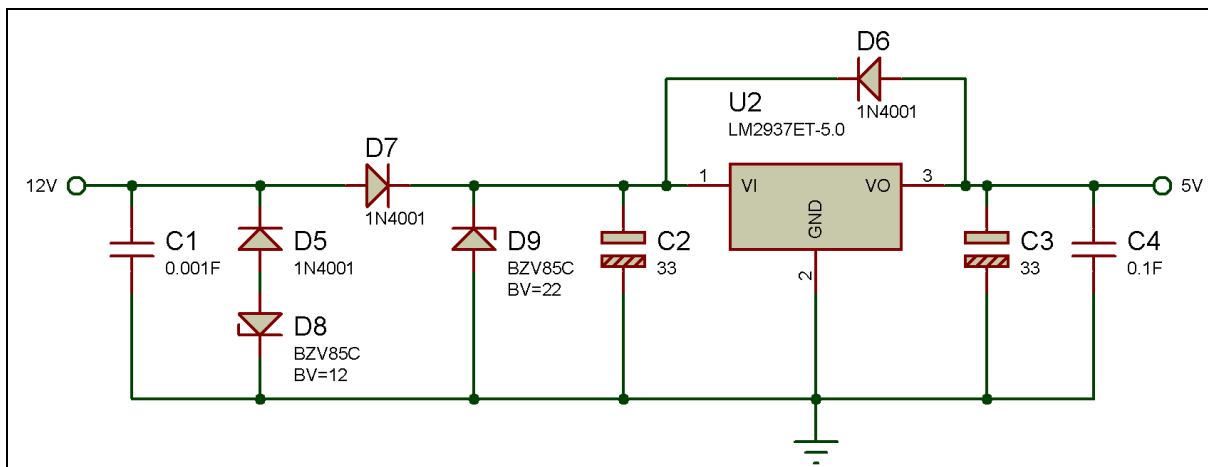
Na Figura 3-11 encontra-se o circuito de alimentação da Megasquirt e logo abaixo o circuito desenhado para a aplicação deste trabalho na Figura 3-12, o qual transforma a tensão da bateria do veículo, a qual pode variar até +15v em 5v fixo na saída.

Figura 3-11 - Circuito de alimentação Megasquirt



Fonte: Autor.

Figura 3-12 - Circuito de alimentação



Fonte: Autor.

3.2.2 Relé de falta de alimentação

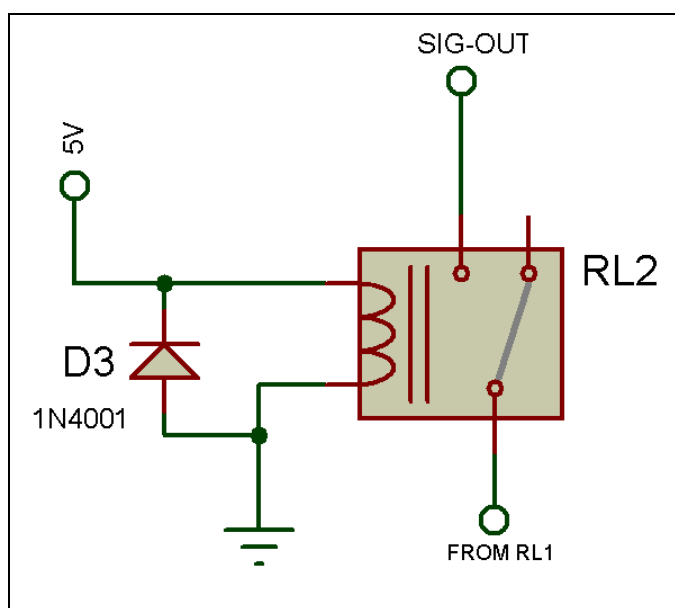
Um dos requisitos de projeto é caso o sistema perca a alimentação por algum momento. Para isso, utilizou-se um relé (RL2) em série com o relé (RL1) de bloqueio de sinal que será abordado no tópico 3.2.7, utilizando seus pinos de comutação normalmente aberto, logo quando este é alimentado ele já fecha o contato, fazendo com que o sinal passe livremente pelo relé, e em caso de falta de alimentação 5V, que seria ou um defeito no sistema de alimentação ou uma falta de 12v para a placa em si, ele volta para seu estado normal, interrompendo assim a passagem do sinal. Este sistema funciona conforme tabela verdade vista na Tabela 5 e seu circuito eletrônico na Figura 3-13.

Tabela 5 - Tabela verdade do Relé

5V	0V
RELÉ LIGADO	RELÉ DESLIGADO
SINAL CONSTANTE	SINAL INTERROMPIDO

Elaboração: Autor.

Figura 3-13 - Circuito do relé de falta de alimentação



Fonte: Autor.

3.2.3 Comparador do TPS

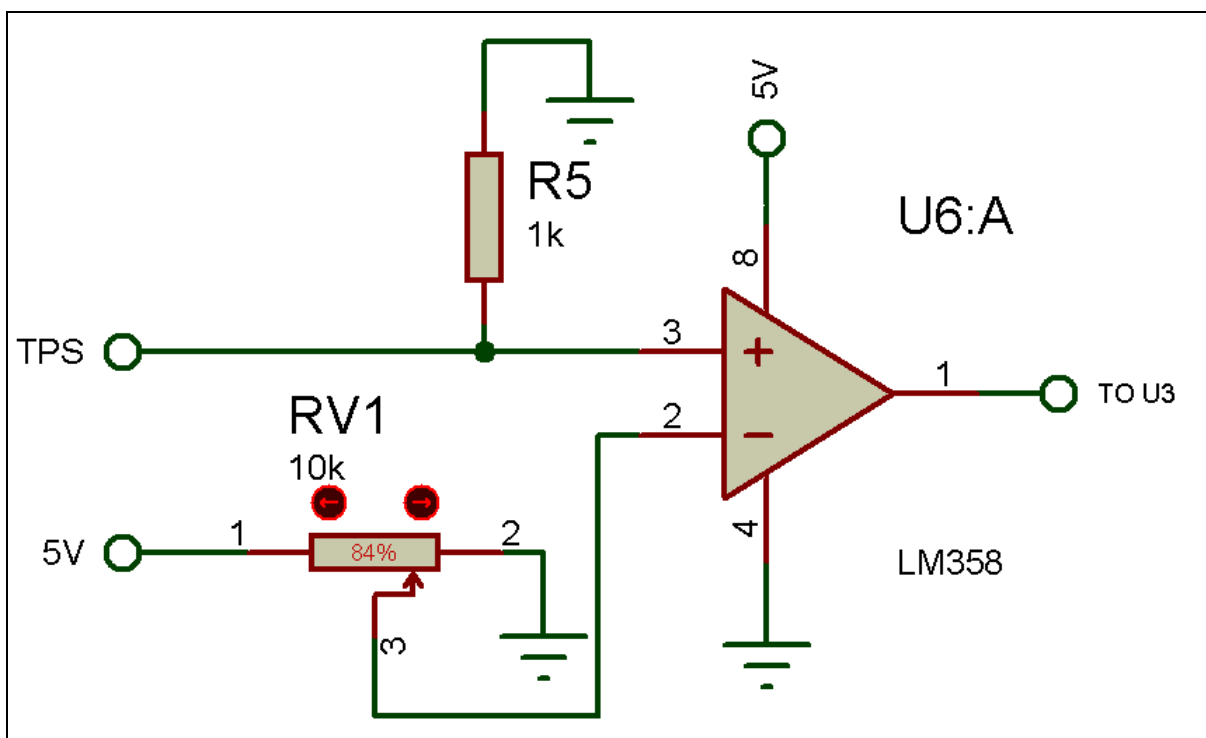
Este sub circuito é responsável por ficar comparando o valor do TPS com o valor do *setpoint*. Com a utilização de um amplificador operacional LM358, o componente R5 é um resistor de 1k com a função de *pull-down*, este serve para caso o sensor apresente problemas, o sinal do pino positivo do comparador vá para 0V e não fique com um valor “flutuando”, já o componente RV1 é um trimpot, o qual deve ser regulado de acordo com a exigência do regulamento vigente da competição, ou seja, para o comparador do TPS entrar em erro/saída alta, o valor do sensor deve ser maior que o valor definido pelo RV1, este sistema funciona conforme tabela verdade vista na Tabela 6 e seu circuito eletrônico na Figura 3-14.

