



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

# FÓRMULA TESLA



## Projeto de Pesquisa

Fórmula Tesla UFMG 2019

**Professor orientador:** Braz de Jesus Cardoso Filho

**Capitão:** Pedro Henrique Rosa Gonçalves

28 de Março de 2019



## ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	2
2.	JUSTIFICATIVA	2
3.	OBJETIVOS	3
4.	METODOLOGIA GERAL	4
5.	PROFESSORES ORIENTADORES	4
6.	A EQUIPE	4
6.1.	Os sistemas	5
6.2.	Valores	6
7.	A COMPETIÇÃO FSAE ELÉTRICO BRASIL 2018	6
8.	POWERTRAIN	8
8.1	Transmissão	9
8.2	Dimensionamento do acumulador	10
9.	SISTEMA DE ELETRÔNICA	12
9.1	Controle	13
9.2	BMS (Battery Management System)	14
9.3	Interface e Aquisição de dados	16
10.	ESTRUTURAS	17
11.	AERODINÂMICA	19
12.	DINÂMICA VEICULAR	20
12.1	Suspensão	20
12.2	Direção	21
12.3.	Freios	23
13.	ADMINISTRAÇÃO	25
13.1.	Recursos Humanos e Gestão Geral	25
13.2	Marketing	26
13.3	Financeiro	27
14.	AGRADECIMENTOS	27



## 1. INTRODUÇÃO

A equipe Fórmula Tesla UFMG desenvolve tecnologia automotiva focada em veículos puramente elétricos, que é aplicada em testes de campo na competição Fórmula SAE Brasil, em sua categoria elétrica.

O intuito primordial é o aprendizado dos envolvidos, visando também demonstrar avançada tecnologia nacional para que o investimento no setor aumente substancialmente. Além de todos os subsistemas automotivos de alto desempenho envolvidos, há o destaque para os projetos do Diferencial Eletrônico no acionamento de dupla tração traseira independente, Sistema de Frenagem Regenerativa e do BMS (Battery management system), ou seja, o sistema de gerenciamento de nossas baterias.

A equipe se propõe a participar da instauração dos veículos elétricos e híbridos no país, apresentando neste documento as estratégias de seu terceiro protótipo, além da finalização e dos testes do segundo protótipo, validando os sistemas e projetos realizados no ano de 2018.

## 2. JUSTIFICATIVA

O Brasil se apresenta em um momento de extrema defasagem na área de veículos elétricos e híbridos. Ainda não há presença de postos de abastecimento para veículos elétricos que sejam suficientes para suportar uma frota considerável, nem pessoal para dar suporte em manutenção para tal fim.

Por outro lado, tecnologia é desenvolvida nas universidades do país, assim como em alguns núcleos esparsos. O ponto alcançado é mais do que suficiente para a instauração dos veículos no país, que necessita de urgente investimento no setor.

Muito deste processo será suportado pelo crescimento de uma cultura nos cidadãos. Cultura esta, de que os veículos elétricos são indiscutivelmente o futuro do nosso país, e um futuro que não pode ser adiado. A construção deste pensamento conjunto demonstra a relevância do projeto do Fórmula Tesla UFMG 2019. Trata-se de comprovar à sociedade a capacidade tecnológica do nosso país, iniciando um futuro mais sustentável. O projeto 2019 é uma evolução do já apresentado projeto Fórmula Tesla UFMG 2018. Agora, de forma mais ampla, completa e com experiência, a equipe pretende alcançar resultados melhores, além de



projetos mais elaborados e otimizados, com maior inovação e desempenho.

### 3. OBJETIVOS

O projeto tem uma série de objetivos que servem como formas de acompanhar o andamento das atividades, sendo indicadores do processo e motivadores da equipe. Os objetivos 2019 são:

- Desenvolvimento de tecnologia sustentável e nacional;
- Construção de veículo completamente elétrico para testes de campo;
- Extrapolar os testes em bancada e os laboratórios, com a finalidade de responder ao investimento que a sociedade faz na educação dos engenheiros em formação, que compõe a equipe Tesla;
- Formar profissionais que estejam aptos a trabalhar com tecnologia automotiva;
- Desenvolvimento de um sistema de frenagem regenerativa, que impacta na autonomia das baterias e no desempenho automotivo;
- Simular o processo de manufatura de um veículo e projetos de otimização de custos no setor.
- Apresentar a comunidade os projetos 2018 e 2019, além de divulgar relatórios e processos realizados.



#### **4. METODOLOGIA GERAL**

De uma forma geral a metodologia utilizada no projeto é dedutiva, partindo de leis gerais provenientes dos campos de conhecimento envolvidos, para a compreensão de questões locais ou pontuais.

Quanto ao objeto, como antes citado, passa por todas as fases, a saber: bibliográfica, de laboratório e pesquisa de campo.

Cada subsistema técnico tem um subprojeto que passa, de forma geral, pelos seguintes processos sequenciais: levantamento bibliográfico, esboço de projeto, levantamento de custos, definições e finalização do projeto, documentação inicial, processos de compra e/ou usinagem, montagem, testes de campo, documentação final.

