

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MARIA TERESA COTTA AMBROSINI DE SOUSA

**DESENVOLVIMENTO DOS PRINCIPAIS CIRCUITOS DE PROTEÇÃO
DO CARRO ELÉTRICO PARA COMPETIÇÃO FÓRMULA SAE DA
EQUIPE UFVOLTS MAJORADOS**

VIÇOSA
2022

MARIA TERESA COTTA AMBROSINI DE SOUSA

**DESENVOLVIMENTO DOS PRINCIPAIS CIRCUITOS DE PROTEÇÃO
DO CARRO ELÉTRICO PARA COMPETIÇÃO FÓRMULA SAE DA
EQUIPE UFVOLTS MAJORADOS**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 402 – Projeto de Engenharia II – e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Rodolpho Vilela Alves Neves
Coorientador: Márcio Von Rondow Campos

VIÇOSA
2022

MARIA TERESA COTTA AMBROSINI DE SOUSA

**DESENVOLVIMENTO DOS PRINCIPAIS CIRCUITOS DE PROTEÇÃO
DO CARRO ELÉTRICO PARA COMPETIÇÃO FÓRMULA SAE DA
EQUIPE UFVOLTS MAJORADOS**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 402 – Projeto de Engenharia II – e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em ____ de _____ de 2022.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodolpho Vilela Alves Neves - Orientador
Universidade Federal de Viçosa

Márcio Von Rondow Campos - Coorientador
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. Denilson Eduardo Rodrigues - Membro
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. Joseph Kalil Khoury Junior - Membro
Universidade Federal de Viçosa

“Acho que esse é o melhor conselho de todos: pense constantemente sobre como você pode fazer as coisas melhor e questione a si mesmo.” --- Elon Musk

*Dedico este trabalho a Equipe Formula UFFolts Majorados, aos presentes e
futuros membros.*

Agradecimentos

Agradeço a Deus, por ser meu alicerce. Aos meu pais, Luciano e Valéria que nunca mediram esforços e apoio, o amor foi o maior combustível.

Aos professores e docentes do Departamento de Engenharia Elétrica da UFV, deixo meus agradecimentos de coração, por todo aprendizado teórico e exemplo como profissional. Cada um dos docentes deixou uma marca e uma característica única.

Ao Rodolpho, coordenador do curso na minha reta final, companheiro de oficina, orientador desse Projeto e suporte essencial para o UFVolts Majorados. E ao Márcio Campos, ex membro do Fórmula e coorientador.

À toda Equipe Formula UFVolts Majorados, desde o primeiro contato em 2016. Foi meu primeiro processo seletivo, projeto, reuniões. Aprendi que começar do zero é possível quando se tem vontade e objetivo. Foram quase dois anos até que nossa equipe fosse nomeada oficial, mas que valeram a pena. Estarei sempre à disposição, assim como todos vocês tiverem comigo nessa caminhada de idas e vindas. Encerro minha graduação no projeto que encheu meus olhos de alegria. À FAPEMIG e Funarbe pela confiança e apoio financeiro no projeto.

Agradeço também a mim. Quando fui aprovada em Engenharia Elétrica me falaram que não iria ser fácil, mas ninguém disse que seria tão difícil. Ainda bem que desistir nunca esteve no meu vocabulário.

Resumo

A Formula SAE (Society of Automotive Engineers), fundou apenas em 2013 a categoria elétrica. No Brasil, essa nova modalidade proporcionou um novo desafio aos estudantes a adquirirem conhecimentos, muitas vezes vistos apenas teoricamente, para serem aplicados no carro elétrico para competição anual representando sua instituição de ensino. Dessa forma, esse projeto visa desenvolver para Equipe Formula UFVolts Majorados, pertencente a Universidade Federal de Viçosa, o desenvolvimento do circuito *Shutdown* no carro elétrico, atendendo os requisitos impostos pelo regulamento da FSAE, que é composto por placas de eletrônica, que atuam individualmente, de extrema importância na verificação da qualidade e segurança que o veículo se encontra. Quando colocado em prática junto com estratégias da própria Equipe, possam gerar segurança para o piloto e o próprio carro da Equipe.

Palavras-chave: FSAE, Regulamento, Shutdown, Segurança, Eletrônica.

Abstract

Formula SAE (Society of Automotive Engineers) founded the electric category only in 2013. In Brazil, this new modality provided a new challenge for students to acquire knowledge, often seen only theoretically, to be applied in the electric car for an annual competition representing their educational institution. Thus, this project aims to develop for the Formula UFVolts Majorados Team, belonging to the Federal University of Viçosa, the development of the Shutdown circuit in the electric car, meeting the requirements imposed by the FSAE regulation, which is composed of electronic boards, which act individually, extremely important in verifying the quality and safety of the vehicle. When put into practice together with the Team's own strategies, they can generate safety for the driver and the Team's own car.

Keywords: FSAE, Regulation, Shutdown, Security, Electronics.

Sumário

1. Introdução.	12
1.1 Objetivos	15
2. Veículo elétrico	16
2.1 Competição FSAE.	19
2.2 Equipe Formula UFRV Majorados.	21
2.3 Circuitos de proteção do veículo	23
3. Materiais e métodos	25
3.1 Softwares de simulação e construção das placas	26
3.2 Principais circuitos de proteção.	27
3.3 Testes para verificar o funcionamento das placas	34
3.4 Indicadores de funcionamento e resposta do veículo	36
3.4.1 <i>Ready to Drive e Shutdown.</i>	36
3.4.2 BMS.	37
3.4.3 BSPD.	38
3.4.4 IMD.	39
4. Resultados e discussões	40
4.1 <i>Circuito de Shutdown.</i>	40
4.2 BMS.	44
4.3 ECU.	46
4.4 BSPD.	47
4.5 IMD.	50
5. Conclusões e trabalhos futuros	53
6. Referências Bibliográficas.	54

Lista de Figuras

Figura 1- Mulher dirigindo um carro elétrico na década de 1910.	12
Figura 2 - Cenários de implementação para o estoque de carros elétricos até 2030.....	13
Figura 3 – Carro montado para competição do ano de 2018.	21
Figura 4 – Esquema resumido do Circuito de Desligamento.	24
Figura 5 – Esquemático do <i>Shutdown</i>	27
Figura 6 – Ilustração placa de reles de <i>shutdown</i>	28
Figura 7 – Control Unit EMUS.....	30
Figura 8 – Ilustração de um conector.	30
Figura 9 – Control Unit EMUS utilizada.	31
Figura 10 – Módulos de Grupo de Células CAN Centralizado (CCGM022D).	32
Figura 11 – Ilustração placa BSPD.	32
Figura 12 - Relés para chaveamento do IMD, BSPD, BMS e ECU.	40
Figura 13 – Layout da placa de relés de chaveamento do IMD, BSPD, BMS e ECU.	41
Figura 14 – Imagem ilustrativa do painel do carro.	41
Figura 15 – Placa do circuito <i>Ready to Drive</i> antes de ser parafusada no painel do carro.	42
Figura 16 – Vista do protótipo do painel do carro.....	42
Figura 17 – Módulo 5148.....	44
Figura 18 – Módulo 5148 verso.	45
Figura 19 – Aplicativo BMS EMUS, leitura de 16 células com falha a partir da nona.	46
Figura 20 – Circuito BSPD.	48
Figura 21 – Layout da placa BSPD.....	49
Figura 22 – Placa BSPD.....	49
Figura 23 – Teste de Continuidade nos Componentes.	50
Figura 24 – Placa IMD IR155-3203/04.	51
Figura 25 – Circuito IMD auxiliar.	52
Figura 26 – Layout da placa IMD auxiliar.	52

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Tabela Circuito Shutdown/Desligamento.....	18
Tabela 2 – Provas Estáticas e Pontuação.	20
Tabela 3 - Provas Dinâmicas e Pontuação.	20
Tabela 4 – Aprovação técnica no teste <i>Ready to Drive</i>	36
Tabela 5 – Falha nos botões de <i>shutdown</i>	36
Tabela 6 – Modo de falha BMS.	37
Tabela 7 – Modo de falhas BSPD.	37
Tabela 8 – Modo de falhas IMD.	38
Tabela 9 – Procedimentos para entrar no modo <i>Ready to drive</i>	42
Tabela 10 – Testes no IMD segundo o Regulamento.	52

1 Introdução

Os carros elétricos, apesar de estarem tomando espaço no mercado atual a pouco tempo e possuírem grande tendência futura, não são uma invenção recente. Os carros movidos a eletricidade existem a quase dois séculos, mas os carros a combustão tomaram mais espaço e visibilidade no início do século XX. Com muitas descobertas e avanços tecnológicos cada vez mais rápidos, surge um novo termo, “tecnologia verde”, que seria um avanço sustentável e ecológico.

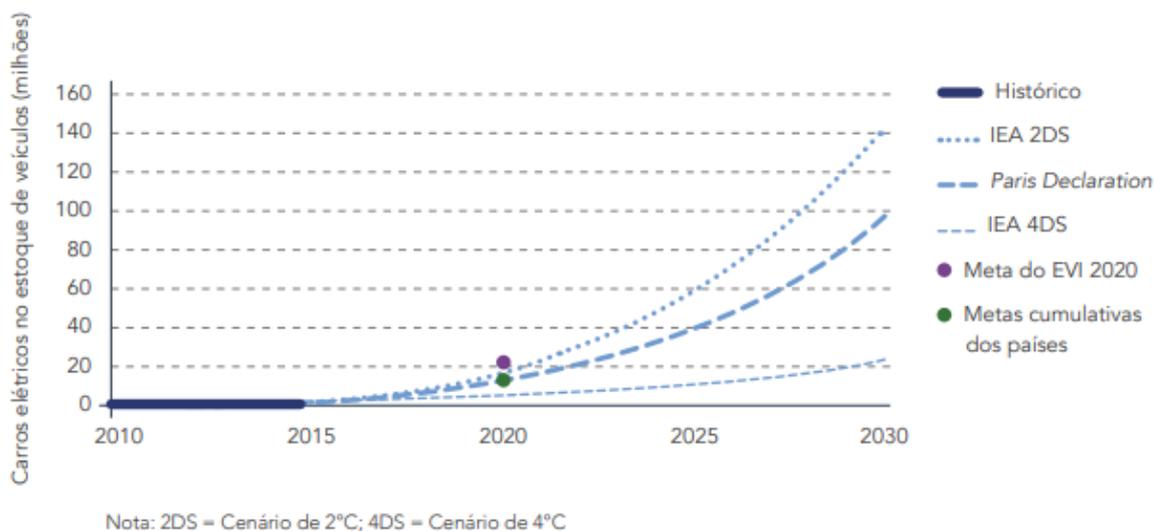
Figura 1– Mulher dirigindo um carro elétrico na década de 1910.



Fonte: Iberdrola.

Com a preocupação com o meio ambiente e leis mais rigorosas de emissão de gases como CO₂, os carros elétricos voltaram a tomar destaque novamente. (MATULKA, 2014). Um fato curioso, é que o Brasil ainda possuindo um número baixo de carros elétricos em comparação aos países desenvolvidos, conta uma empresa de motor, inversores e outros aparatos elétricos que está ganhando força na exportação, a Empresa WEG (GLOBO, Valor, 2019). Dessa forma, surgiu uma proposta no governo brasileiro para até 2060, proibir veículos a gasolina e diesel no Brasil, tendo um início em 2030, permitindo só assim, veículos elétricos ou movidos a biocombustível, ou seja, etanol. Portanto, é nítido a entrada do veículo elétrico em horizonte.

Figura 2 - Cenários de implementação para o estoque de carros elétricos até 2030.