Tabela 6 - Tabela verdade do comparador do TPS

TPS ≤ SETPOINT	TPS > SETPOINT
ESTADO NORMAL	ESTADO DE ERRO

Elaboração: Autor.

Figura 3-14 - Comparador do TPS



Fonte: Autor.

3.2.4 Comparador do acelerômetro

Este comparador é análogo ao anterior, mudando apenas a fonte do sinal, que agora vem do Acelerômetro e não mais do TPS, este comparador também possui um trimpot (RV2) para a definição do setpoint, e o resistor *pull-down* R5 este sistema funciona conforme tabela verdade vista na Tabela 7 e seu circuito eletrônico na Figura 3-15.

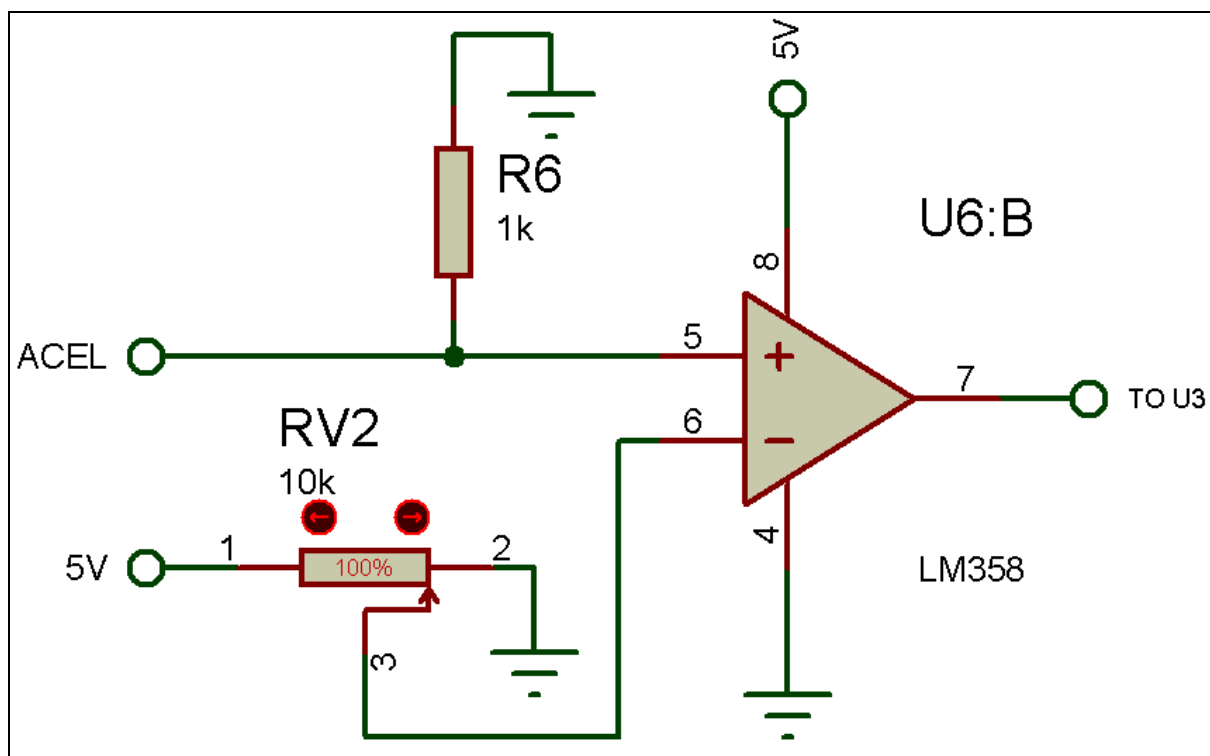
Tabela 7 - Tabela verdade do comparador do acelerômetro

ACELERAÇÃO ≤ SETPOINT	ACELERAÇÃO > SETPOINT
ESTADO NORMAL	ESTADO DE ERRO

Elaboração: Autor.

Tanto o circuito comparador do TPS e do acelerômetro, ambas as saídas se encontram em uma porta AND e esta porta que irá comandar o timer de 1s caso as condições de ativação forem satisfeitas.

Figura 3-15 - Comparador do acelerômetro



Fonte: Autor.

3.2.5 Comparador de tensão baixa

Outro requisito do sistema é de que ele não possa perder o sinal do TPS e nem do Acelerômetro (ACEL). Para isso, foi feito outro comparador o qual recebe o sinal de ambos os sensores e compara-os com uma relação de tensão fixa determinada pelos resistores R7 e R3, garantindo assim que os sensores estarão sempre mandando um sinal de leitura válido. A tensão definida para este sinal válido foi definida em 0,3v, conforme equação abaixo.

$$V_o = \frac{R_4}{R_7 + R_4} \times V_i$$

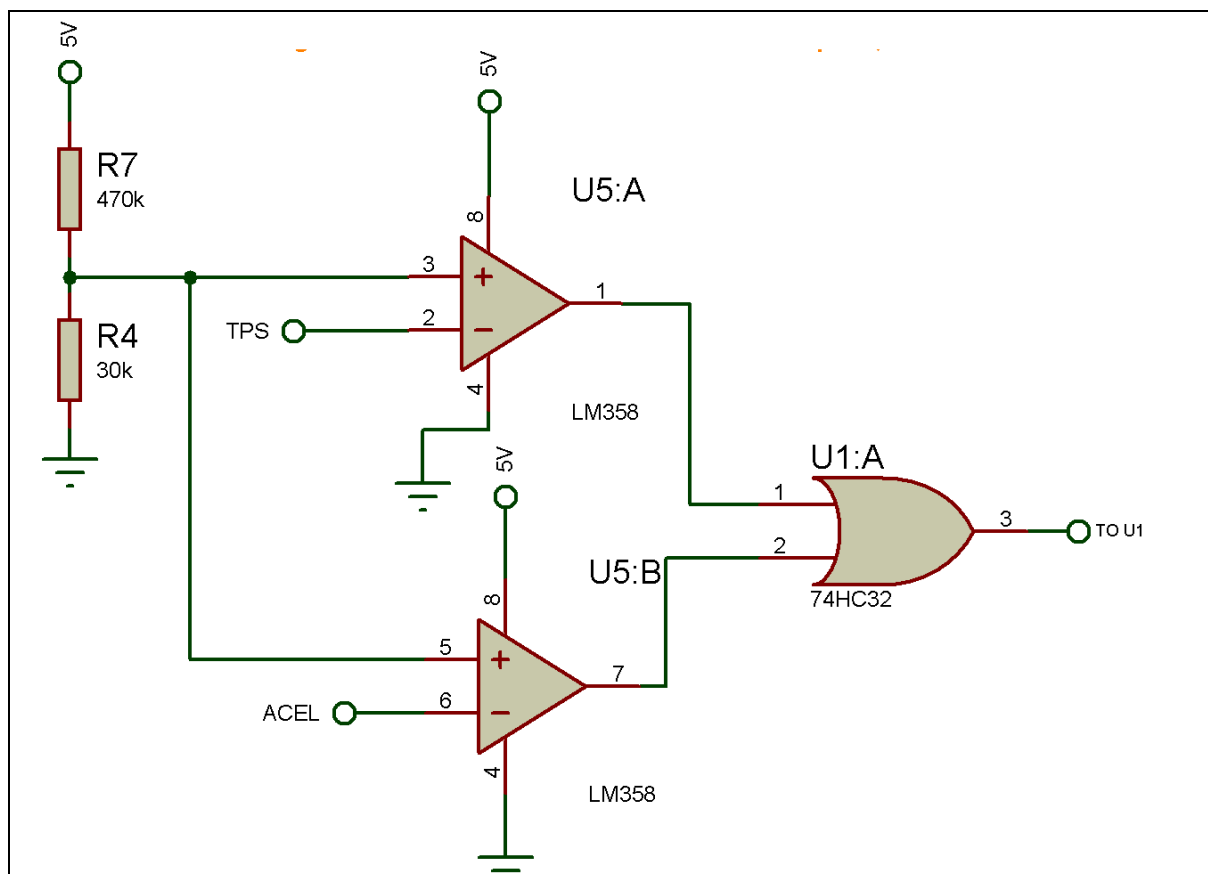
$$V_o = \frac{30\Omega}{470\Omega + 30\Omega} \times 5V$$

$$V_o = \frac{30\Omega}{500\Omega} \times 5V$$

$$V_o = 0,3Volts$$

Ou seja, quando qualquer um dos dois sensores estiver com seu valor abaixo de 0,3v, irá acionar a saída na porta lógica OU.