Mais informações sobre as metodologias utilizadas em cada subsistema envolvido no projeto, podem ser obtidas nas seções seguintes deste documento.

#### **5. PROFESSORES ORIENTADORES**

- Braz de Jesus Cardoso Filho: Departamento de Engenharia Elétrica, Fundador e Coordenador do laboratório Tesla Engenharia de Potência. Professor orientador oficial deste Projeto.
- Fabricio Pujatti: Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica e Orientador do Certificado em Tecnologia Automotiva. Auxiliar Técnico deste Projeto na área de Mecânica Automotiva.

#### **6. A EQUIPE**

A equipe abriu seu primeiro processo seletivo em setembro de 2016, às Engenharias Aeroespacial, de Controle e Automação, Elétrica, Mecânica, de Produção e de Sistemas. O processo foi um espantoso sucesso na escola, mesmo se tratando de uma equipe iniciante, houve 78 inscrições.

Outras equipes de competição da UFMG e professores com experiência no assunto aconselharam um número reduzido de alunos, assim a seleção feita considerou somente os que se envolveram com alta intensidade no projeto, configurando uma equipe de 32 alunos.

Iniciou-se também um processo de aprimoramento dos laços entre as equipes da

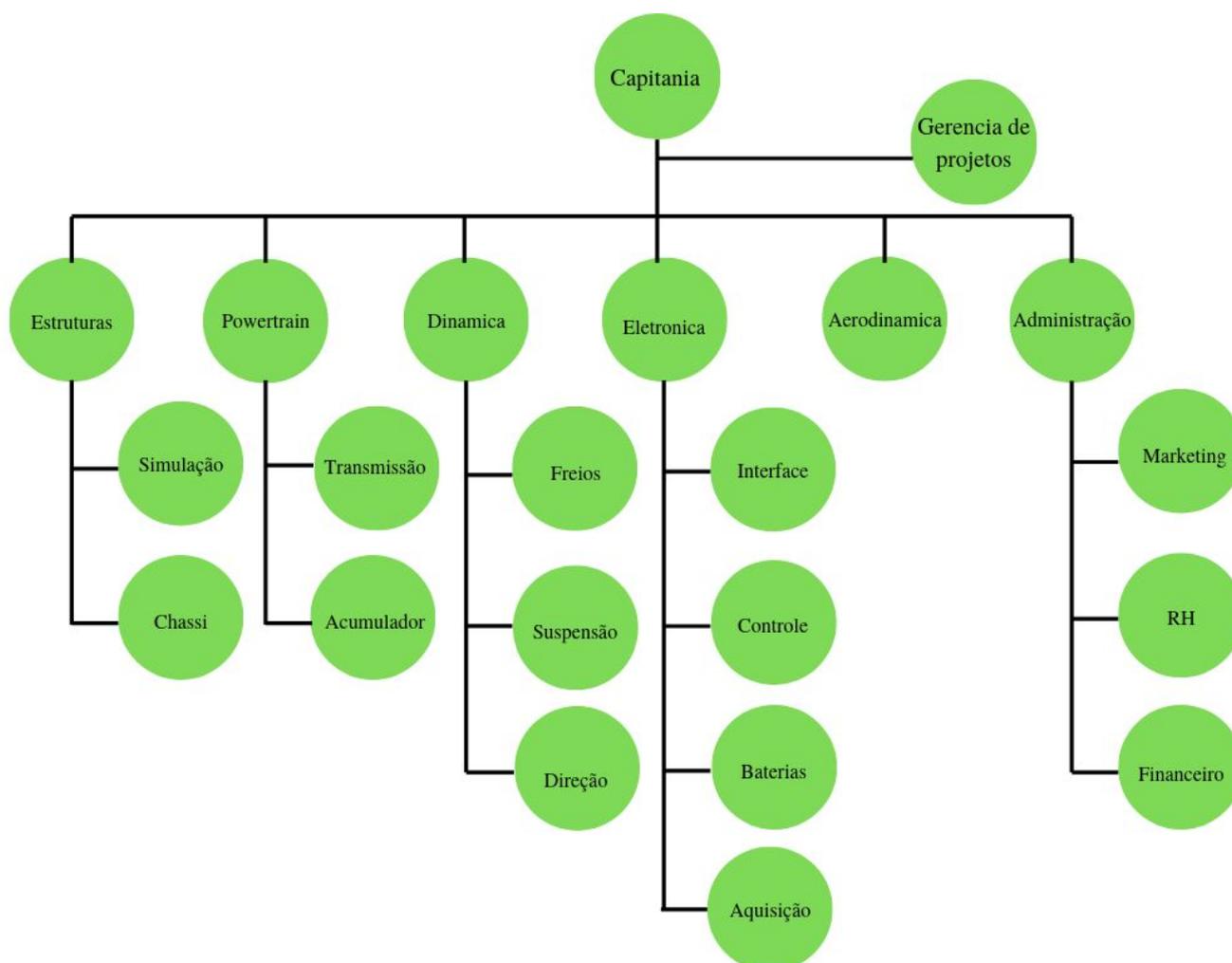


UFMG para planejamento estratégico e troca de conhecimento, o que promoverá um desenvolvimento exponencial do nosso alcance tecnológico.