Fonte: Global EV Outlook, IEA, 2016.

Seguindo por esse cenário, observamos que os carros eletrificados são a grande discussão de mobilidade do momento. Vistos como o futuro por seus benefícios ambientais e economia de combustível, eles vêm sendo desenvolvidos há anos e cada vez mais fazem parte da realidade mundial (SOUZA, Leandro, 2022).

Todos os carros, independentemente da classe a que pertençam, têm segurança como sua principal prioridade. Apesar do tipo de veículo, independentemente de ter motor de combustão interna ou motor elétrico, os carros são máquinas fatais. Talvez o fato de os veículos convencionais com motor de combustão interna terem o tanque cheio mostre claramente que os carros elétricos não carregam gasolina e os torna mais seguros do que os carros movidos a combustíveis fósseis. As baterias de íon-lítio, no entanto, têm a tendência e aspereza de pegar fogo e algumas características de um explosivo.

Este projeto enfatiza diferentes sistemas de segurança, medidas tomadas para garantir o bom funcionamento do sistema elétrico. É uma tarefa complexa porque existe uma infinidade de possíveis falhas que precisam de atenção e agir a tempo adequadamente. Para conseguir um carro seguro, um efeito de modo de falha foi realizado, o que iremos tratar como circuitos de *shutdown* ou circuitos de desligamento. Com base na análise do regulamento da Formula SAE,

apresentado nos próximos capítulos, vários circuitos foram projetados para serem integrados, mas agirem de formas independentes.

Desenvolver o sistema de segurança tem seus próprios desafios. Um carro de Fórmula deve ter um bom desempenho para atingir uma velocidade alta em um período pequeno e manter um controle sobre o funcionamento adequado de todos os componentes que, de outra forma, poderiam ser catastróficos. Embora as peças mecânicas tenham seus próprios padrões e medidas de segurança, as peças elétricas e o projeto de segurança devem seguir as regras rigorosas da FSAE (Safety System of an Electric Vehicle for Formula Racing).

A UFVolts Majorados é um Projeto de Extensão da Universidade Federal de Viçosa, no qual se desenvolve um carro elétrico para competição. O trabalho foi realizado com foco na segurança em veículos elétricos e tem como objetivo o desenvolvimento do circuito de *shutdown* para a próxima competição da Equipe, que visa segurança de todos os membros da equipe, o carro elétrico e principalmente para o piloto, norma obrigatória pelo Regulamento da Formula SAE (FSAE).

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo desenvolver os principais elementos da elétrica e eletrônica do veículo elétrico Fórmula UFVolts, para estruturar o circuito de proteção. Assim com o uso de softwares e ferramentas específicas para simulação, controle de erros e otimização da construção do carro sejam testados e assim implementados no carro.

Portanto, o intuito do Projeto, é construir e validar os circuitos integrados no veículo elétrico apto a participar da Competição Fórmula SAE, a partir do regulamento, recursos disponíveis e metas atuais do ano de 2022 da Equipe.

Dado o objetivo geral, têm-se como objetivos específicos:

- Verificar circuitos, esquemáticos e layout eletrônicos que compõe as principais parte do circuito de proteção.
- Construir e/ou adequar os sistemas: Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS), Dispositivo de Plausibilidade do Sistema de Freios (BSPD), Dispositivo de Monitoramento de Isolamento (IMD), Unidade de Controle do Motor (ECU).
- Validar as placas e dispositivos que integram o circuito de proteção;
- Testar placas prontas e objetivar os testes no veículo para 2023.

2 Veículo Elétrico

De modo geral, um carro elétrico, também chamado de veículo automotivo com propulsão elétrica tem abreviatura usual e internacional (B)EV do inglês (*Battery*) *Electric Vehicle*. Eles têm seu funcionamento básico definido por quatro componentes: bateria, inversor, motor de indução e sistema de recuperação de energia. A bateria é recarregável e possui a função de armazenar energia elétrica que será utilizada para fazer o carro funcionar, O inversor, converte corrente contínua em corrente alternada CC/CA, que é levada até o motor de indução.

A eletricidade, então, tem o papel de acionar os mecanismos do motor para o carro se mover. E essa mesma eletricidade, é armazenada em baterias químicas que alimentam o motor elétrico (COSTA, 2013). Percebe-se, que o sistema de recuperação de energia surge como uma vantagem muito grande e econômica. Em um carro comum, essa energia seria desperdiçada grande parte em forma de calor. Mas no carro elétrico essa energia retorna para bateria como eletricidade, o que aumenta o rendimento do carro.

No carro da equipe, também contamos com o alternador, que é uma peça responsável pela conversão da energia mecânica, gerada pelo movimento do motor, em energia elétrica para utilização nos componentes eletrônicos do veículo e para a recarga da bateria (MOURA, 2019).

Os carros elétricos têm que passar pelos mesmos testes e se enquadrar nas mesmas instruções de segurança que seus similares movidos a gasolina, exceto testes e legislações que se referem a tanques de combustível (SOUSA, 2017).

As altas tensões estão presentes nesses veículos e são potencialmente fatais e, portanto, deram origem a requisitos totalmente novos em matéria de segurança elétrica. Além da segurança elétrica, a segurança funcional - por exemplo, o sistema de gerenciamento de bateria - também é extremamente importante. Além dos altos níveis de corrente e tensão, os sistemas deram origem à novas fontes de interferência eletromagnética que têm uma influência considerável na compatibilidade eletromagnética (EMC). Os problemas em torno da EMC são ainda mais complexos por causa da interação entre sistemas de segurança de condução altamente dinâmicos e eletrônicos de alta tensão. A segurança da bateria deve ser levada em consideração tanto no módulo quanto no nível da célula. Isso inclui, entre outras coisas, a disposição da bateria dentro do veículo, de modo a garantir a proteção em caso de um acidente, segurança elétrica intrínseca e o fato de que a bateria deve ser à prova de fogo (TUV NORD Brasil).

Na parte elétrica em geral, podemos destacar os seguintes pontos:

- Prevenção de incêndio devido ao arco;
- Isolamento;
- Potencial de compensação;
- Proteção contra contato e toque;

O foco principal será na segurança em carros elétricos tipo formula para competição da Fórmula SAE.

De forma visual em diagrama a equipe deve mostrar que a corrente dos AIRs (Relé de alta tensão/corrente do acumulador) passa pelos circuitos de segurança.

- O *shutdown* efetuado pelos circuitos do BMS (sistema de gerenciamento de bateria), BSPD (dispositivo de plausibilidade do sistema de freios), IMD (dispositivo de monitoramento de isolamento), devem ser independentes uns dos outros.

Tabela 1 – Tabela Circuito Shutdown/Desligamento.

<i>Shutdown/</i>	Os botões de desligamento transportam diretamente a corrente do AIRs e o relé de pré-carga.
<i>Circuitos de</i>	IMD, BMS, BSPD possuem relés ou transistores independentes para abrir o circuito de desligamento.
<i>Desligamento</i>	Uma linha de bloqueio abre o AIRs sempre que o HVD é removido.
<i>APPS</i>	Devem ter pelo menos dois sensores que não compartilhem linha de sinal ou alimentação.
<i>APPS</i>	As funções de transferência dos dois sensores não devem cruzar.

Fonte: Fórmula SAE Brasil

2.1 Competição FSAE

A competição Fórmula SAE BRASIL, assim como as outras provas promovidas pela entidade, tem como objetivo propiciar aos estudantes de Engenharia a oportunidade de aplicar os conhecimentos adquiridos na teórica na prática, desenvolvendo um projeto completo e construindo um carro tipo Fórmula elétrico.

O evento tem duração de três dias, os carros têm que passar por provas estáticas e dinâmicas, que podem ser eliminatórias, principalmente se os avaliando perceberam que não estão sobre regulamentos da SAE, já que esse visa a segurança acima de tudo. A performance de cada etapa na pista, assim como as apresentações técnicas das equipes, que inclui projeto, orçamento, e uma apresentação de marketing. Meses antes da competição, os estudantes enviam esses para o comitê. Os relatórios são avaliados por engenheiros especialistas, e já valem como a primeira parte da avaliação dos protótipos.

Durante a competição, nas provas estáticas, as equipes devem demonstrar mais detalhadamente se o carro apresentado no projeto equivale com o apresentado no evento. Já as provas dinâmicas são realizadas no segundo dia do evento. Cada prova tem sua pontuação avaliada de diferente formas e pesos, como mostrado na Tabela 2 e 3, de maneira a garantir que o melhor conjunto de projeto e carro vença a competição.

No Brasil, há equipes fortes, inclusive por empregar a tecnologia de monochoque, como o Fórmula FEI Elétrico. O monochoque é um projeto estrutural de chassi, emprega a fibra de carbono em detrimento ao tradicional aço, sendo a mesma tecnologia utilizada em carros de Fórmula 1, por exemplo. Outras equipes muito bem renomeadas são: Ampera Racing, Cheetah E-Racing, Fórmula Tesla, Unicamp E-Racing.

Tabela 2 – Provas Estáticas e Pontuação

Provas Estáticas	Pontos
Design	150
Análise de Custos e Fabricação	100
Apresentação	75

Fonte: FSAE Rules

Tabela 3 - Provas Dinâmicas e Pontuação

Provas Dinâmicas	Pontos
Prova de aceleração	100
Skidpad	75
Autocross	125
Enduro	275
Economia de Combustível	100

Fonte: FSAE Rules

2.2 Equipe Formula UFVolts Majorados

O Formula UFVolts Majorados, um Projeto de Extensão da Universidade Federal de Viçosa. Iniciado em 2015 por estudantes do curso de Engenharia Mecânica, com o intuito de aumentar as oportunidades de aprendizagem dos alunos sobre a área automotiva, tornou-se oficial aproximadamente em 2018. O carro que no primeiro momento foi projetado para atuar na categoria a combustível, os membros naquele momento decidiram que atuar na categoria elétrico iria aumentar a tecnologia envolvida, aliando-se ao futuro e a tendência mundial. Dessa forma, acabou se tornando o primeiro carro da categoria para a competição da FSAE na região da Zona da Mata.