Figura 3-16 - Comparador de tensão baixa



Fonte: Autor.

3.2.6 Timer

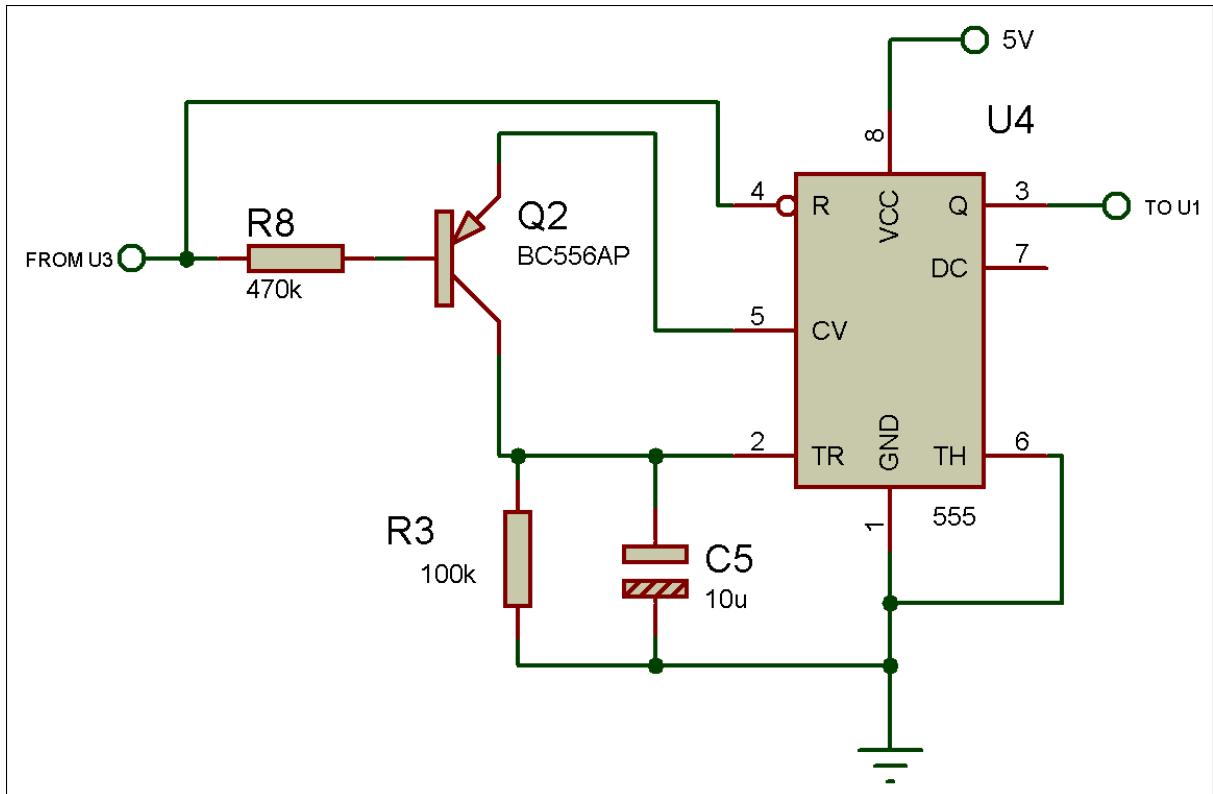
O sistema de timer (Figura 3-17) deve iniciar sua contagem quando os comparadores de TPS e Acelerômetro entrarem em erro. Pelo regulamento da competição, ambos os sensores, não devem estar fora da escala definida como segura ao mesmo tempo. No caso por mais de 1000ms, o circuito utilizado para efetuar esta contagem foi o LM555. Na configuração abaixo ele possui um *auto reset* de tempo através do pino 4 e o seu tempo de retardo definido pelos componentes R3 e C5 através da equação abaixo.

$$T = 1 \times R3 \times C5$$

$$T = 1 \times (100 \times 10^3) \times (10 \times 10^{-6})$$

$$T = 1 = 1000ms$$

Figura 3-17 - Timer de 1s

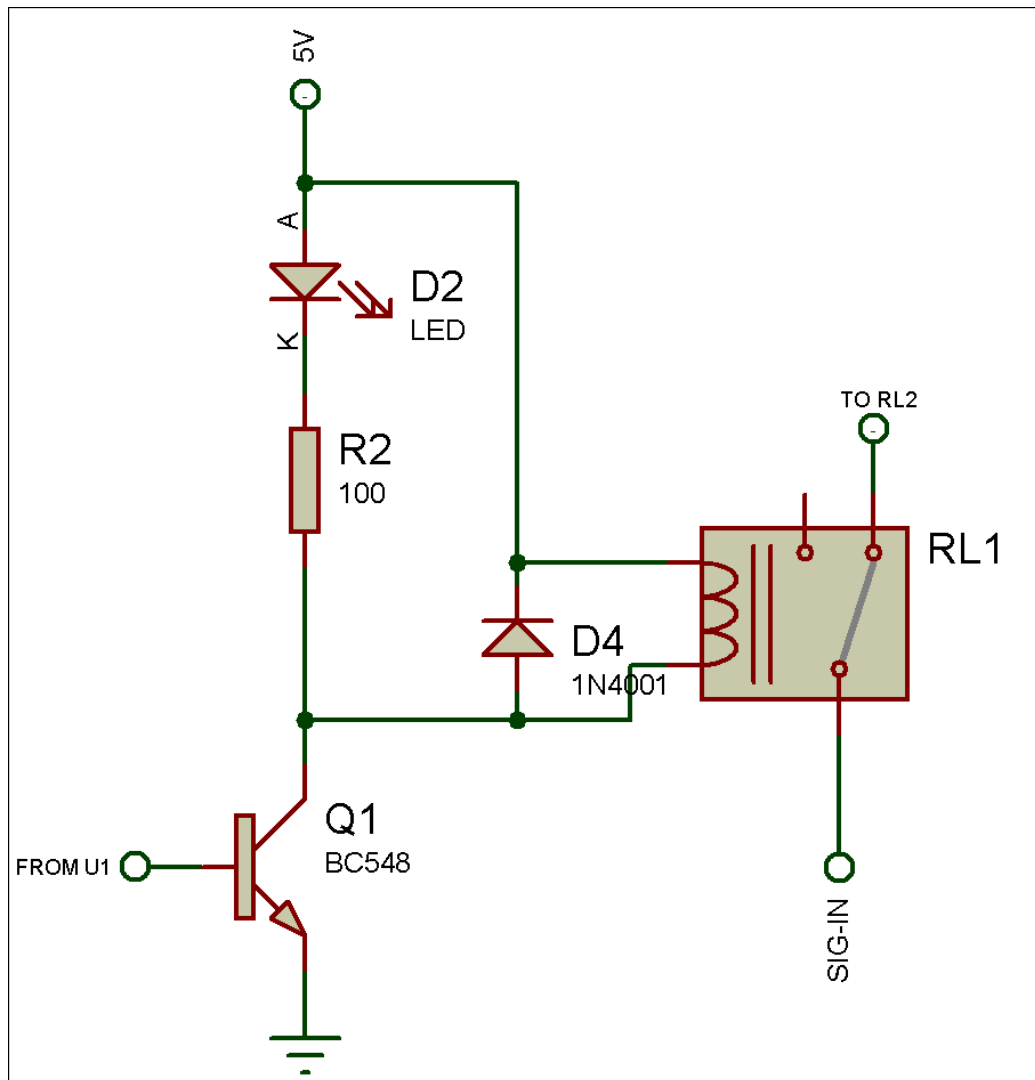


Fonte: Autor.