A equipe passou pela mudança de gerência em dezembro de 2017, e os membros novos que se uniram ao projeto dos de 2017, iniciam na equipe no dia 05 de fevereiro de 2018.

Em 2018, o processo seletivo alcançou mais de 150 inscrições, onde foram aprovados 32 novos membros, que se uniram aos remanescentes da equipe de 2018, totalizando 45.

### 6.1. Os sistemas





## 6.2 Valores

Os valores direcionam a atuação da equipe e definem seu posicionamento diariamente, por isso são extremamente importantes:

- Priorização do aprendizado - A equipe tem como foco principal o aprendizado dos envolvidos.
- União - O ambiente familiar aumenta a qualidade de vida e eficiência da equipe.
- Organização e limpeza - A organização é essencial em qualquer projeto, e a limpeza, além de física, representa a transparência do grupo.
- Projeto aberto - A equipe intenciona o desenvolvimento de tecnologia para todos, devido a isto decide abrir à sociedade seus projetos.

## 7. A COMPETIÇÃO FSAE ELÉTRICO BRASIL 2017 e 2018

A competição acontece anualmente em Piracicaba/SP, com 48 equipes na modalidade combustão e 22 na modalidade elétrica, provenientes de todo o país. Ela consiste em três provas estáticas e cinco provas dinâmicas além das inspeções técnicas. Nas provas estáticas, ocorre inicialmente uma inspeção técnica, avaliando quesitos de segurança e ergonomia, posteriormente, ocorre a avaliação do design e estratégia de custo do projeto. Nas provas dinâmicas, ocorre a avaliação da aceleração, dirigibilidade, autonomia e eficiência do veículo.

No ano de 2017 a equipe esteve presente na competição, apresentando todas as provas estáticas com sucesso, e sendo elogiada pelos juízes pelo trabalho realizado em 1 ano. Infelizmente, não foi possível realizar as provas dinâmicas, já que não fomos aprovados na inspeção técnica.

Mesmo com o imprevisto, a equipe conseguiu garantir o 10º Lugar na Fórmula SAE Brasil, na categoria elétrica, e com a promessa de competir as provas dinâmicas e alcançar o top 5 no ano de 2018.

No ano de 2018 a equipe esteve presente na competição, apresentando todas as provas estáticas e dinâmicas com sucesso e ainda participou do design finals por ter sido uma das 3 melhores equipes no design, e sendo elogiada pelos juízes pelo trabalho ótimo realizado em 2



# UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

# FÓRMULA TESLA



anos.

Colocações nas provas:

Projeto : 3º Lugar

Custos e Manufatura: 2º Lugar

Apresentação: 10º

Autocross: 2º Lugar

SkidPad: 3º Lugar

Aceleração: 3º Lugar

Enduro: 2º Lugar

Com isso, a equipe garantiu o 2º Lugar geral na Fórmula SAE Brasil 2018, na categoria elétrica, e com o objetivo de alcançar o top 3 no ano de 2019 de novamente.