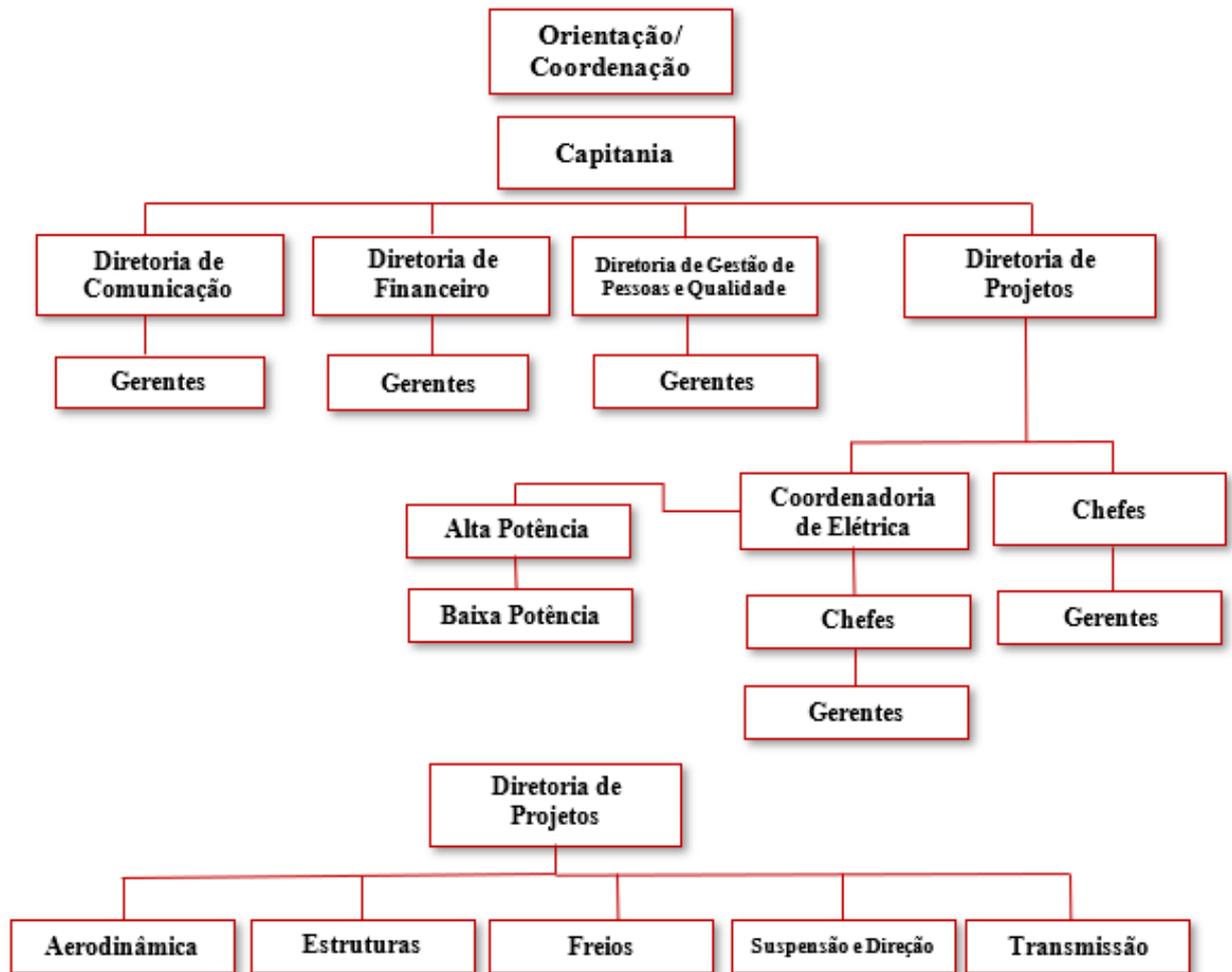
Baseada na missão de desenvolver pessoas, promover e estimular a multidisciplinaridade, inovação e produção de conhecimento, a equipe consolidou-se em seu objetivo de desenvolver um veículo elétrico para a competição Fórmula SAE, tendo participado de competições desde a sua fundação, nos anos 2017, 2018, 2022.

Figura 3 – Carro montado para competição do ano de 2018.



Fonte: Arquivos da UFVolts.

Organograma: Equipe Formula UFVolts Majorados 2022



Fonte: Autoral

2.2 *Circuito de proteção do veículo*

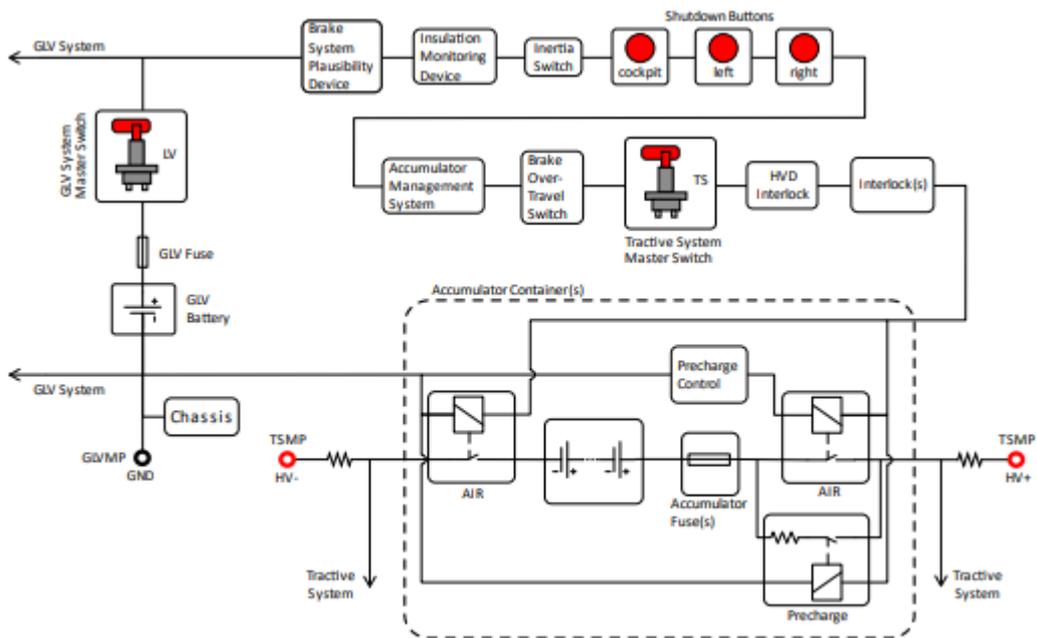
A segurança de um projeto elétrico, qualquer que ele seja, necessita ser bem estruturada caso haja imprevistos. Mesmo com dispositivos de proteção capazes de desligarem circuitos automaticamente antes que haja maiores problemas, às vezes, esses problemas podem ser detectados por olhos humanos e capazes de serem desligados de forma segura.

O Circuito de *Shutdown* ou Circuito de Desligamento, é basicamente um comando de alguns sistemas operacionais, capaz de encerrar a seção atual. Com esse comando pode adicionar uma mensagem, e ajustar o tempo em que algo designado irá desligar ou reiniciar. No caso, tem como principal função o desligamento completo do veículo, seja pelas placas executadas, por alerta de sensores ou por decisão da equipe caso notem algo fora do padrão.

É constituído por uma série de componentes elétricos, que trabalham em conjunto para enviar dados, atuando como sensores, mas também atuadores. Pelo regulamento do Fórmula FSAE, o *shutdown* deve ser efetuado pelos circuitos do Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS), Dispositivo de Plausibilidade do Sistema de Freios (BSPD), Dispositivo de Monitoramento de Isolamento (IMD), Unidade de Controle do Motor (ECU), que devem ser independentes uns dos outros, mas serem capazes de atuar em conjunto. Esse circuito integra toda parte elétrica do carro, dessa forma caso tenha que ser acionado, possui a habilidade de desligamento garantindo não só a segurança do piloto, mas também do veículo, que se espera danos mínimos quando esse está em fase de testes ou competição.

É importante ressaltar que a Equipe não visa ter a necessidade de apertar o botão de *shutdown* (desligamento total do veículo), mas deve cumprir-se não só porque o regulamento exige, mas também por responsabilidade com os membros, orientadores, patrocinadores e claro, a Universidade Federal de Viçosa, que concede ao projeto de extensão um o voto de confiança em um trabalho desafiador.

Figura 4– Esquema resumido do Circuito de Desligamento.



Fonte: Regulamento FSAE.

Brake System Plausibility Device (BSPD) - Dispositivo de plausibilidade do sistema de freios.

Insulation Monitoring Device (IMD) - Dispositivo de monitoramento de isolamento.

Inertia switch - Interruptor de inércia.

Accumulator Management System - Sistema de gerenciamento de acumuladores.

Brake over-travel switch - Interruptor de sobrecurso do freio.

3 *Materiais e Métodos*

Os programas *Collegiate Design Series* (CDS) da SAE International preparam estudantes de engenharia de graduação e pós-graduação em uma variedade de disciplinas para empregos futuros em indústrias relacionadas à mobilidade, desafiando-os com uma aplicação de engenharia no mundo real.

Através do Processo de Projeto de Engenharia, as experiências podem incluir, mas não estão limitadas a:

- Habilidades de gerenciamento de projetos, orçamento, comunicação e gerenciamento de recursos;
- Colaboração em equipe;
- Aplicação de regras e regulamentos do setor;
- Projete, construa e teste o desempenho de um veículo real;
- Interaja e compita com outros alunos de todo o mundo;
- Desenvolver e preparar documentação técnica.

Dessa forma, fica claro que, os alunos também obtêm uma valiosa exposição e envolvimento com profissionais do setor para aprimorar as habilidades de aprendizado, construir sua própria rede e ajudar a prepará-los para a força de trabalho após a graduação.

Na próxima seção, será feita uma introdução sobre os componentes que envolvem o sistema de circuitos de proteção e suas principais partes: Circuito *Shutdown*, *Battery Management System* (BMS), *Brake System Plausibility Device* (BSPD), *Insulation Monitoring Device* (IMD), *Engine Control Unit* (ECU). Assim também como os conceitos básicos das placas de eletrônica que serão utilizadas na competição com base no regulamento da Fórmula SAE.

3.1 Softwares de simulação e construção das placas

Os circuitos impressos ou chamadas “placas” em eletrônica, são usados em quase todos os produtos ou projetos eletrônicos. Alternativas para estes incluem fio revestido e construção ponto a ponto. Eles exigem um esforço no design adicional para estabelecer o circuito, mas a fabricação e a montagem podem ser automatizadas.

A fabricação inicia com os dados de fabricação de placas de circuitos impressos (PCI) gerados por um design feito em computador e informação dos componentes.

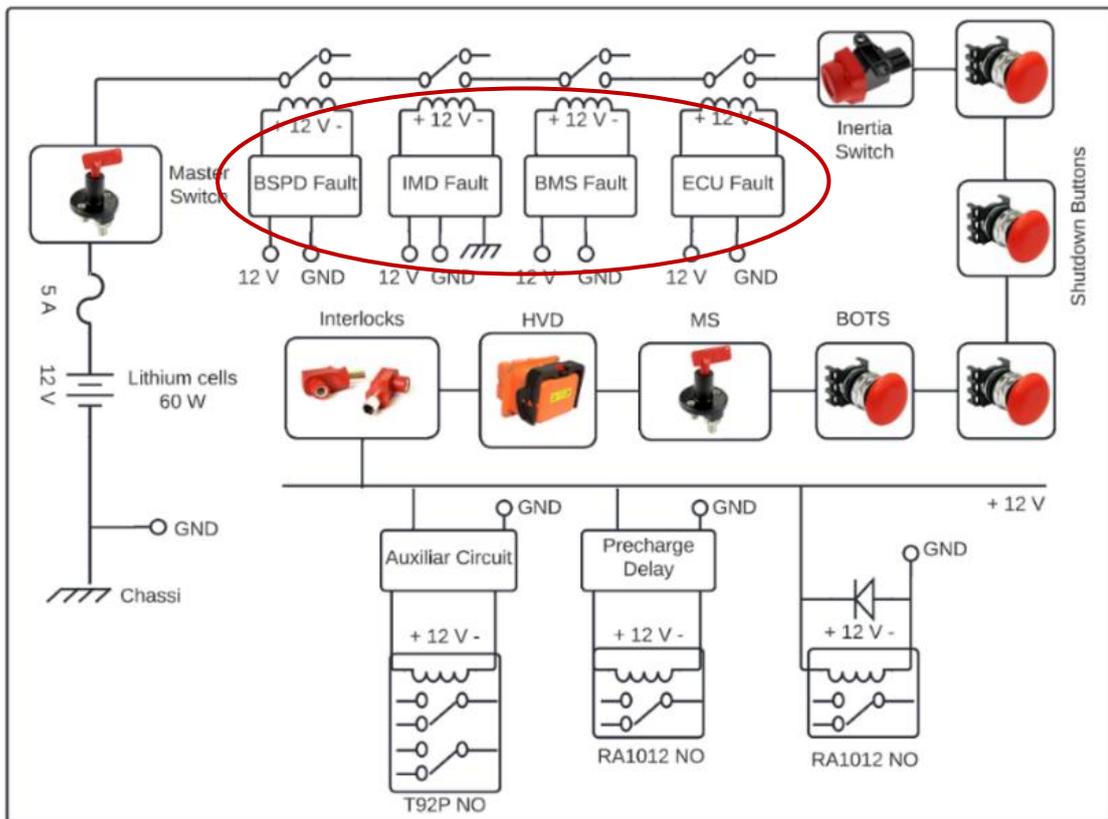
As placas desenvolvidas até o presente momento, foram feitas com a utilização do programa Proteus. É um software muito conhecido e utilizado para criação de projetos eletrônicos, possuindo várias ferramentas, como captura esquemática, simulação e módulos de projetos de placas de circuito impresso (PCB, na sigla em inglês), usadas principalmente para o projeto de circuitos integrados, o qual nossa equipe utiliza. Outra aplicação do Proteus muito aproveitada no projeto é a criação de esquemáticos e impressões eletrônicas. Esses sistemas eletrônicos de placa que serão desenvolvidos pela parte da Baixa Tensão no organograma do projeto.