3.2.7 Bloqueio de sinal

O subcircuito de bloqueio de sinal (Figura 3-18) o próprio nome já o define, ele deve interromper um sinal do sistema de plausibilidade. Este bloqueio é realizado através de um relé (RL1) que é acionado pelo transistor (Q1) e possui um LED(D2) para indicação de quando o sistema entrar em falha, ao contrário do outro relé (RL2) de bloqueio que usava o contato normalmente aberto, este utiliza o contato normalmente fechado, para quando receber o sinal do transistor, ele abrir e interromper a passagem do sinal.

Figura 3-18 - Bloqueio de sinal



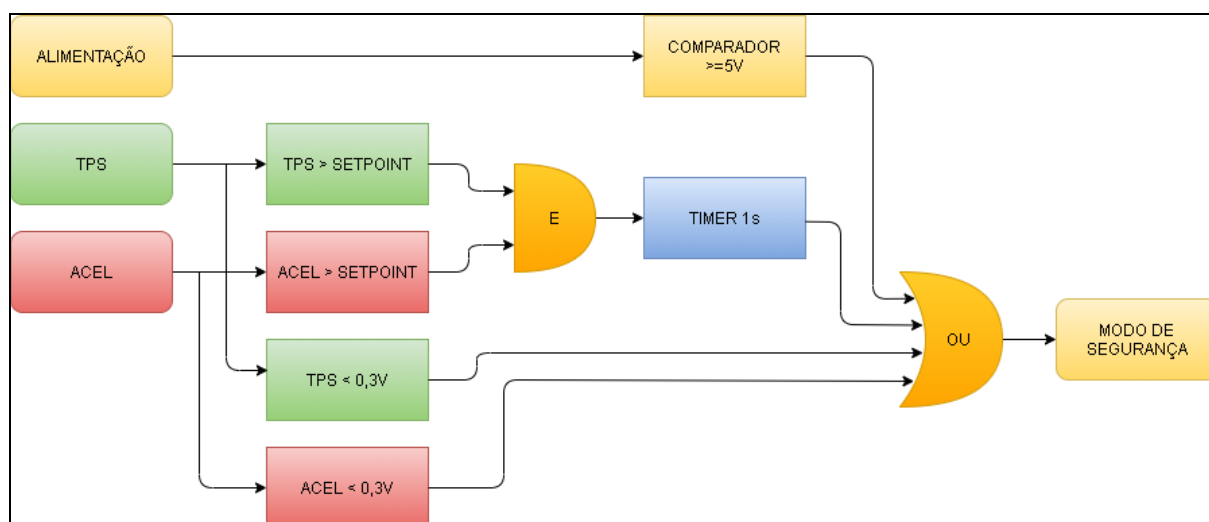
Fonte: Autor.

No Anexo 3 deste trabalho pode-se observar o circuito por completo.

3.3 DIAGRAMA DE FUNCIONAMENTO COMPLETO

Agora que todos os sistemas foram apresentados, é possível mostrar como eles estão integrados abaixo, conforme Figura 3-19.

Figura 3-19 - Diagrama de sequência de funcionamento



Fonte: Autor.

Existem três principais entradas no diagrama, a alimentação do sistema, o sinal de TPS e o sinal de acelerômetro. A alimentação está diretamente ligada a um subcircuito comparador tensão baixa, que nesse caso seria o relé RL2, para caso o módulo fique sem alimentação, o sistema entre em modo de segurança.

O sinal de TPS e de acelerômetro entram em dois subcircuitos cada um, um deles determina se o valor do sensor está acima do *setpoint* definido e os outros dois são subcircuitos que conferem se o valor do sensor não está abaixo de 0,3v resultado numa não conformidade. Estes 4 subcircuitos anteriores são sucedidos por algumas portas lógicas, os comparadores de *setpoint* estão juntos numa porta E, caso a saída desta porta E seja verdadeira, é ativado um timer de 1s.

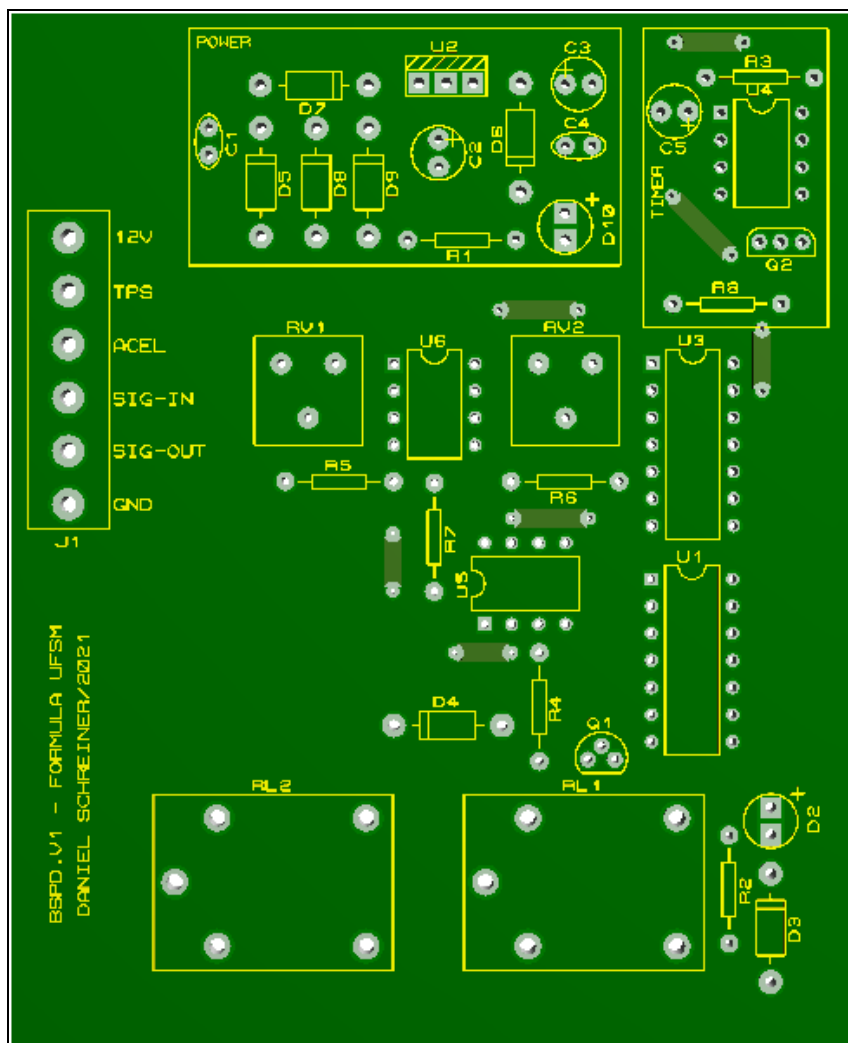
Se caso o timer atinja o *setpoint* de tempo, ele envia um sinal para ativar o modo de segurança. Os comparadores de tensão baixa do sinal dos sensores estão ligados em uma porta OU, logo assim, se caso um dos dois entre em erro, o sistema entra em modo de segurança também.

O modo de segurança se trata de mais um relé RL1 em série com o relé RL2, e este apenas interrompe um dos fios do corpo de borboleta eletrônico.

3.4 PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO (COMPONENTES)

Primeiro passo da placa de circuito é determinar o tamanho máximo da placa e alocar os componentes criando as menores trilhas possíveis e agrupando os que são do mesmo subcircuito conforme Figura 3-20.