Figura 1: Fotos da equipe no ano 2017



Figura 2: Fotos da equipe no ano 2018



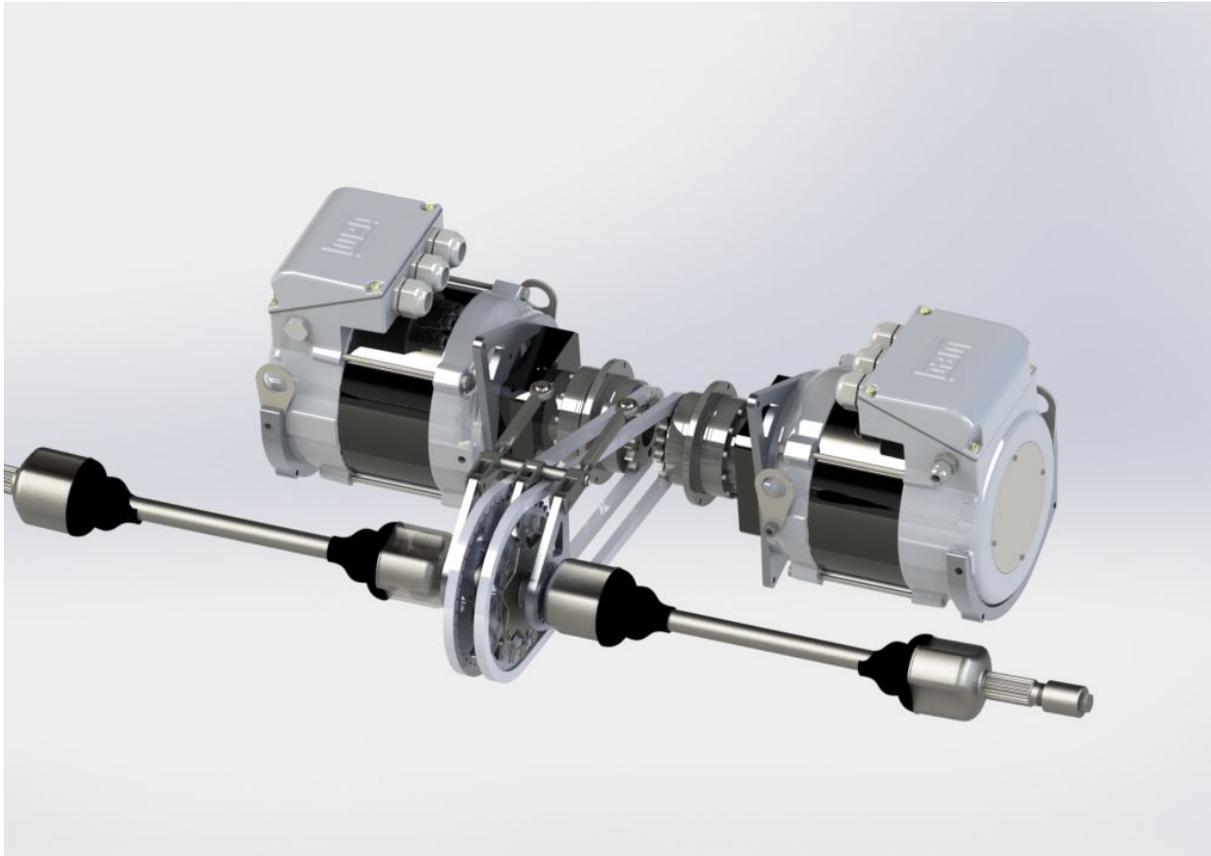
## 8. POWERTRAIN

O projeto Tesla 2019 conta com dupla motorização traseira independente com utilização de diferencial eletrônico. Esta configuração possibilita um vasto estudo de projeto para aplicação em diversas situações de dinâmica veicular diferentes como provas de aceleração e provas de skidpad (aceleração lateral), além de altos níveis de controle de estabilidade do veículo.

Por fim, seguem as características do sistema trativo. A velocidade máxima exata somente poderá ser obtida em processo de testes, podendo ser fornecida boa estimativa de sua grandeza.

Tabela 1 - CARACTERÍSTICAS FINAIS DO SISTEMA TRATIVO	
Rotação nominal motriz	4380RPM
Potência máxima	48 kW (65 CV)
Torque máximo final	900 Nm
Velocidade base	45km/h
Velocidade máxima estimada	98km/h

## 8.1 Transmissão



*Figura 2: Projeto da Transmissão*

O sistema de transmissão é responsável por transformar e conduzir o torque do eixo do motor à roda. Todo seu projeto e dimensionamento estão intimamente ligados às soluções de tração do veículo, a partir de sua motorização, e projetada para melhor empacotamento final. Em um veículo elétrico, pode-se utilizar tanto um diferencial mecânico – para um único motor – quanto um diferencial eletrônico – para a configuração de um motor para cada roda trativa.

Optou-se, por fim, por uma redução em dois estágios. No primeiro, logo na saída de cada motor, um redutor de engrenagens planetárias da fabricante Apex, cuja razão de velocidades é de 4:1. O segundo estágio é feito por corrente (da fabricante Tsubaki), como explicitado na figura x, com razão 2,2:1 (18 dentes no pinhão e 40 na coroa). Ao final, tem-se



uma redução 8,8:1. Esta configuração possibilitou o posicionamento desejado dos motores e um bom torque máximo, além de ser possível a troca da coroa para serem realizados testes com outras razões, de forma a validar o projeto elaborado.

## **8.2 Dimensionamento do Acumulador**

O projeto de 2018 contava com o banco de baterias dimensionado para que toda a metade da prova de enduro (22 km) fosse completada, com 4 packs e configuração 24s2p, pois pela experiência adquirida na competição de 2017, vimos que a pontuação possível de ser alcançada em pista com os motores à disposição é muito baixa. Basicamente, o peso do acumulador de 2017, com 8 packs conectados 24s4p, de mais de 90Kg, implica em um desempenho pior e um empacotamento consideravelmente complicado.

Em 2019, entretanto, temos uma nova meta: completar o enduro. Para alcançarmos nosso objetivo, aumentamos 2 packs de baterias, em paralelo, resultando uma conexão 24s3p, o que nos resultaria em um aumento para aproximadamente 19 voltas completas no enduro, seguindo proporcionalmente o resultado obtido na simulação no Advanced Vehicle Simulator em 2018, e implementamos o sistema de frenagem regenerativa, o que nos auxiliaria para conseguirmos finalizar a prova.

Com o novo projeto obtivemos melhorias no empacotamento dos componentes internos, uma vez que o acumulador ficou mais compacto, aumentou pouco mais de 20mm em seu comprimento, diminuiu por volta de 40mm na altura, com a mesma largura, e possui maior espaço na parte central, o que facilita a manutenção. Tais mudanças implicaram no aumento da massa para aproximadamente 60Kg, crescimento não tão prejudicial para o desempenho do carro, já que temos mais energia - em 2018 a capacidade era 936Ah e em 2019 passou a ser 1404Ah.