3.2 Principais Circuitos de Proteção

Circuito de Desligamento (*Shutdown Circuit*) – Uma das partes mais importantes e que é imprescindível todo carro conter e o piloto entender o mesmo, é o circuito de desligamento pela atuação de reles de potência da bateria (AIRs – *Accumulator Isolation Relays*) em caso de falha de algum sistema elétrico integrado pelo circuito do carro ou algum membro achar necessário. Quando ele atua, o barramento de alta tensão deverá ser desligado em até cinco segundos, assim a Equipe poderá brevemente fazer manutenção caso haja necessidade, em segurança. Seguindo o Regulamento da FSAE 2022.

A figura 6 apresenta o esquemático do *shutdown*, apresentando os principais circuitos de desligamento: BSPD, IMD, BMS, ECU. Nele é possível identificar os relés de isolamento de alta potência (RA1012, T92P) e seus circuitos auxiliares de acionamento.

Figura 5 – Esquemático do *Shutdown*.

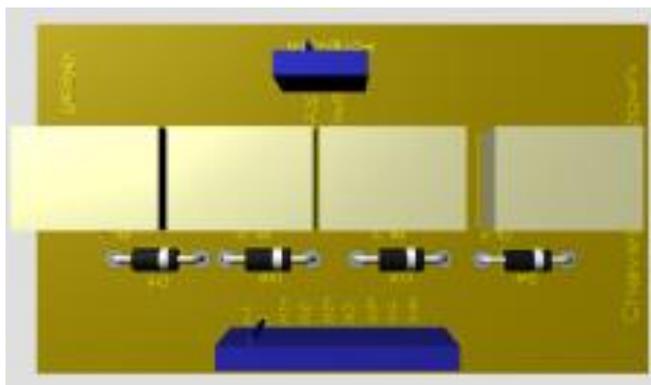


Fonte: Regulamento FSAE.

Um esquema explicativo do circuito de desligamento é necessário, tanto para entrega do projeto e para conhecimento da Equipe. O circuito de desligamento transporta diretamente a corrente que aciona as bobinas dos Relés de Isolamento do Acumulador (AIRs). Esse consiste em pelo menos duas chaves mestras, três botões de desligamento, o interruptor de travagem durante o deslocamento, o dispositivo de monitorização de isolamento (IMD), o interruptor de inércia, dispositivo de plausibilidade do sistema de freio (BSPD), todos os intertravamentos necessários e o gerenciamento das baterias do acumulador (BMS), Sistema (AMS).

Todos os circuitos que fazem parte do circuito de desligamento devem ser projetados de forma que no estado desenergizado/desconectado eles estão abertos de tal forma que cada circuito removerá a corrente controlando os AIRs.

Figura 6 – Ilustração placa de relés de *shutdown*.



Fonte: Autoral UFVolts Majorados.

Deve também ser possível demonstrar que todos os recursos do circuito de desligamento funcionam corretamente, incluindo todos os bloqueios. Todo sistema necessário ou capaz de abrir o circuito de desligamento deve ter seu próprio sistema, estágio de potência não programável. Os respectivos estágios de potência devem ser projetados de tal forma que uma falha não pode resultar na realimentação de energia elétrica nas bobinas do AIRs após a revisão do sistema.

A base para tal desenvolvimento é o regulamento FSAE de 2022, considerando a disponibilidade, características uteis, limites impostos e como será implementado. Limites esse como o de tensão, corrente, botões, intertravamentos etc. Em seguida, feita uma análise de

dados disponível e placas já desenvolvidas, procurando integrar o sistema para verificação das normas e conferir se o circuito está correspondendo a mesma, a fim de fazer testes, adaptação e conexão com todas as partes do carro, dentro do cronograma.

Esse circuito é um ciclo que gera informações e reações, que se cada vez mais se aproximar do tempo real, a análise é feita de forma mais rápida, por exemplo, decidir o melhor momento para desligar completamente o veículo por segurança ou se realmente esse desligamento será necessário. (KANISHKAVIKRAM, Purohit. Soft Sensors for State of Charge, State of Energy, and Power Loss in Formula Student Electric Vehicle).

Todos os sensores, placas desenvolvidas, devem ser testados para que o conjunto de dados tenha como mostrar as saídas, possíveis alertas, histogramas de erro dos conjuntos de dados de treinamento, validação e finalmente a aprovação. Desse modo, passando das fases de testes, podemos obter novos gráficos, tempo de retorno para o computador que monitora o carro e para o próprio painel do piloto. O tempo de resposta dos sensores é muito importante, por isso, o circuito eletrônico estando organizado e fazendo a conexão certa com o carro, qualquer falha será vista e reparada de uma forma rápida, evitando assim danos permanentes e acidentes.

O BMS (*Battery Management System*) possui um sistema de segurança que desconecta a bateria do resto do carro em caso de curtos ou falhas elétricos ou se os valores lidos da bateria estiverem fora do esperado. O balanceamento de carga entre as células da bateria permite um uso mais eficiente da energia armazenada, e conseqüentemente aumenta a autonomia do carro. Também, monitora constante condições vitais para o funcionamento da bateria, como tensão, corrente e temperatura.

O BMS utilizado é da EMUS, um dispositivo bem sofisticado e com bastante funções. Suas principais funções envolvem manter a tensão das células equilibradas, manter a temperatura das células abaixo de 60°C e controlar o fluxo de recarga dos módulos de baterias, em termos práticos é monitorar a bateria, composta por um conjunto de células. Não menos importante o BMS também traz informações sobre potência, estado de carga e tensão das baterias em tempo real.

qualquer parâmetro de célula resultar em erro ou tempo limite, esse parâmetro de célula é considerado não mais válido e o esquema de priorização é ignorado, dando prioridade exclusiva à aquisição no próximo período.

O período de monitoramento do parâmetro da célula depende do número de células na bateria e é na maioria das vezes igual a milissegundos, mas é gradualmente aumentado para vários segundos se o sistema estiver inativo (ou seja, o carregador está desconectado, a entrada de ignição está em um estado baixo, corrente medida é igual a zero, e todos os valores dos parâmetros da célula são válidos).

$$10ms + \frac{\text{"Número total de células"}}{5} \text{ (I)}$$

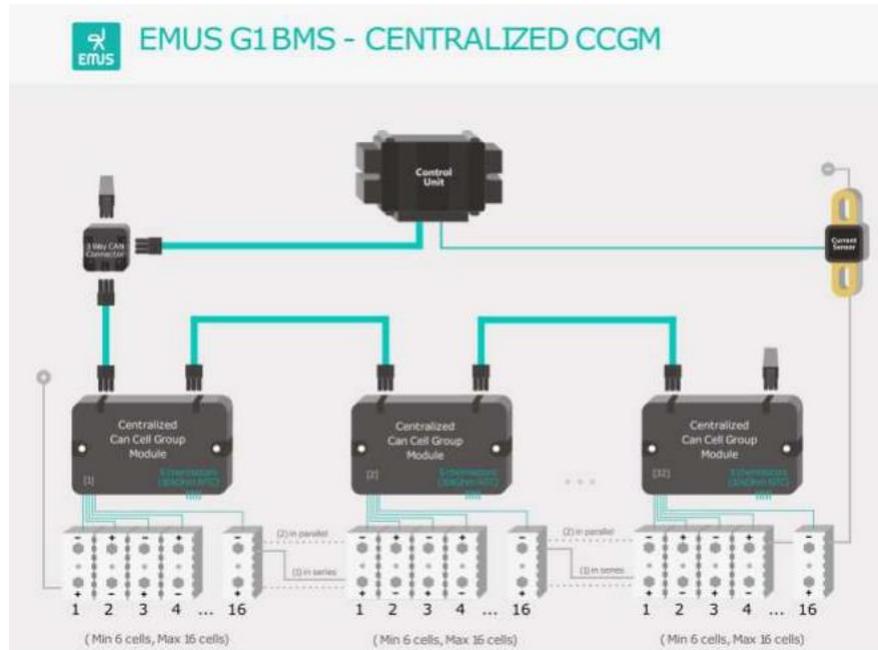
Onde “Número total de células” é o valor de um parâmetro de configuração correspondente”.(MANUAL EMUS).

Figura 9 – Control Unit EMUS utilizada.



Fonte: Autoral

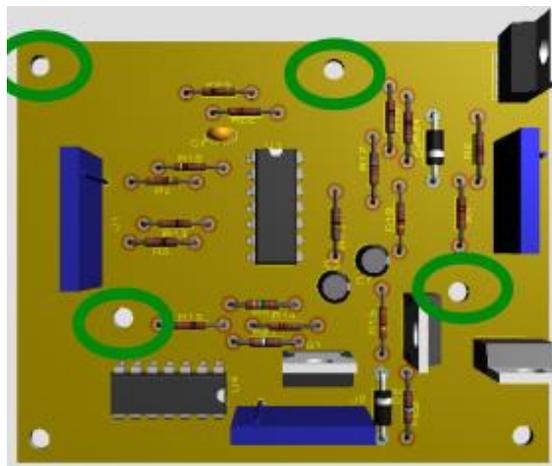
Figura 10 –Módulos de Grupo de Células CAN Centralizado (CCGM022D).



Fonte: Manual EMUS.

O BSPD, (*Brake System Plausibility Device*), é um dispositivo que visa desligar o sistema de tração do carro, segundo o regulamento da FSAE, sempre que o pedal do freio for pressionado bruscamente e uma corrente estiver sendo fornecida pelas baterias que produza uma potência superior a 5kW. De uma forma prática, o BSPD vai evitar que o piloto pressione exageradamente o acelerador com o freio ao mesmo tempo, além de monitorar a posição do pedal do freio e detectar quando o seu sensor for danificado (tensão acima de 4,5V e abaixo de 0,5V).

Figura 11 – Ilustração placa BSPD.



Fonte: Autoral UFVolts Majorados.

O ECU (*Engine Control Unit*), é uma unidade de controle do motor, ele é responsável por estabelecer os limites de operação do sistema de tração, como velocidade angular máxima, torque máximo e mínimo e potência máxima. Caso o motor opere fora desses limites, falhas podem ser enviadas ao sistema de desligamento, de forma que toda a corrente que flui do acumulador pare imediatamente.

ECU é classificado como essencial, pois não somente recolhe uma série de informações relevantes para dirigibilidade do veículo, possibilitando posteriores evoluções no desempenho do projeto, mas também é essencial para a segurança do piloto e do veículo.

O Dispositivo de Monitoramento de Isolação, o IMD, monitora o sistema não aterrado entre um condutor de fase ativa e o terra. Destina-se a dar um alerta (luz) ou desligar a alimentação quando a resistência entre os dois condutores cai abaixo de um valor definido para o propósito que estará sendo utilizado.