Figura 3-20 Placa de circuito impresso - posição dos componentes



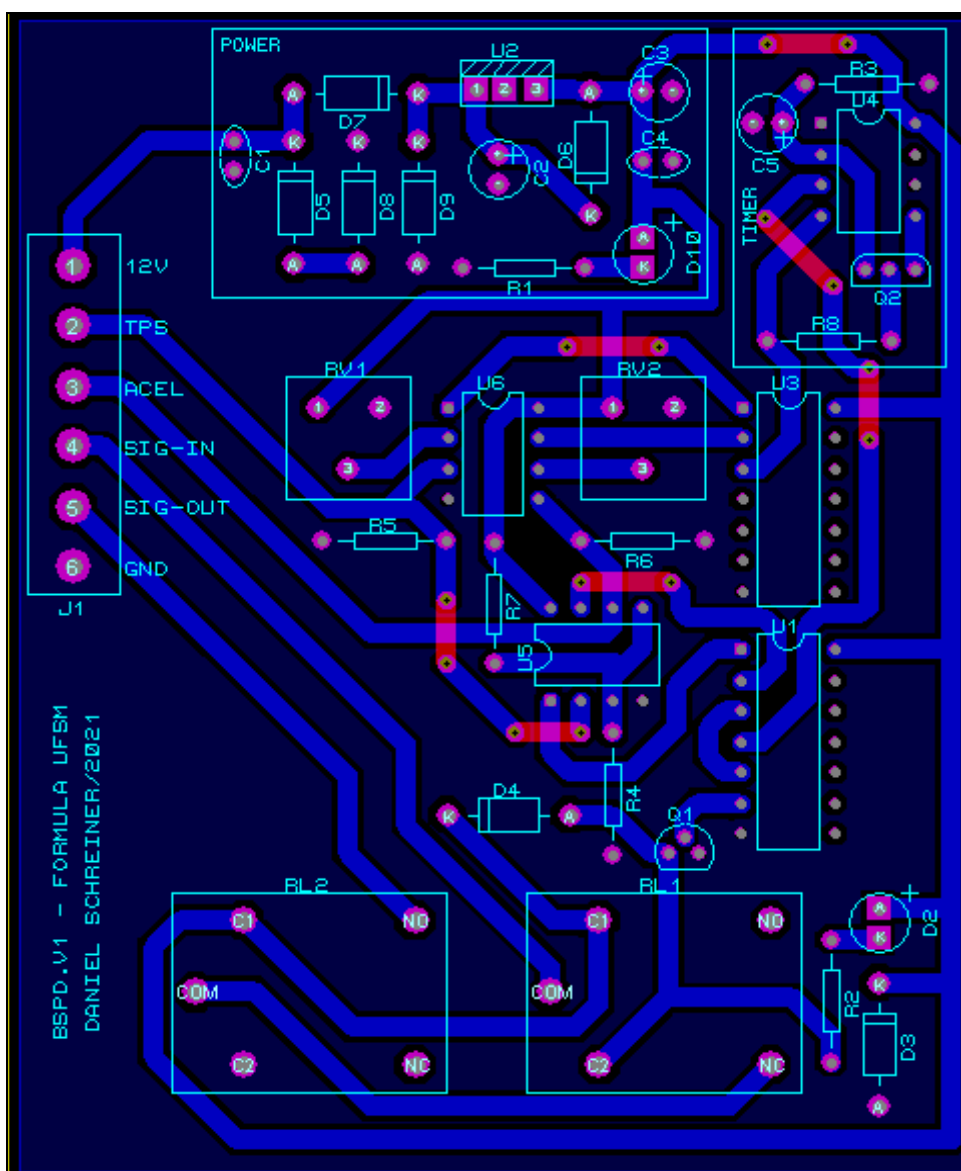
Fonte: Autor.

3.5 PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO (TRILHAS)

Dentro do Software Proteus existem diversas bibliotecas de componentes em diferentes encapsulamentos, os escolhidos foram os mais acessíveis do mercado.

Vale salientar também que nenhum componente SMD foi escolhido, a fim de facilitar a manufatura, o número de jumpers na placa, que seriam as linhas vermelhas na Figura 3-21 abaixo, foram reduzidos ao mínimo, a fim de fabricar uma placa de apenas uma camada, tornando-a mais simples e barata.

Figura 3-21 - Placa de circuito impresso - roteamento de trilhas

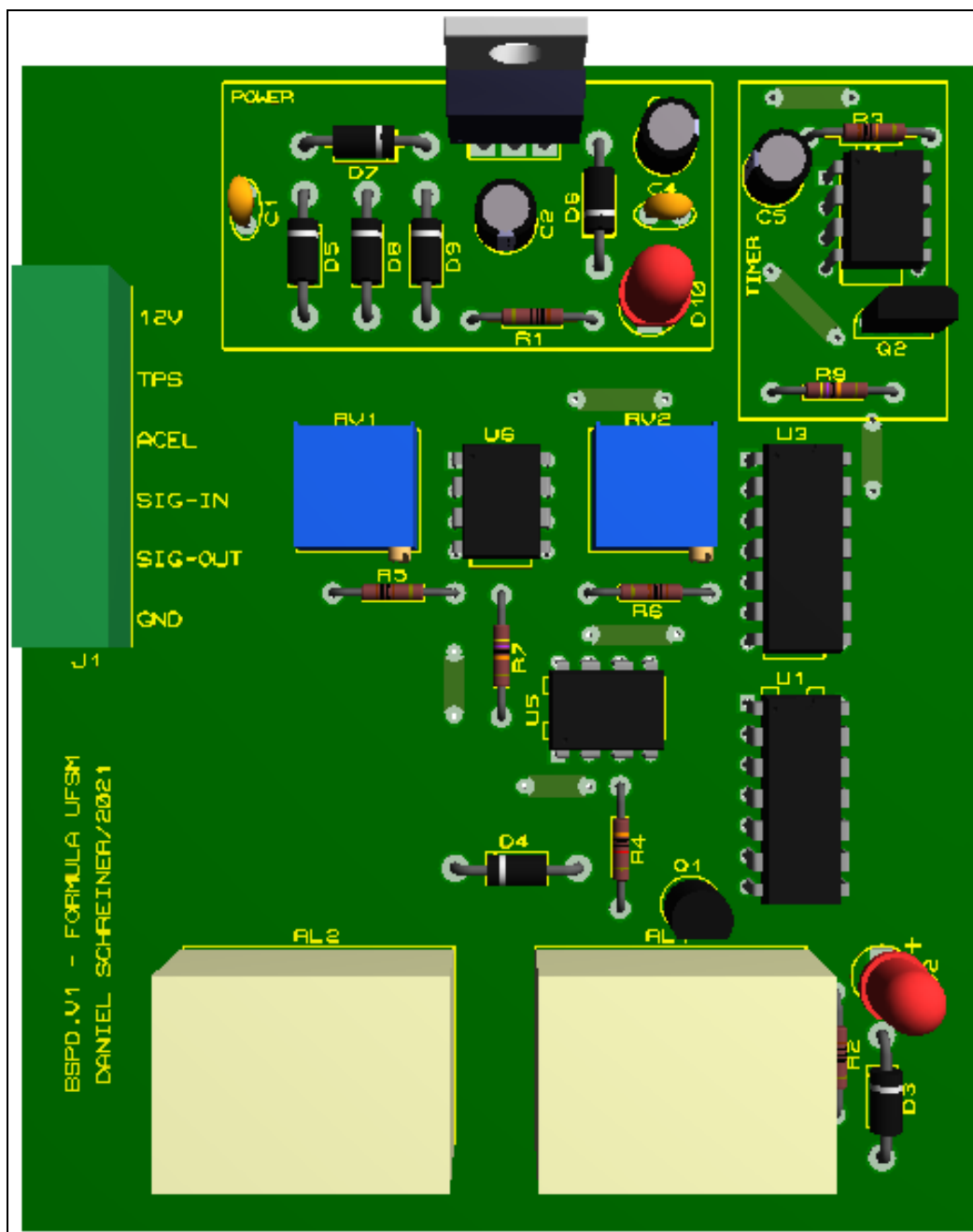


Fonte: Autor.