No ano passado, com 4 packs no acumulador, representando 3,1kWh (ou 10,8MJ) conseguimos percorrer 13,5km no enduro, logo, com o aumento da capacidade do acumulador para 2019, esperamos ter energia bruta para percorrer aproximadamente 20km, e o restante pela recuperação da frenagem regenerativa, carga que não era usada e pela redução de arrasto do novo pacote aerodinâmico.

Porém, é seguro e desejável um superdimensionamento do projeto, considerando um fator de segurança devido aos seguintes fatores:



- Os fabricantes de baterias de lítio não recomendam descargas à níveis menores que 20%, sendo 30% um valor mínimo ótimo;
- Para um primeiro projeto o sistema regenerativo pode não operar em sua capacidade plena;
- Também não é recomendável cargas acima de 90% da carga total, que tendem a estressar a bateria durante o processo;
- Qualquer tratamento minimamente inadequado é inaceitável, tendo em vista a segurança dos envolvidos e o custo do projeto do acumulador.

Assim, após estudo destes fatores e de soluções implementadas e tendo os modelos de eficiências de bateria, inversor, motor e transmissão chegou-se ao valor de 4,6kWh, que representa por volta de 16,6MJ e está dentro das nossas estimativas. Isso possibilitou a escolha das células de lítio e de sua organização paralela ou em série, dependendo da tensão de operação do barramento CC.

A equipe fez por fim um estudo de mercado, incluindo institutos brasileiros de tecnologia a procura de parcerias por células de lítio. Não obtendo sucesso, infelizmente viu-se na necessidade de importação. Seguem características finais obtidas no acumulador.

CARACTERÍSTICAS	2017	2018	2019
Química da célula	LiFePO4	LiFePO4	LiFePO4
Capacidade	1872Ah	936Ah	1404Ah
Tensão Nominal	79,2V	79,2V	79,2V
Descarga pico	30C	30C	30C
Qntd. de células	88 células	48 células	72 células
Energia do banco	5.808kWh	3.168kWh	4.752kWh
Autonomia estimada	25km	11km	22km
Temperatura máx. operação	60°C	60°C	60°C

Tabela 2 - CARACTERÍSTICAS FINAIS DO ACUMULADOR

## 9. SISTEMA DE ELETRÔNICA

O sistema de eletrônica contém todos componentes elétricos que não fazem parte do Sistema Trativo, ou seja, seu escopo de trabalho vem de encontro com a definição do GLV System (Sistema de baixa tensão), fornecido pelo regulamento da competição Fórmula SAE.

O veículo possui um complexo sistema de eletrônica embarcada com uma série de sensoriamentos envolvidos, prezando pela segurança do projeto e desenvolvimento de tecnologia automotiva.

Os sistemas eletrônicos são divididos em Controle, Baterias, Interfaces e Aquisição de Dados.





## 9.1 Controle

A central eletrônica do veículo (*ECU - electronic control unit*) é responsável pelo controle do sistema trativo. Parâmetros como vetorização de torque, arrancada, controles de gerenciamento energético e de frenagem regenerativa são os objetivos da equipe de controle. Tais estratégias envolvem a configuração de dois motores presentes no veículo. Isto envolve desde um profundo estudo matemático até sua aplicação em programação.

O controle de vetorização de torque atua no ajuste da força de tração aplicada nas rodas através do controle vetorial de torque individual dos motores. Especialmente em motores de indução, caso visado pela equipe, o controle vetorial tem precisão e estabilidade excelentes, inclusive em sua faixa negativa (frenagem regenerativa).

O sensoriamento das variáveis do veículo dá início ao processo, considerando a velocidade individual de cada roda, o esterçamento do volante e a posição do pedal de acelerador e freio. Os dados são então analisados por uma unidade de processamento central que envia os comandos de controle vetorial aos inversores.

O sistema de frenagem regenerativa visa maximizar a eficiência energética na prova que mais exige autonomia, para isso, recupera parte da energia cinética do veículo quando acionada pelo piloto.

Para a arquitetura dos sistemas embarcados, foi selecionado o microcontrolador STM32 da ST Electronics®. Apesar dos primeiros contatos com a programação requisitarem um bom tempo para aprendizado, ela proporciona uma maior flexibilidade e controle sobre as pequenas decisões tomadas no microcontrolador. Cabe por fim citar as extensas vantagens do controle de tração a ser implementado:

- Aumento da segurança do veículo fazendo um controle de torque em curvas, evitando perda de aderência;
- A efetividade do sistema independe da diferença de velocidade entre as rodas esquerda e direita;
- Aumento do desempenho em acelerações, podendo operar no estado ótimo de velocidade relativa entre pneu e solo, possibilitando transferência máxima de torque.