O IMD é responsável por avaliar se a resistência entre os condutores de alta tensão do sistema de tração e a referência de terra, no caso o chassi, está conforme regulamentação da SAE ($>500\Omega/V$). Este dispositivo é usado para monitorar a condição do isolamento do sistema de alimentação por corrente contínua (CC) assim como para o setor pós-inversor, que opera em corrente alternada (CA). Em outras palavras o IMD vai isolar o potencial tensão da bateria com o chassi.

3.3 Testes para verificar o funcionamento das placas

Quanto mais mexe-se na placa eletrônica, menores são as chances de sucesso de reparo. Toda vez que dessoldasse ou solda-se componentes, causa um pouco mais de dano nas trilhas e ilhas da superfície, até o ponto que torna o reparo impossível. Por isso é fundamental evitar a retirada e recolocação excessiva de componentes para testá-los fora, e, para tanto é importante conseguir testar os componentes na própria placa (*test in circuit*).

Testar um componente na placa é um grande problema, visto que ele nunca está isolado. Quando testamos um componente na verdade estamos testando-o junto com outros componentes ligados nele.

O teste em Protoboard é conhecido como matriz de contatos ou placa de ensaio, pois nela é possível montar circuitos eletrônicos para teste ou provisório. Com ela pode-se montar e desmontar circuitos rapidamente, identificar problemas, trocar componentes e modificar, caso seja necessário, sem necessidade de confeccionar uma PCI ou efetuar soldas. A vantagem é que os componentes podem ser retirados e usados em montagens no futuro.

O Multímetro mede o valor da impedância do circuito. Comparando o valor medido com a especificação deixada pelo software é possível saber se o componente está com defeito. É um método simples e eficiente para medir circuitos com o mesmo tipo de componente, mas não é tão seguro, logo executou-se apenas testes simples, como os de continuidade em todos os componentes presentes. O multímetro foi o mais utilizado nas placas que integram nosso presente sistema.

Teste Funcional, outro tipo de análise nesses casos, é quando se realiza o teste com a placa ligada medindo tensão, corrente, forma de onda etc. Através da análise dessas medidas foi localizado o que estava fora do normal no circuito. Os principais instrumentos para esse teste são o Osciloscópio e o Multímetro (na escala de tensão ou corrente). É um teste muito eficiente, mas exige um grande conhecimento do circuito, mesmo assim ele tem sido utilizado nos nossos métodos. Porém, o osciloscópio utilizado apresentou alguns gráficos e resultados que não foram

compreendidos, o que ficou em aberto se o problema era no próprio aparelho ou realmente na placa onde foi feito o teste.

O principal tipo de teste, seria quando montado o veículo, fosse testado todas as situações emergências e observar o comportamento do sistema integrado e independente, em outras palavras, a resposta dessas placas. Esses testes só serão possíveis no próximo ano, perto da próxima competição. No próximo capítulo, será apresentado o que se espera de cada placa em funcionamento ou caso de falha.

3.4 Indicadores de funcionamento e resposta do veículo

Essa seção enfatiza diferentes sistemas de segurança, medidas tomadas para garantir o bom funcionamento dos componentes elétricos quando colocados em funcionamento no carro, seja o oficial ou um próximo protótipo. As tabelas que serão apresentadas de possíveis falhas, precisam de atenção e agir a tempo adequadamente. Dessa forma, fica-se mais claro realizar os testes e assegurar que em certas situações o carro prossiga com a saída correta, dentro do regulamento e priorizando a segurança. Além de garantir pontos na competição e deixar o carro apto a competir.

3.4.1 *Ready to Drive e Shutdown*

Tabela 4 – Aprovação técnica no teste *Ready to Drive*.

Passos	Output/Saída	Significado
É necessário verificar se os AIRs estão fechados via tensão sensor.	Prosseguir para verificação da entrada do motorista no carro.	Se estiver tudo correto, as baterias estão prontas para serem fonte de alimentação e todos os sistemas estão funcionando devidamente.
Certificar de travar forte e manter botão de partida pressionado, o pedal do acelerador não deve estar pressionado.	Se não houver falha no circuito de desligamento, o sinal sonoro auditivo será acionado.	O freio deve ser pressionado para evitar solavancos e o motorista poderá utilizar o botão para iniciar o veículo.
Conectar o acelerador ao controlador do motor.	Carro está pronto para dirigir, “Ready to drive”.	O carro irá acelerar se o acelerador for pressionado.

Fonte: Artigo Safety System of an Electric Vehicle for Formula Racing.

Tabela 5 – Falha nos botões de *shutdown*.

Tipo de falha	Parâmetros	Correção ou detecção
Conexões elétricas danificadas.	A continuidade no circuito de desligamento está quebrada.	AIRs são abertos e o circuito de desligamento ativado.
O botão está danificado e não funciona.	A atuação de emergência não irá desligar o carro.	3 botões de desligamento fornecidos como uma contingência.

Fonte: Artigo Safety System of an Electric Vehicle for Formula Racing.

3.4.2 BMS

Tabela 6 – Modo de falha BMS.

Tipo de falha	Parâmetros	Correção ou detecção
Caso o BMS detecte um problema na temperatura ou tensão da célula na célula.	Deve fornecer uma lógica baixa no pino de saída de falha.	A trava dedicada para BMS é acionada e o circuito de desligamento é aberto.
Se a sobrecarga da bateria for detectada.	Fornecerá uma lógica baixa no pino de saída HLIM.	A trava dedicada para BMS é acionada e o circuito de desligamento é aberto.
Na condição de danos aos fios de sinal interno ou sensores.	Os interruptores BMS são desligados e mostra mensagem de erro.	A trava é acionada e o circuito de desligamento é aberto.

Fonte: Artigo Safety System of an Electric Vehicle for Formula Racing.

3.4.3 BSPD

Tabela 7 – Modo de falhas BSPD.

Tipo de falha	Parâmetros	Correção ou detecção
Pedal do freio danificado ou conexão perdida.	A tensão ambiente será exibida na saída do sinal.	Os resistores pull up garantem que a falha seja detectada pela ECU e mostrada no LCD ou monitor.
Sensor de corrente danificado ou conexão perdida.	A tensão ambiente será exibida na saída do sinal.	O resistor pull up garante a ação do BSPD.
BSPD perde energia.	A trava não será ligada	Nenhum tipo relé garante o desligamento no corte de energia.

Fonte: Artigo Safety System of an Electric Vehicle for Formula Racing.

3.4.4 IMD

Tabela 8 – Modo de falhas IMD.

Tipo de falha	Parâmetros	Correção ou detecção
O IMD detectar a perda de isolamento.	Ir� acionar a entrada de trava baixa.	A trava IMD dedicada � acionada e permanece assim até que a falha seja eliminada.
O IMD perder liga�o a HV+, HV- ou GND de referência.	Ir� conduzir entrada de trava baixa.	A trava IMD dedicada � acionada e permanece assim até que a falha seja eliminada.
O IMD perder a conexão com a trava.	Ter� tensão ambiente na entrada da trava.	O resistor de pull down garante que a entrada de trava acione o nível baixo e o gatilho de trava.

Fonte: Artigo Safety System of an Electric Vehicle for Formula Racing.

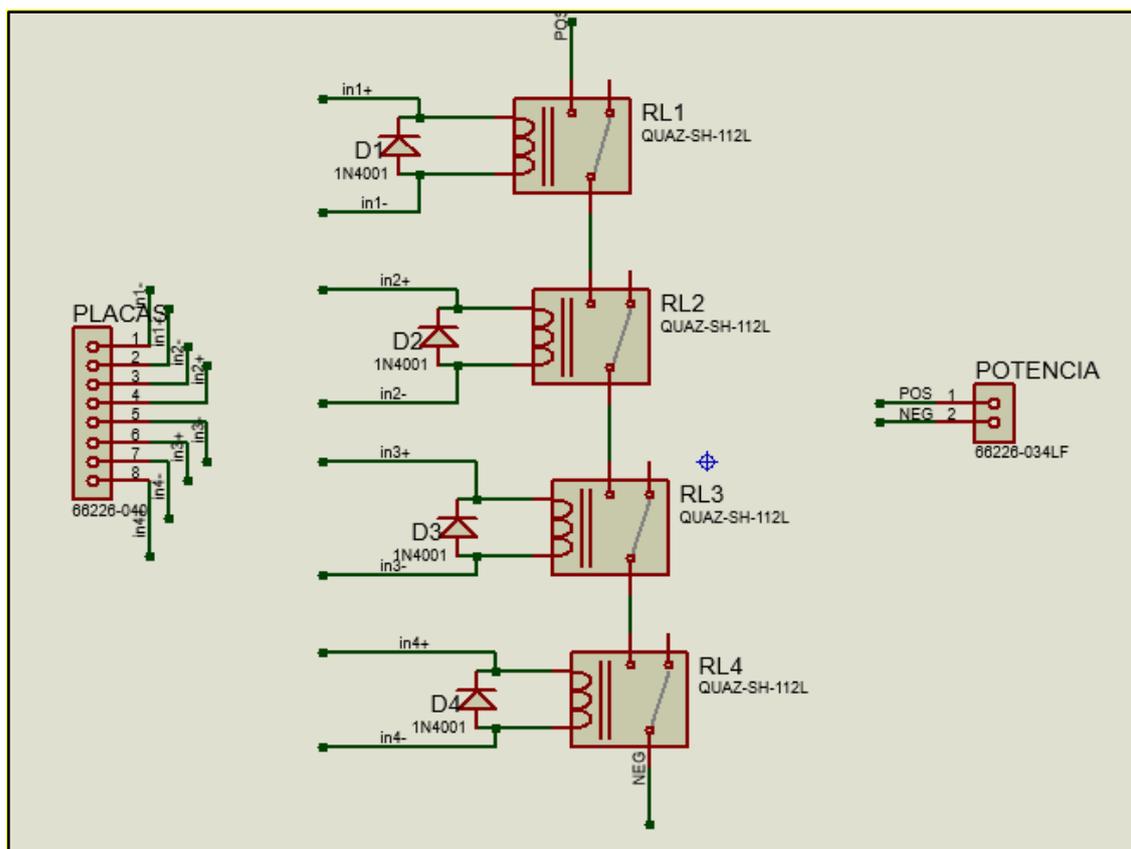
4 Resultados e Discussão

O prazo proposto pela chefia de Baixa Tensão, tinha como data proposta para finalização do circuito de *Shutdown* no último dia de Outubro, 2022. Mas, como outras necessidades surgiram no projeto, não foi possível a conclusão integral. Mesmo assim, grande parte do que será utilizado no carro para a próxima competição está pronto.