3.6 PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO (VISUALIZAÇÃO 3D)

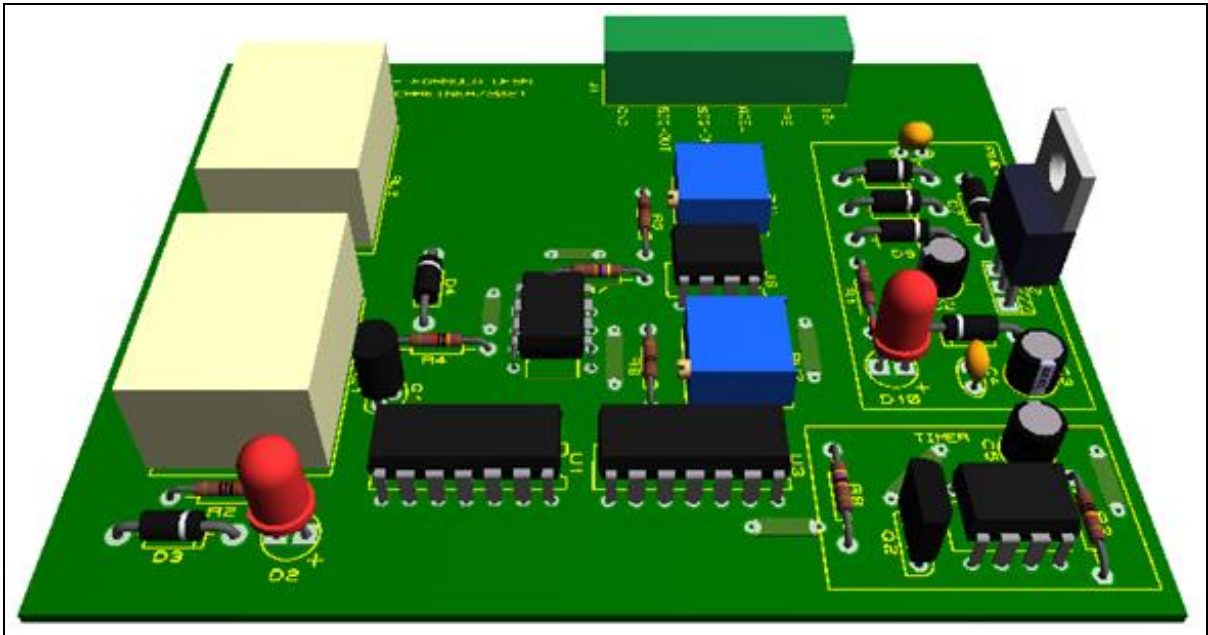
No modo visualização 3D é possível ter uma imagem tridimensional dos componentes posicionados na placa, esta função é interessante para ver se componentes mais altos e largos não irão se bater, problema que não é possível verificar sem esta função especial, conforme Figura 3-22 e Figura 3-23 .

Figura 3-22 - Placa de circuito impresso - visualização 3D superior



Fonte: Autor.

Figura 3-23 - Placa de circuito impresso - visualização 3D



Fonte: Autor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral e específicos apresentados de desenvolver um módulo de segurança para o sistema de acelerador eletrônico foram alcançados através do dispositivo *BSPD*, com este, qualquer equipe de FÓRMULA SAE estará apta a utilizar o sistema de acelerador eletrônico previsto pelo regulamento.

Ficam algumas recomendações à equipe FORMULA UFSM, que irá usufruir deste equipamento, como, conferir o regulamento vigente da temporada, a fim de verificar que não houve mudanças nas características do *BSPD* e que não necessitam de modificações quando comparado a este trabalho. Como o sistema não foi fabricado, após a montagem dele serão necessários testes de bancada e posteriormente implementação no protótipo, para validar e garantir correto funcionamento do sistema, principalmente para ajustar o *setpoint* dos amplificadores operacionais do TPS e do acelerômetro.

Após toda implementação do sistema, desenvolver o FMEA para submissão ao comitê técnico da competição. Recomenda-se também a utilização de um fio paralelo aos relés do sistema do *BSPD* com um switch em série, para caso de desejo desativar o sistema e que o protótipo continue funcionando normalmente durante a fase de testes do protótipo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FSAEONLINE. **FSAE RULES 2021**. Disponível em:

<<https://www.fsaeonline.com/cdsweb/app/NewsItem.aspx?NewsItemID=51cf7622-651e-4b57-8c9c-e0391bc08edc>> Acesso em: 28 mar. 2021

MOTEC. **M800 MANUAL**. Disponível em:

<https://www.motec.com.au/filedownload.php/M400_M600_M800_M880_Manual_A5.pdf?docid=1087> Acesso em: 28 mar. 2021

PANDOO. **MANUAL EFI4**. Disponível em:

<https://update.pandoo.com.br/Manual_Pandoo_Injecao-EFI4.pdf> Acesso em: 28 mar. 2021

LAE. **How to Build a Delay Before Turn on Circuit with a 555 Timer**. Disponível em: <<http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/555-timer-delay-before-turn-on-circuit.php>> Acesso em: 13 abr. 2021

RICHARDS, Xavier. **Simple Time Delay Circuit using 555 Timer**. Disponível em:

<<https://circuitdigest.com/electronic-circuits/555-time-delay-circuit-diagram>> Acesso em: 13 abr. 2021

SILVA, Rafael. **Acelerômetros: para que servem e como funcionam?** Disponível em: <<https://tecnoblog.net/71310/acelerometro-notebooks/>> Acesso em: 14 abr. 2021

ME-MO-TEC. **Acceleration sensor**. Disponível em <<https://www.me-mo-tec.com/en/Products/Accessory/Acceleration/Acceleration-sensor/>> Acesso em: 14

abr. 2021

CANAL DA PEÇA. **Descomplicando o funcionamento do sensor TPS**. Disponível em:

<<https://www.canaldapeca.com.br/blog/como-funciona-o-sensor-de-posicao-da-borboleta/>> Acesso em: 14 abr. 2021

BOSCH. **Throttle Position Sensors**. Disponível em:

<<https://www.boschautoparts.com/en/auto/engine-position-sensors/throttle-position-sensors>> Acesso em: 14 abr. 2021

MIXAUTO. **O que é, como funciona e onde comprar corpo de borboleta**.

Disponível em: <<https://blog.mixauto.com.br/o-que-e-como-funciona-e-onde-comprar-corpo-de-borboleta/>> Acesso em: 19 abr. 2021

ALTESE. **Corpo de borboleta**. Disponível em: <<https://www.altese.com.br/smf01212-altese-corpo-borboleta/p>> Acesso em: 19 abr. 2021

IGUAÇU AUTO PEÇAS. **Atuador de marcha lenta**. Disponível em:

<https://www.iguacuautopecas.com.br/MLB-1489091656-atuador-marcha-lenta-gol-parati-saveiro-ap-de-2003-em-diante-_JM> Acesso em: 19 abr. 2021

SCIENCE DIRECT. **Trends and future perspectives of electronic throttle control system in a spark ignition engine.** Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1367578817300068>> Acesso em: 19 abr. 2021

MUNDO PROJETADO. **Relé – O que é e como funciona.** Disponível em: <<http://mundoprojetado.com.br/rele-o-que-e-e-como-funciona/>> Acesso em: 22 abr. 2021

APRENDENDO ELETRÔNICA. **Como funciona um relé.** Disponível em: <<https://aprendendoeletrica.com/como-funciona-um-rele/>> Acesso em: 22 abr. 2021

FILIPEFLOP. **Relé 5v.** Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/rele-5v-single-srd-05vdc-sl-c/>> Acesso em: 22 abr. 2021

MOTEC. **M800 OVERVIEW.** Disponível em: <<https://www.motec.com.au/m800/m800overview/>> Acesso em: 11 mai. 2021

MATTEDE, Henrique. **O que são amplificadores operacionais?** Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-sao-amplificadores-operacionais/>> Acesso em: 11 mai. 2021