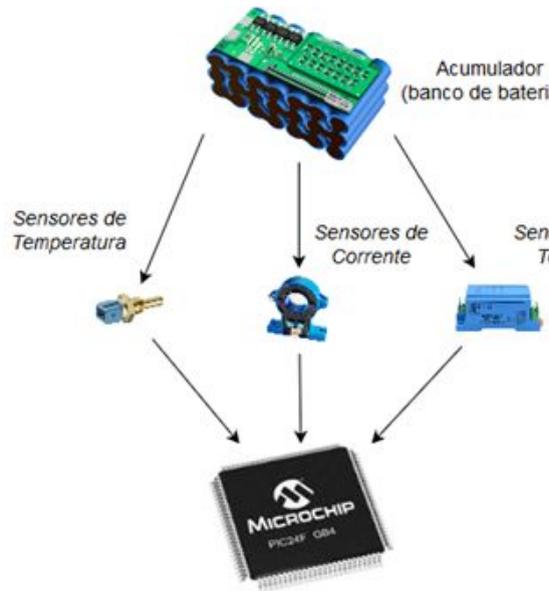
## 9.2 BMS (Battery Management System)

O BMS, nome que deriva do inglês Battery Management System, compõe todo o sistema de gerenciamento de baterias, responsável por garantir a utilização ótima da energia existente e reduzir os riscos de danos que às mesmas, otimizando assim sua vida útil.

O BMS é totalmente desenvolvido pela equipe. Tal escolha se deu com o objetivo de redução de custos, confiabilidade e total controle sobre o projeto. No desenvolvimento do mesmo focou-se em versatilidade e fácil manutenção. Ele foi dimensionado para servir especificamente para a competição e seguir de acordo com as necessidades do veículo atual. Outra qualidade em relação à maioria das soluções comerciais é o uso de sensores digitais em todas as medições críticas, propiciando alta qualidade dos sinais obtidos. O uso de cabos curtos para comunicação, a distância reduzida entre sensores e módulo de tratamento de dados e um microcontrolador com processamento bem dimensionado trazem ainda mais confiabilidade ao projeto.

O design do BMS foi pensado de maneira modular, de forma que o centro de tratamento de dados se conecta a módulos de aquisição. Isso permite que esse projeto possa ser usado para monitorar bancos de baterias de uma ampla gama de tecnologias e uma vasta possibilidade de configuração de células facilmente. Com isso, ele pode ser utilizado no futuro, mesmo que o banco de baterias sofra alterações. A manutenção também se torna simples, uma vez que módulos podem ser substituídos facilmente.

Segue seu diagrama representativo.



*Figura 3: Diagrama do BMS*

A tarefa do BMS é de extrema importância para a aplicação, pois diminui a necessidade de manutenção e aumenta a segurança do veículo. Suas funções gerais são: gestão de baterias, gestão da potência e gestão de energia. Para controlar de forma efetiva o estado da bateria, o sistema deve monitorar a tensão, temperatura, o estado de carga, e a corrente. Os dados coletados resultam num banco de informações que permitem uma otimização do uso de energia do carro em projetos futuros.

Outra função importante do BMS é o balanceamento das células, garantindo que a tensão de operação pontual seja mantida em níveis seguros, assegurando uma maior vida útil para o sistema.

Além do monitoramento constante, o BMS é também responsável por possibilitar a desconexão do acumulador do sistema trativo por meio dos AIR's, uma vez que ocorra detecção de falhas.

Tal projeto é muito crítico, por colher dados essenciais para o funcionamento do sistema global, bem como zelar para um bom uso dos acumuladores, que permanecem sem dúvida, dentre os componentes mais caros e críticos do veículo.



### 9.3 Interface e Aquisição de Dados

Os sistemas de Interface e Aquisição de Dados, possuem como objetivo primário colher dados estratégicos e confiáveis do veículo, tratá-los, mostrá-los ao piloto e enviá-los por telemetria ao box. Alguns dados que são trabalhados por esses dois subsistemas são: informações de velocidade do veículo, a partir da coleta de velocidade das quatro rodas separadamente; temperatura dos inversores e do acumulador; corrente dos motores e do acumulador; carga e tensão das baterias; estado e erros do BMS, além de dados de acelerômetros, extensômetros e potenciômetros espalhados por todo veículo. Isso é feito através de uma rede de comunicação que engloba diversas placas e sensores distribuídos por todo o veículo. As informações são recebidas por um microcontrolador que, através do processamento digital de sinais, exibe algumas informações no painel e as envia por radiofrequência ao box. A programação do mesmo foi elaborada de forma genérica e organizada, para que possam ser facilmente adaptados em situações adversas ou projetos futuros.