4.1 Circuito de *Shutdown*

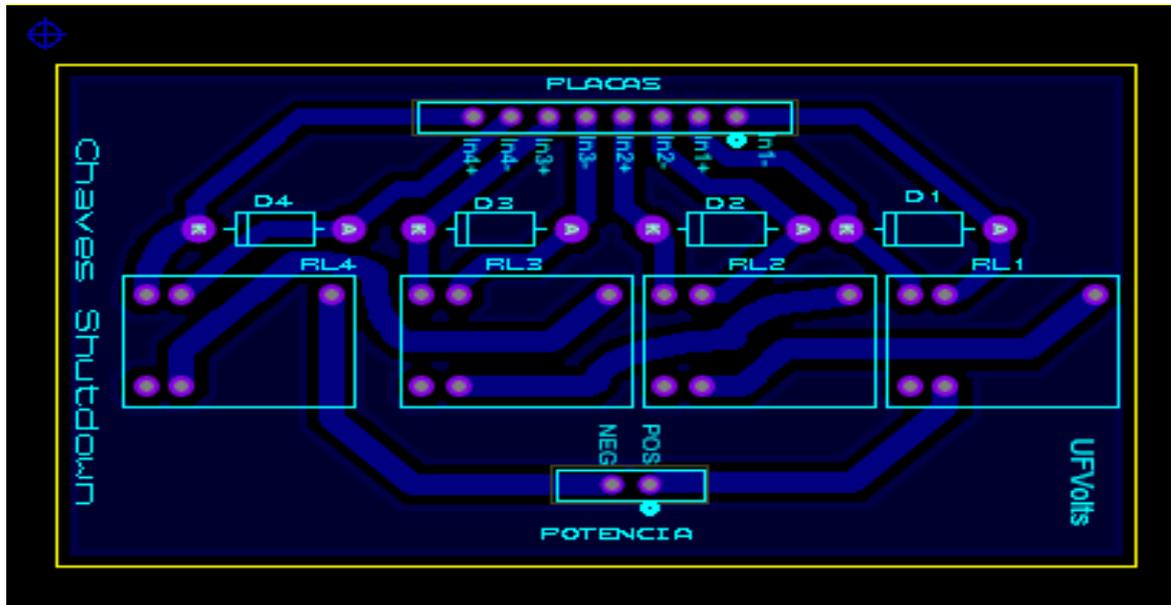
O circuito e layout elaborados apresentam os relés que serão acionados pelo IMD, BSPD, BMS e ECU, com seus estágios de potência independentes. Cada relé está conectado em série dentro do circuito de desligamento, como mostrado pela Figura 12.

Figura 12 – Relés para chaveamento do IMD, BSPD, BMS e ECU.



Fonte: Autoral UFVolts Majorados.

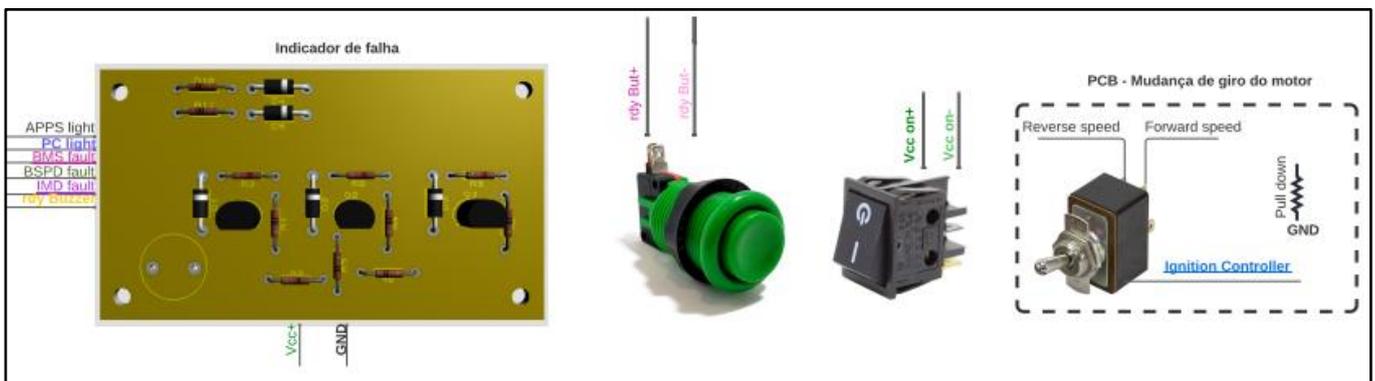
Figura 13– Layout da placa de relés de chaveamento do IMD, BSPD, BMS e ECU.



Fonte: Autoral UFVolts Majorados.

Abaixo, na Figura 14 , está uma ilustração feita para mostrar os componentes que necessitam estar presentes no painel do carro, segundo o regulamento, necessários para o piloto estar apto a pilotar o carro. Além da placa, botão para ligar/desligar, botão de reverse e um botão de energia para ser acionado manualmente. A função desta placa está em indicar que o carro está pronto para dirigir, do inglês, *Ready to Drive*. Ela verifica se o carro está cumprindo todas as funções exigidas. A Tabela 9, mostra todo o procedimento a ser seguido.

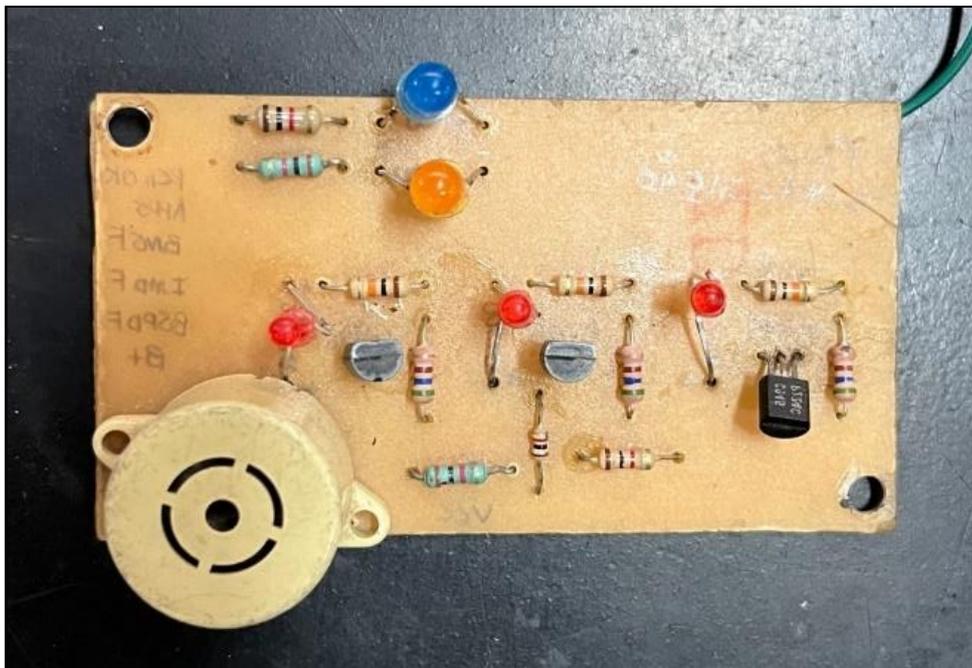
Figura 14 – Imagem ilustrativa do painel do carro.



Fonte: Autoral UFVolts Majorados

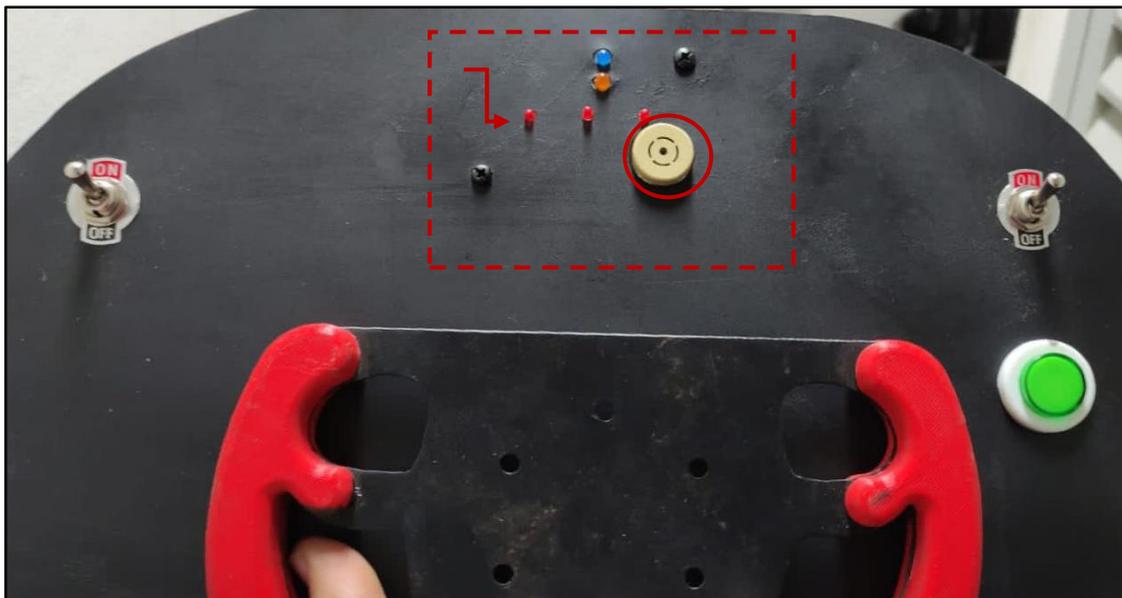
A placa *Ready to drive* pronta está presente no protótipo do painel do carro, segundo os requisitos do regulamento. O led azul e laranja mostram para o piloto se o carro está em modo “frente” ou “ré”, respectivamente. Os leds em vermelho acesos e o buzzer (sinal sonoro), sinalizam que o carro está pronto para dirigir, representados nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 – Placa do circuito *Ready to Drive* antes de ser parafusada no painel do carro.



Fonte: Autoral

Figura 16 – Vista do protótipo do painel do carro.



Fonte: Autoral

Obs.: O sinal sonoro deve ser audível a um raio 2m para indicar que o veículo entrou no modo pronto para dirigir, assim como os leds vermelhos acesos, destacados na Figura 16.

A seguir, na tabela 9, estão as ações necessárias para aprovação técnica do teste “*Ready to drive*”.

Tabela 9 – Procedimentos para entrar no modo *Ready to drive*.

<p><i>Ready to drive/Modo pronto para dirigir.</i></p>	<p>Ações adicionais são necessárias para colocar o carro no modo Ready to drive:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1- Habilitar sistema de tração (ST) 2- Pressione o pedal de freio e botão de partida. 3- Pressione o acelerador. O motor deve girar. 4- Pressione o botão desligar. 5- Solte o botão de desligar e ative o ST. 6- Pressione o acelerador. O motor não deve girar. 7- Pressione o freio e o botão iniciar. 8- Pressione o acelerador. O motor deve girar. 	<p>A equipe deve demonstrar como o carro é configurado para o modo Pronto para dirigir pelo motorista.</p> <p>(Pressionar o pedal do freio é obrigatório).</p>
<p><i>Teste sensor sonoro – Ready to drive.</i></p>	<p>O carro deve emitir um som característico, uma vez, mas não contínuo, por pelo menos 1 segundo e no máximo 3 segundos quando estiver pronto para dirigir. O nível sonoro deve ser no mínimo 80dBA, ponderação rápida, em um raio de 2m ao redor do carro. O som usado deve ser facilmente reconhecido.</p>	<p>Verifique o som Ready to drive quando a equipe ligar o veículo.</p>

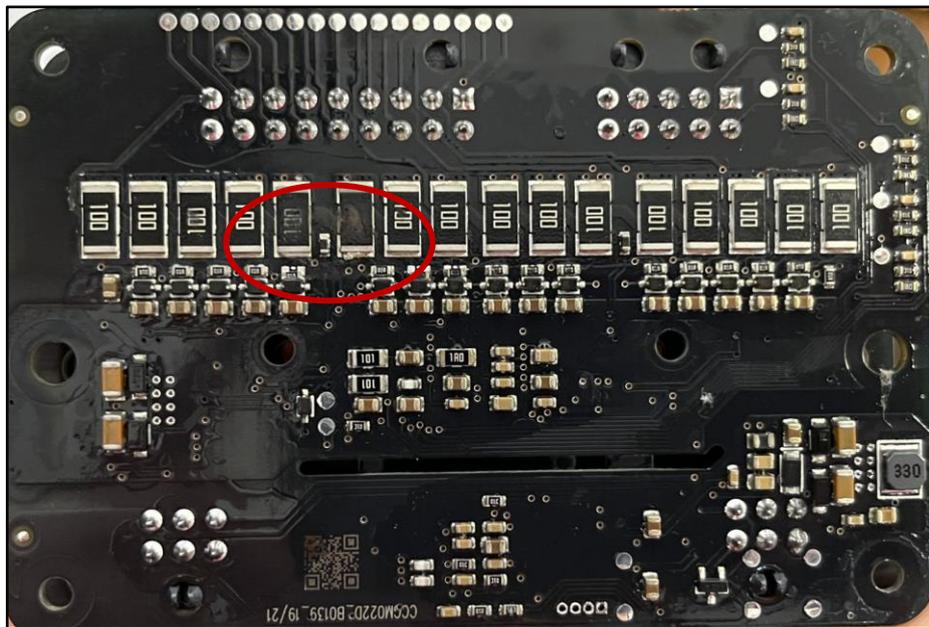
Fonte: Regulamento FSAE.