EMBARCADOS. **Portas lógicas.** Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/portas-logicas/>> Acesso em: 11 mai. 2021

MATTEDE, Henrique. **CI 555, aplicações e características!** Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/ci-555-aplicacoes-caracteristicas/>> Acesso em: 07 out. 2021

GUIMARÃES, Fábio. **CI 555 – O que é e como funciona.** Disponível em: <<https://mundoprojetado.com.br/ci-555-o-que-e-e-como-funciona/>> Acesso em: 07 out. 2021

AUTOCORE ROBÓTICA. **555 – CI Temporizador.** Disponível em: <<https://www.autocorerobotica.com.br/produto/ne555.html>> Acesso em: 07 out. 2021

BOSCH. **Engine Control Unit.** Disponível em: <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/control-units/eengine-control-unit/>> Acesso em: 07 out. 2021

SEARA-UFC. **O Acelerômetro, um dispositivo que brilha nos tablets e celulares modernos.** Disponível em: <<https://seara.ufc.br/pt/tintim-por-tintim/tecnologia/o-acelerometro/>> Acesso em: 07 out. 2021

ANEXO 1 - REGULAMENTO DE ETC DA FORMULA SAE

Segue uma cópia do parágrafo que corresponde ao trabalho no FSAEONLINE: FSAE RULES 2021 na versão original inglês.

IC.4 ELECTRONIC THROTTLE CONTROL

This section IC.4 applies only when Electronic Throttle Control is used

An Electronic Throttle Control (ETC) system may be used. This is a device or system which may change the engine throttle setting based on various inputs.

IC.4.1 General Design

IC.4.1.1 The electronic throttle must automatically close (return to idle) when power is removed.

IC.4.1.2 The electronic throttle must use minimum two sources of energy capable of returning the throttle to the idle position.

One of the sources may be the device (such as a DC motor) that normally actuates the throttle

The other device(s) must be a throttle return spring that can return the throttle to the idle position if loss of actuator power occurs.

Springs in the TPS are not acceptable throttle return springs

IC.4.1.3 The ETC system may blip the throttle during downshifts when proven that unintended acceleration can be avoided. The functional analysis must be documented in the FMEA.

IC.4.2 Commercial ETC System

IC.4.2.1 An ETC system that is commercially available, but does not comply with the regulations, may be used, if approved prior to the event.

IC.4.2.2 To obtain approval, submit a Rules Question which includes:

Which ETC system the team is seeking approval to use.

The specific ETC rule(s) that the commercial system deviates from.

Sufficient technical details of these deviations to determine the acceptability of the commercial system.

IC.4.3 Documentation

IC.4.3.1 The ETC Notice of Intent:

Must be submitted to inform the organizer of the intent to run ETC

May be used to screen which teams are allowed to use ETC

IC.4.3.2 The Failure Modes and Effects Analysis – FMEA must be submitted in order to use ETC IC.4.3.3 Submit the ETC Notice of Intent and ETC - FMEA as described in section **DR - Document**

Requirements

IC.4.3.4 Late or non-submission will prevent use of ETC, see **DR.3.4.1**

IC.4.4 Throttle Position Sensor - TPS

IC.4.4.1 The TPS must measure the position of the throttle or the throttle actuator.

Throttle position is defined as percent of travel from fully closed to wide open where 0% is fully closed and 100% is fully open.

IC.4.4.2 Two or more separate sensors must be used as TPSs. The TPSs may share the same supply and reference lines only if effects of supply and/or reference line voltage offsets can be detected.

IC.4.4.3 Implausibility is defined as a deviation of more than 10% throttle position between the sensors or other failure as defined in Section **IC.4**. Use of larger values may be considered one case by case basis and require justification in the FMEA.

IC.4.4.4 If an implausibility occurs between the values of the two TPSs and persists for more than 100 msec, the power to the electronic throttle must be immediately shut down.

IC.4.4.5 If three sensors are used, then in the case of a TPS failure, any two TPSs that agree within 10% throttle position may be used to define the throttle position target and the 3rd TPS may be ignored.

IC.4.4.6 Each TPS must be able to be checked during Technical Inspection by having one of:

A separate detachable connector(s) for any TPS signal(s) to the main ECU without affecting any other connections

An inline switchable breakout box available that allows disconnection of each TPS signal(s) to the main ECU without affecting any other connections

IC.4.4.7 The TPS signals must be sent directly to the throttle controller using an analogue signal or via a digital data transmission bus such as CAN or FlexRay.

Any failure of the TPSs or TPS wiring must be detectable by the controller and must be treated like implausibility.

IC.4.4.8 When an analogue signal is used, the TPSs will be considered to have failed when they achieve an open circuit or short circuit condition which generates a signal outside of the normal operating range, for example $<0.5\text{ V}$ or $>4.5\text{ V}$. The circuitry used to evaluate the sensor must use pull down or pull up resistors to ensure that open circuit signals result in a failure being detected.

IC.4.4.9 When any kind of digital data transmission is used to transmit the TPS signal,

The FMEA study must contain a detailed description of all the potential failure modes that can occur, the strategy that is used to detect these failures and the tests that have been conducted to prove that the detection strategy works.

The failures to be considered must include but are not limited to the failure of the TPS, TPS signals being out of range, corruption of the message and loss of messages and the associated time outs.

IC.4.5 Accelerator Pedal Position Sensor - APPS

Refer to **T.4.2** for specific requirements of the APPS

IC.4.6 Brake System Encoder - BSE

Refer to **T.4.3** for specific requirements of the BSE

IC.4.7 Plausibility Checks

IC.4.7.1 Brakes and Throttle Position

The power to the electronic throttle must be shut down if the mechanical brakes are actuated and the TPS signals that the throttle is open by more than a permitted amount for more than one second.

An interval of one second is allowed for the throttle to close (return to idle). Failure to achieve this in the required interval must result in immediate shut down of fuel flow and the ignition system.

The permitted relationship between BSE and TPS may be defined by the team using a table, but the functionality must be demonstrated at Technical Inspection.

IC.4.7.2 Throttle Position vs Target

The power to the electronic throttle must be immediately shut down, if throttle position differs by more than 10% from the expected target TPS position for more than one second.

An interval of one second is allowed for the difference to reduce to less than 10%, failure to achieve this in the required interval must result in immediate shut down of fuel flow and the ignition system.

An error in TPS position and the resultant system shutdown must be demonstrated at Technical Inspection.

Teams must have a method to demonstrate that the actions in **IC.4.7.2.b above** are met. System states displayed using calibration software must be accompanied by a detailed explanation of the control system.

IC.4.7.3 The electronic throttle and fuel injector/ignition system shutdown must remain active until the TPS signals indicate the throttle is at or below the unpowered default position for one second or longer.

IC.4.8 Brake System Plausibility Device - BSPD

IC.4.8.1 A standalone nonprogrammable circuit must be used to monitor the electronic throttle control.

The BSPD must be provided in addition to the plausibility checks in the ETC which interpret the driver's throttle request and control the engine throttle position.

IC.4.8.2 Signals from any sensors must be sent directly to the BSPD. Outputs from other modules may not be used in place of the raw sensor signals.

IC.4.8.3 The BSPD must monitor for the following conditions:

Both of the following for more than one second:

Hard braking (for example >0.8 g deceleration but without locking the wheels)

Throttle greater than 10% open

Loss of signal from the braking sensor(s) for more than 100 msec

Loss of signal from the throttle sensor(s) for more than 100 msec

Removal of power from the BSPD circuit

IC.4.8.4 When any of the above conditions exist, the BSPD must:

Shut off power to the electronic throttle

Shut off fuel flow

Close the throttle to the idle position

IC.4.8.5 The BSPD must only be reset by cycling the Primary Master Switch **IC.8.4.3** OFF and ON.

IC.4.8.6 The BSPD must not reset when the Cockpit Master Switch **IC.8.4.4** is turned OFF.

IC.4.8.7 The BSPD signals and function must be able to be checked during Technical Inspection by having one of:

A separate set of detachable connectors for any signals from the braking sensor(s), throttle sensor(s) and removal of power to only the BSPD device.