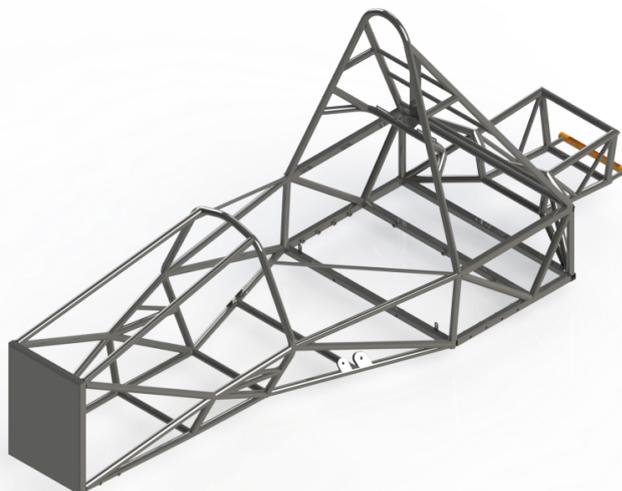
O chicote do veículo faz o papel de interligar os sistemas e componentes do carro de forma confiável e robusta. Fácil manutenção e instalação são também buscados em seu desenvolvimento. Com o uso de conectores automotivos, fixação feita em pontos estratégicos, reforçada em pontos críticos e com presença de folgas nos cabos próximos aos conectores, conseguiu-se uma boa confiabilidade quanto a integridade do sinal sob o efeito de vibração intensa, evitando perdas de conexão e mal contato.

Os cabos são envoltos por fita tecido que protege os mesmos contra chamas, possíveis agentes cortantes do ambiente, melhora sua rigidez mecânica e mantém todos os cabos unidos. Em pontos de aquecimento crítico ou alta exposição, o chicote é protegido ainda por um corrugado para auxiliar no isolamento térmico e segurança mecânica. A facilidade de manutenção e instalação é obtida através de tire-ups para fixação, fáceis de posicionar e trocar, em caso de necessidade, codificação dos cabos por cor, marcação dos mesmos com etiqueta para identificação e por fim uso de etiquetas nos conectores.

## 10. ESTRUTURAS

O subsistema de estruturas é responsável por realizar todas as análises estruturais dos componentes do carro pelo método dos elementos finitos, além de projetar e fabricar o chassi.

A análise estrutural leva em conta os esforços sofridos pelas diversas partes do carro durante seu funcionamento. Seu objetivo é dimensionar as peças projetadas e fabricadas pela equipe, garantindo sua eficiência e durabilidade, balanceadas com a massa e o custo. É sempre importante salientar que o superdimensionamento e o subdimensionamento não são práticas de engenharia, e ambas possuem consequências negativas.



*Figura 4: Renderização do chassi*

O chassi de um carro estilo fórmula deve cumprir duas funções básicas: o empacotamento de todos componentes que tornam o veículo funcional e garantir a segurança do piloto em casos de acidentes. Nesse contexto, o subsistema do Chassi é responsável por, além de satisfazer essas duas premissas fundamentais, desenvolver uma estrutura com a menor massa e simultaneamente com as melhores propriedades mecânicas, ademais de prover ao veículo uma apropriada aerodinâmica e ergonomia ao piloto.

Assim sendo, deliberou-se sobre o tipo de chassi e o material a ser empregado na construção do veículo. Nesse sentido, as principais demandas consideradas na escolha do modelo de chassi foram rigidez estrutural, facilidade de fabricação e manutenção, peso e custo. Por conseguinte, a escolha lógica foi o chassi tubular, dentre os tipos escada, tubular,



monocoque e *backbone*, por melhor conciliar essas características.

A escolha do material, por sua vez, é de vital importância, uma vez que definirá várias das propriedades do veículo. Nesse contexto, avaliou-se essencialmente a aplicação e viabilidade de aços SAE 1020, SAE 4130, SAE 4140 e alumínio.

Com relação aos aços SAE 4130 e SAE 4140, que possuem considerável concentração de cromo e molibdênio em sua composição química, embora forneçam alta resistência mecânica, são materiais com preço razoavelmente alto e que apresentam dificuldades na produção, sendo notórios por possuírem uma solda frágil, capaz de propagar trincas e outros defeitos na estrutura. Ademais, possuem reparabilidade limitada após sofrerem danos, devido ao estresse e trincas residuais que estarão presente no material.

O alumínio, por sua vez, embora possibilite uma redução na massa total do chassi, possui uma baixa resistência à fadiga, o que pode levar a uma ruptura frágil, a qual pode deixar a equipe sem veículo na competição e colocar em risco a vida do piloto, além de ser bem mais complicado de soldar.