4.2 BMS

O BMS, após vários testes junto com a Alta Potência, outro setor da Coordenadoria da Elétrica, notou-se algumas falhas na leitura das células da bateria, o que poderia ser o próprio módulo de leitura ou as baterias. Foram realizados vários testes para tentar encontrar de onde viriam as falhas e por quê.

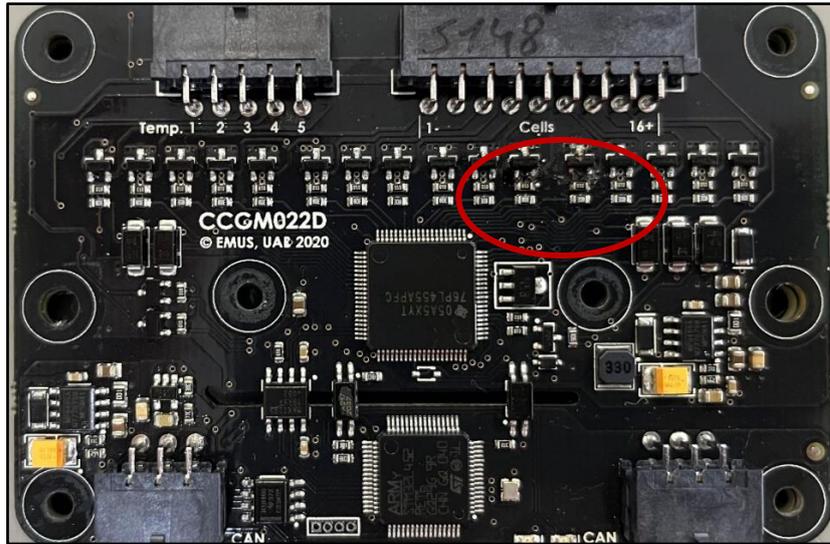
Para continuar verificando o BMS, foi constatado uma inconsistência em um dos módulos mais precisamente o 5148, Figura 17, que quando ligado não fazia corretamente a leitura da quantidade correta de células e, a cada vez que se buscava no próprio programa da BMS, “Discovery devices”, apresentava um valor diferente de células, bem como nunca o valor correto do conjunto de baterias (*pack*). Dessa forma, o BMS foi aberto e verificado que continha componentes queimados, que estão em fase de reparação.

Figura 17 – Módulo 5148.



Fonte: Autoral.

Figura 18 – Módulo 5148 verso.



Fonte: Autoral.

Obs.: Na parte destacada em vermelho, nota-se que houve algo fora do usual no módulo.

Uma hipótese para a danificação seria durante a configuração dos módulos através da interface com o computador, os módulos suportam correntes inferiores a 400mA, e foi configurado uma corrente de balanceamento cerca de 2,8 A entre as baterias (10% da sua capacidade nominal). Isso pode ter sido a causa da queima, visto que não foi utilizado fusíveis de proteção nas entradas dos módulos. Dessa forma, para novos testes, se torna necessário inserir fusíveis ultrarrápidos de proteção de 500mA para cada pino de entrada dos módulos.

Figura 19 – Exemplo da leitura do Aplicativo BMS EMUS.



Fonte: Autoral - BMS EMUS.

4.3 ECU

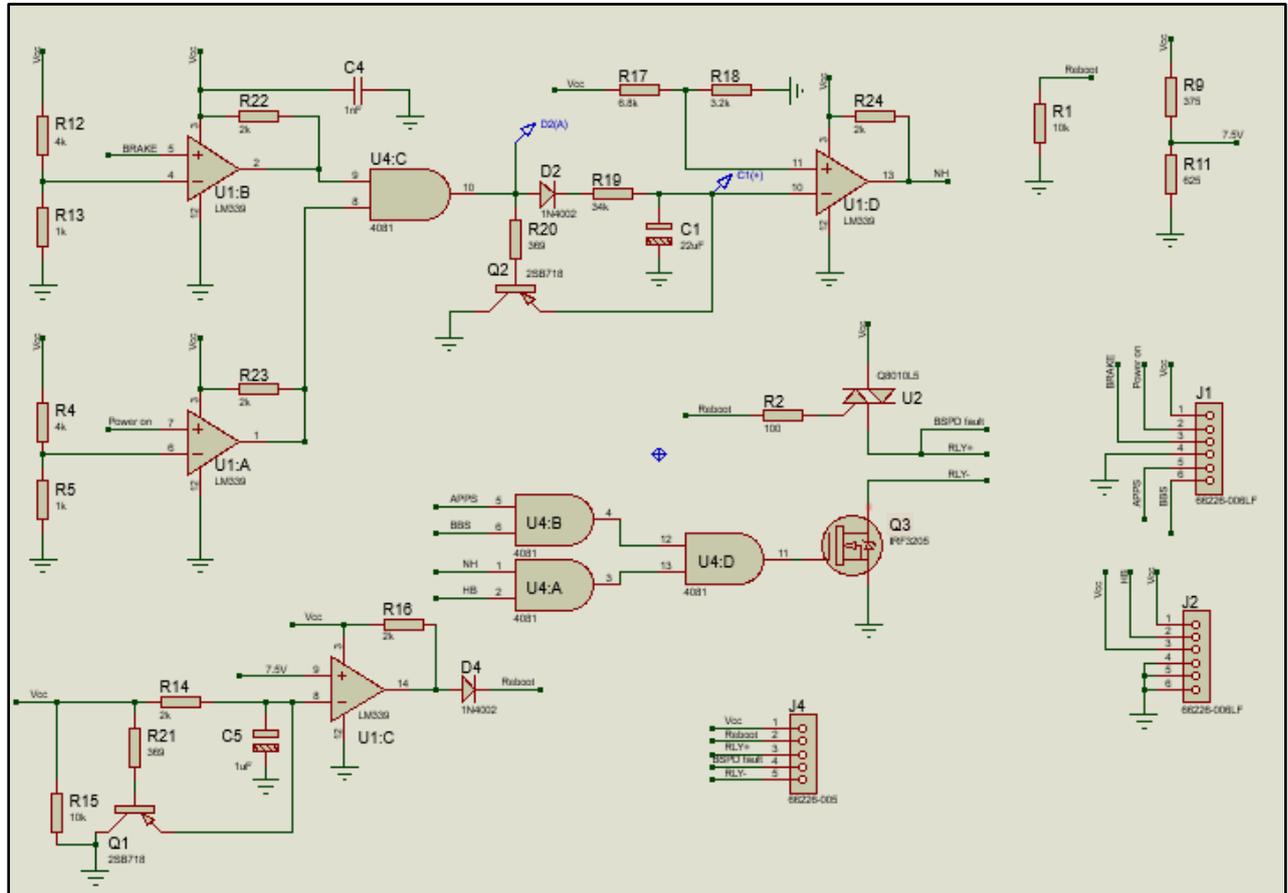
O *Engine Control Unit* (ECU) deve ser desenvolvido para atuar no veículo elétrico de acordo com o regulamento da FSAE, estabelecendo os limites de velocidade, torque e potência programando o controlador para esse fim.

No caso particular da Equipe UFVolts Majorados, possui-se um módulo de BMS bastante completo, EMUS G1, que pode ser utilizado para monitorar a potência entregue pelo acumulador ao sistema de tração e detectar falhas por altos picos de potência. Dessa forma, fica-se decidido tanto por logística de tempo e preparação, quanto por orçamento, ampliar as funções do módulo de leitura para realizar as funções do ECU no veículo.

4.4 BSPD

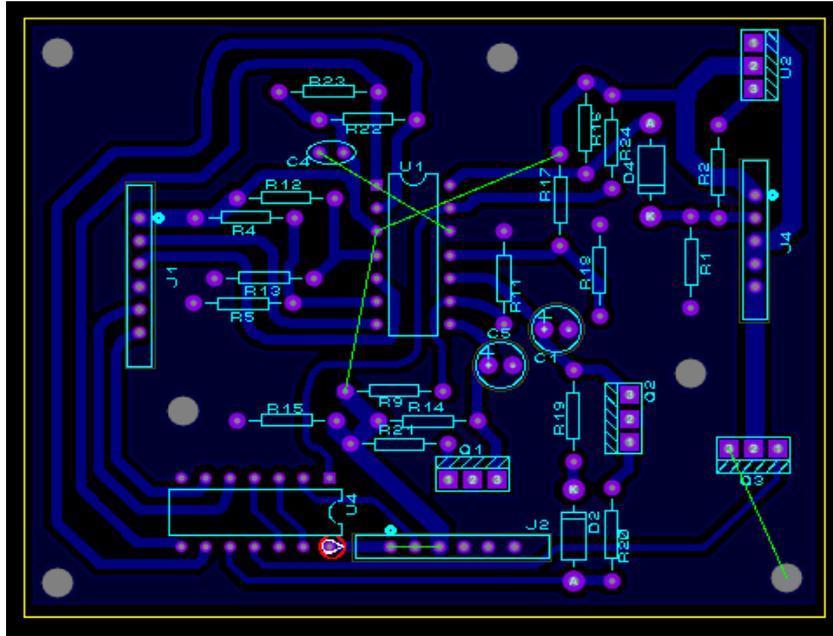
O circuito e layout desenvolvidos para realizar as funções designadas ao BSPD, estão presentes nas figuras abaixo.

Figura 20 – Circuito BSPD.



Fonte: Autoria UFVolts Majorados.

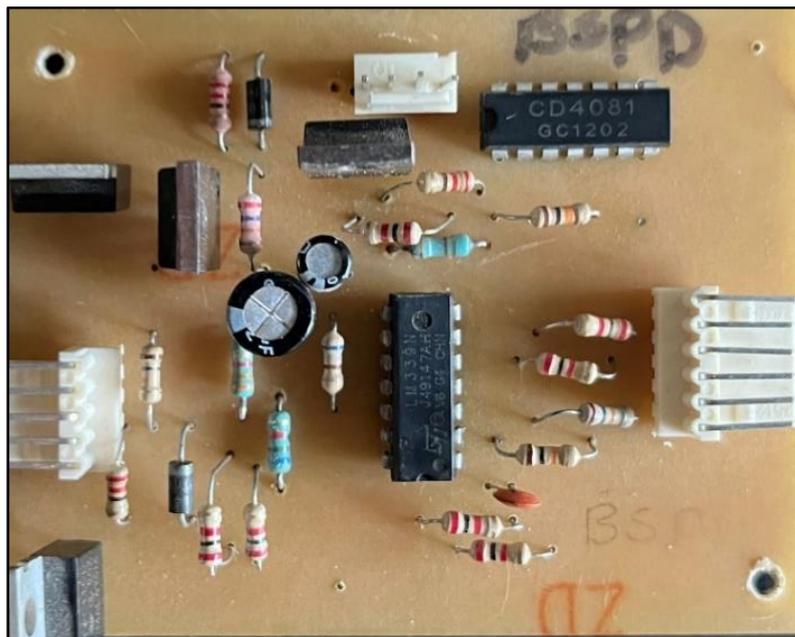
Figura 21 – Layout da placa BSPD.