An inline switchable breakout box available that allows disconnection of the brake sensor(s), throttle sensor(s) individually and power to only the BSPD device.

ANEXO 2 - NOTICE OF INTENT

Um dos documentos obrigatórios é a carta de intenção de uso de ETC, a qual segue preenchida abaixo caso este sistema venha a ser implementado e enviada para a organização do evento previamente na data estipulada.



2016 FSAE® ELECTRONIC THROTTLE CONTROL (ETC) NOTICE OF INTENT

Notice of Intent - Teams planning to build an electronically controlled throttle complying with IC1.11-IC1.16 for entry into a North American competition must notify the Rules Committee of their intent by the date specified in the action deadlines for the competition. **Submit the ETC Notice of Intent as instructed on the event website. For Michigan and Lincoln events submit through fsaonline.com.**

****Competitions may choose to apply limits to the number of ETC entries that they take and therefore the Notice of Intent may be used to screen which teams are accepted to build an ETC to the appropriate regulations.**

University Name:	Universidade Federal de Santa Maria		
Car # and Event(s):	8 – FSAE BRASIL		
Team Contact:	Daniel Gustavo Schreiner	Email:	danielgs.formula@gmail.com
Faculty Advisor:	Fernando Mariano Bayer	Email:	bayer.ctism@gmail.com

Nosso sistema de controle eletrônico da borboleta, consiste das seguintes peças, dois Accelerators Pedal Position Sensors (APPS) modelo BOSCH 0280122001, e um corpo de borboleta MAGNETI MARELLI GTEF3611FIA-6GTE3F de FIAT UNO 1.0, o controle de Drive by Wire é feito exclusivamente pela nossa ECU, a MOTEC M800, a qual possui um excelente suporte à ETC onde o tempo de resposta do acelerador tem a maior prioridade para alcançar o mínimo de atraso entre o pedal e a borboleta com um excelente controle PID, e para garantir que o sistema ETC está funcionando corretamente, a ECU realiza verificações a todo instante e quando um erro é detectado como por exemplo uma defasagem de mais de 10% entre os sensores, que é especificada em regulamento, o sistema ETC será desligado imediatamente, assim como um dispositivo customizado de plausibilidade de freios. Este sistema já foi testado e está funcionando perfeitamente em nosso protótipo desde dezembro de 2021.

CONTATOS:

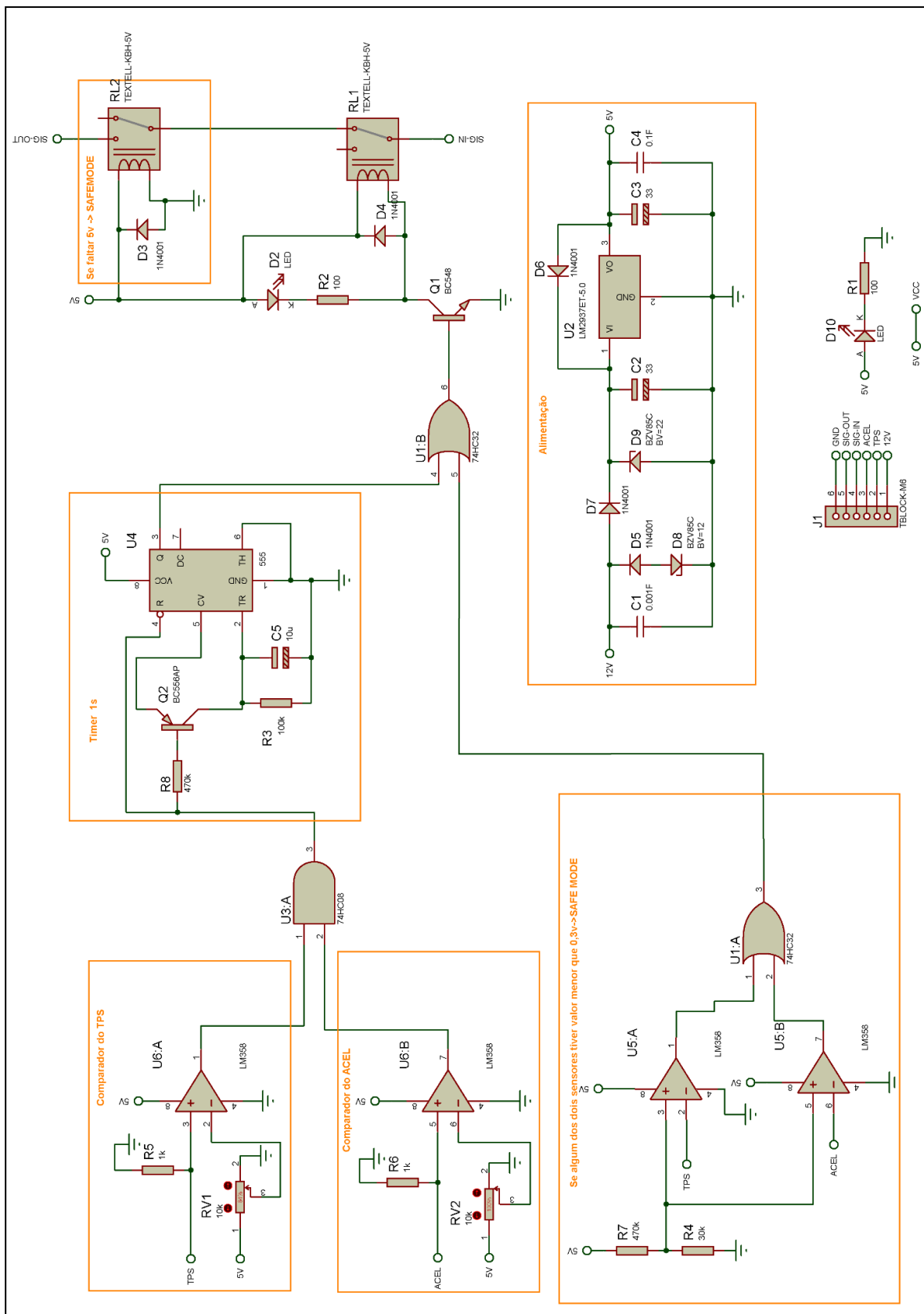
Daniel Gustavo Schreiner (Diretor Técnico) – (51) 9193-0942 – danielgs.formula@gmail.com

Fernando Mariano Bayer (Orientador) – (55) 9989-4094 - bayer.ctism@gmail.com

Approved by _____ Date _____

NOTE: THIS FORM AND THE APPROVED COPY OF THE ETC FMEA SUBMISSION MUST BE PRESENTED AT TECHNICAL INSPECTION IF REQUESTED.

ANEXO 3 - CIRCUITO ELETRÔNICO COMPLETO



Fonte: Autor.

ANEXO 4 - LISTA DE MATERIAIS

Os componentes necessários para a fabricação do BSPD podem ser encontrados na tabela abaixo.

Categoria	Quantidade	Referência	Valor	Observação
Resistor	2	R1, R2	100Ω	
	1	R3	100kΩ	
	1	R4	30kΩ	
	2	R5, R6	1kΩ	
	2	R7, R8	470kΩ	
Capacitor	1	C1	0.001F	Cerâmico
	2	C2, C3	33	Eletrolítico
	1	C4	0.1F	Cerâmico
	1	C5	10u	Eletrolítico
Circuito integrado	1	U1	74HC32	Porta OR
	1	U2	LM2937ET-5.0	Regulador 5v
	1	U3	74HC08	Porta AND
	1	U4	555	Timer
	2	U5, U6	LM358	Amp. Op.
Transistor	1	Q1	BC548	NPN
	1	Q2	BC556AP	PNP
Diodo	2	D2, D10	LED	
	5	D3-D7	1N4001	
	1	D8	1N4742A	12V 1W
	1	D9	1N4748A	22V 1W
Conector	1	J1	TBLOCK-M6	
Relé	2	RL1, RL2	Relé 5V	
Trimpot	2	RV1, RV2	10kΩ	

Elaboração: Autor.