Fonte: Aatoria UFVolts Majorados.

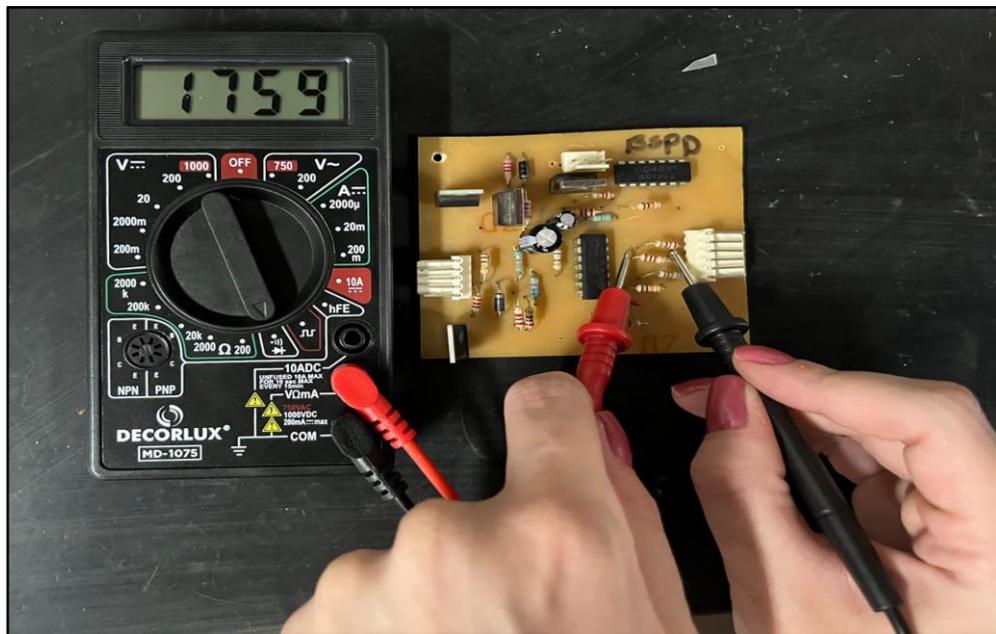
O BSPD, foi testado no programa Proteus, no protoboard e aprovado. Está pronto para ser utilizado. Também fizemos teste de continuidade utilizando um multímetro para testar os componentes, ilustrados na Figura 23.

Figura 22 -Placa BSPD.



Fonte: Autoral.

Figura 23 – Teste de Continuidade nos Componentes.



Fonte: Autoral.

4.5 IMD

O IMD como apresentado no capítulo 3, seção 3.2, foi comprada pronta como mostra a Figura 25, mas necessitava da realização também da placa IMD auxiliar.

Essa placa auxiliar tem função de ampliar e condicionar os sinais de falha e estabelecer o tempo máximo de acionamento.

Em outras palavras, o IMD *signal* é o sinal referente às falhas do IMD, que durante o auto-check ele irá de alto para baixo em até 10 segundos, se o isolamento estiver baixo. Se esse tempo é ultrapassado e a falha é acionada vai passar pelo circuito do IMD auxiliar. O temporizador 555 vai controlar o tempo em que o IMD acusar falha.

Figura 24 – Placa IMD IR155-3203/04.



Fonte: BENDER.

Na tabela 10, observa-se algumas respostas a situações que o IMD deve realizar em certas circunstâncias, o que serve para ter como base na hora da realização de testes no veículo ou protótipo dele.

Tabela 10 – Testes do IMD segundo o Regulamento.

<i>IMD teste</i>	O IMD deve abrir o circuito de desligamento em até 30 segundos quando a falha de isolamento é presente.	Teste HV+
	<ol style="list-style-type: none"> 1- Ativar o sistema de tração (TS). 2- Caixa de teste com conexão entre a saída da bateria e o chassi para avaliar o funcionamento do IMD. 3- O IMD deve disparar em até 30 segundos e a tensão TS cair abaixo de 60Vcc em 5 segundos. 	Teste HV-
<i>IMD</i>	A luz indicadora do IMD dentro do cockpit deve estar marcada “IMD”, deve ser vermelha e estar visível mesmo com luz solar intensa.	Verificação visível
<i>IMD ou BMS falhas para desabilitar TS</i>	O sistema de tração não pode retomar automaticamente ao estado ativo depois que o resistor de teste IMD foi removido ou um erro do BMS o desativou. O motorista não deve ser capaz de reativar o sistema de tração.	Demonstrado pela Equipe

Fonte: Regulamento FSAE.

5 *Conclusões e trabalhos futuros*

Este trabalho proporcionou grande aprendizado na área de eletrônica quanto no setor de Baixa Potência, da Equipe Formula UFVolts Majorados. Todo processo necessitou de intensa pesquisa e repasse de conhecimentos, em relação a eletrônica automotiva, recuperar dados antigos e fazer melhorias de acordo com regulamento e equipamentos atuais de 2022.

Devido à complexidade e responsabilidade do projeto eletrônico como um todo, grande parte dele foi desenvolvida no trabalho, como os elementos principais do circuito *shutdown* ou circuito de desligamento do carro, *Battery Management System (BMS)*, Brake System Plausibility Device (BSPD), Insulation Monitoring Device (IMD), Engine Control Unit (ECU).

Foi construído e verificado todos os circuitos, esquemáticos e placas prontas que compõem o circuito. Todas, exceto a placa IMD auxiliar se encontram prontos para serem utilizados no carro apto a competição FSAE. Na placa IMD auxiliar falta apenas implementar e soldar os componentes. A ECU será implementada nos próximos meses no módulo de EMUS do Sistema de gerenciamento de bateria (BMS).

Apesar do prazo não ter sido suficiente para finalização completa, esse trabalho fica como facilitação e material de estudo para atuais e futuros membros da Equipe. Além de conter as respostas para testes a serem realizados quando o carro estiver montado, principalmente para validação final de todas as placas e dispositivos de proteção.

Dos sistemas de segurança do carro em geral, verificou-se que os requisitos impostos pela organização possuem um caráter de alto nível, ficando a cargo dos desenvolvedores da equipe a definição de muitas escolhas importantes de projeto a partir desse momento.

Sugere-se então, para trabalhos futuros, a finalização dos testes e validação restantes nas placas não finalizadas, utilização de um protocolo de segurança de dispositivos elétricos para evitar danos aos equipamentos da Equipe UFVolts Majorados e testes finais quando todo circuito de proteção for introduzido no carro, previsto para o primeiro semestre de 2023.

Referências Bibliográficas

[1] BARHAM, Matt. ***Design and development of the Electrical Systems in an Electric Formula SAE race car.*** New Zealand, 2017. Acessado em: 05 de Março de 2022.

[2] CAMPOS, André. **Montagem de circuito na protoboard.** Disponível em: <<https://blogmasterwalkershop.com.br/electronica/montagem-de-circuito-na-protoboard>>. Acessado em: 25 de Setembro de 2022.

[3] CHIPTRONIC. **Motor Elétrico Automotivo: Entenda As Diferenças e Vantagens.** 2021. Acessado em: 02 de Março de 2022.

[4] COSTA, Evaldo. **O que são os veículos elétricos?**.2013.Disponível no site: <<http://www.verdesobrerodas.com.br/p/sobre-o-carro-eletrico.html> COSTA 2013>.Acessado em 10 de Maio de 2022.

[5] Equipe Epower Ufrgs. **Desenvolvimento de sistema BSPD.** Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/epowerufrgs/2021/07/08/desenvolvimento-de-sistema-bspd/>>. Acessado em: 24 de Julho de 2022.

[6] ERBOZ, Gizem. ***How to define Industry 4.0 Main Pillars.*** Acessado em: 19 de Março de 2022.

[7] *Formula SAE.* Disponível em: (<https://www.sae.org/students>). Acessado em: 01 de Junho de 2022. Citado na página 25.

[8] FSAE. **Formula SAE Rules 2017-2018.**

[9] FSAE. **Formula SAE Rules 2022.** Disponível em:<<https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/formula-sae-brasil/>>. Acessado em: 02 de Fevereiro de 2022.

[10] HART, Daniel W. **Eletrônica de Potência: Análise e Projetos de Circuitos.** 1 ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

[11] **IBERDOLA**. Vantagens de um carro elétrico. Disponível em: < <https://www.iberdola.com/sustentabilidade/vantagens-carro-eletrico> >. Acessado em: 02 de Fevereiro de 2022.

[12] **Insulation Monitoring. Bender**. Disponível em: <<https://www.bender.de/en/prod>>.Acessado em: 25 de Agosto de 2022.

[13] KANISHKAVIKRAM, Purohit. ***Soft Sensors for State of Charge, State of Energy, and Power Loss in Formula Student Electric Vehicle***. Acessado em: 05 de Março de 2022. Citado na página 14.

[14] MAIA, Camila. Redação: Valor. Globo. **WEG avança nos mercados de motores da China e Índia**. 2019.Acessado em: 01 de Abril de 2022. Citado na página 12.

[15] **MANUAL EMUS**. Disponível em: <EMUS-G1-User-Manual-v2.9-2 (1).pdf>. Acessado em: 25 de Agosto de 2022. Citado nas páginas 30,31,32.

[16] MATULKA, Rebecca. ***History Of Electric Car***. Disponível em: <<https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>>. 2019.Acessado em: 02 de Fevereiro de 2022.

[17] MOURA. 2019.Disponível em: <<https://www.moura.com.br/blog/alternador-de-carro>>. Acessado em: 05 de Março de 2022. Citado na página 16.

[18] OLIVEIRA, Gabriel Luis de. **Desenvolvimento do sistema eletrônico de um veículo do tipo Formula Student elétrico**. 2020. Acessado em: 07 de Março de 2022.

[17] **PROTEUS**. Disponível em: (<https://www.labcenter.com/>). Acessado em: 25 de Agosto de 2022.

[18] Redação: Canal Tech. **Como a Formula 1 transforma tecnologia em esporte**.2013. Disponível em: (<https://canaltech.com.br/mercado/Como-a-formula-1-transforma-tecnologia-em-esporte/>). Acessado em: 11 de Maio de 2022.

[19] ROCHA, Jenifer. Disponível em: (<https://eproducao.eng.br/a-industria-4-0-no-setor-automobilistico/>). Acessado em: 11 de Maio de 2022.

[20] *Safety System of An Electric Vehicle for Formula Racing*. India, 2014. Acessado em: 25 de Setembro de 2022. Citado nas páginas 36,37,38,39.

[21] **Segurança Em Veículos Híbridos e Elétricos**. Disponível em: <[https://www.texabrasil.com.br/Upload/Depliant/texaedu-pes-pav-pej-pt\(4\).pdf](https://www.texabrasil.com.br/Upload/Depliant/texaedu-pes-pav-pej-pt(4).pdf)>. Acessado em: 02 de Março de 2022.

[22] SOUZA, Gustavo. **Carros elétricos são um perigo de incêndio?**. 2017. Disponível em: (<https://carroeletrico.com.br/blog/carros-eletricos-incendio/>). Acessado em: 25 de Fevereiro de 2022. Citado na página 16.

[23] SOUZA, Leandro. **Mobilidade elétrica: como o setor se adapta**. 2022. Citado na página 13.

[24] TUV NORD Brasil. **Avaliação de segurança em Veículos elétricos**. Acessado em: 07 de Setembro de 2022. Citado na página 16.