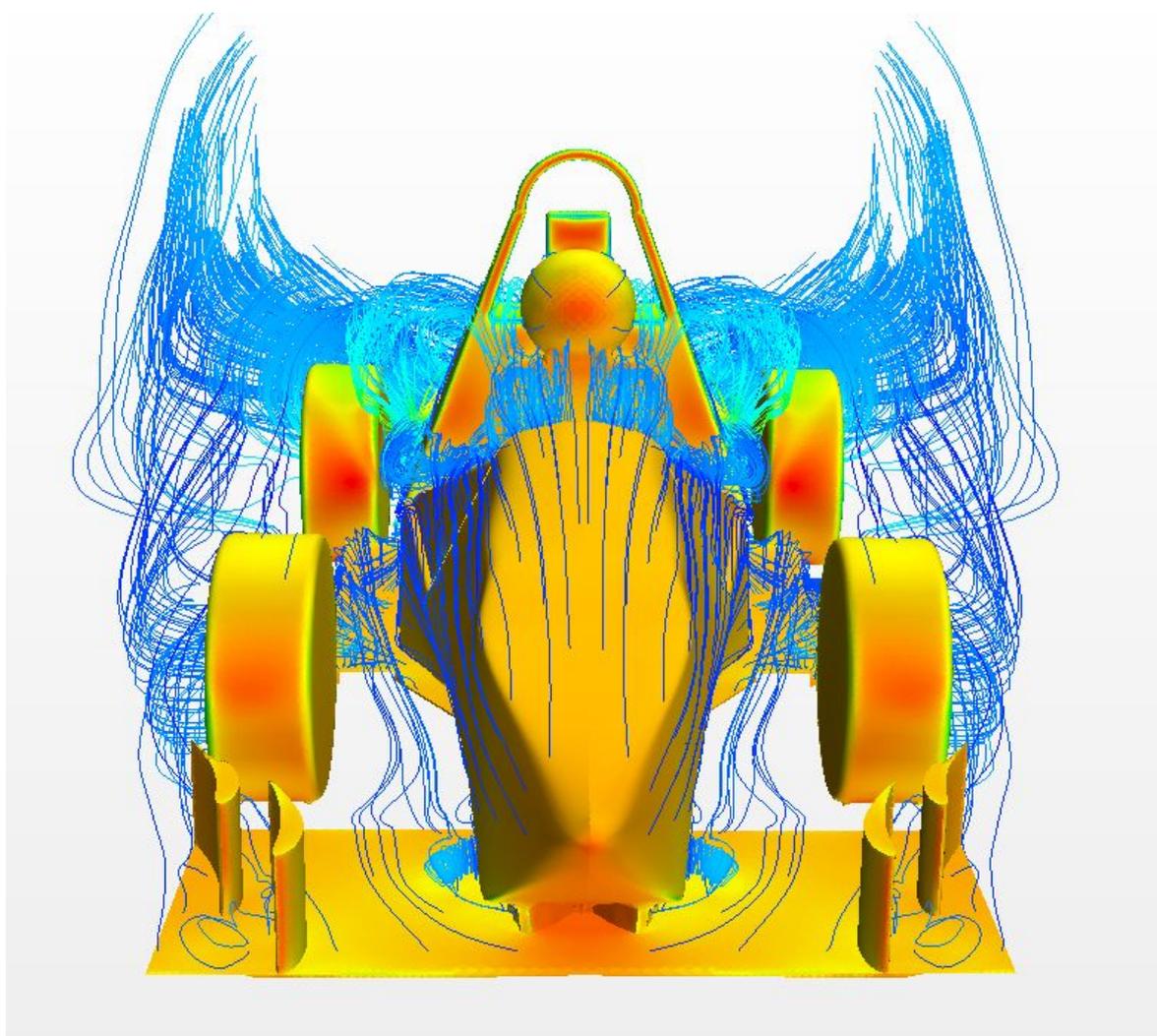
Nesse contexto, o material adotado pela equipe foi o aço SAE 1020, uma vez que é mais barato com relação aos outros e fácil de manusear, além de prover a habilidade de reparar, substituir ou modificar facilmente qualquer tubo. Embora seja mais pesado, quando aplicar fatores de segurança nos outros materiais para compensar os riscos de soldagem, fadiga, entre outras falhas, a diferença entre a massa do aço SAE 1020 e a dos outros materiais reduz consideravelmente, o que favorece ainda mais a utilização desse material.

No ano de 2019, optou-se por aumentar a confiabilidade do projeto. Especificamente no chassi, um enfoque foi o empacotamento da transmissão, que havia dado problemas no ano de 2018. Foi proposta uma triangulação diferente para a fixação dos componentes do Sistema Trativo, e a modelagem e simulação dos esforços que entram no chassi pela transmissão sofreu melhorias.

## 11. AERODINÂMICA

O subsistema de aerodinâmica é responsável por realizar todas as análises aerodinâmicas do carro (Interna e Externa), das análises estruturais em compósitos e análises térmicas do veículo, além de ser responsável pelo design e fabricação do difusor, das asas e de todos os laminados do veículo.

A análise aerodinâmica é toda feita em softwares comerciais de CFD e leva em conta a geometria base do veículo e as mudanças propostas pelos membros, sempre considerando a melhor performance aliada aos objetivos da equipe. O objetivo destas análises é garantir que o protótipo se desloque da melhor forma possível pelo ar garantindo assim uma boa relação entre arrasto e downforce.



O pacote de um protótipo FSAE deve ser leve e cumprir a sua determinada função, que para a equipe é aumentar a eficiência aerodinâmica do protótipo, sendo assim responsável por diminuir o arrasto através do uso de perfis e geometrias que modifiquem o escoamento de acordo com o predito em simulações. Há também a vantagem em se obter downforce, para melhorar a dirigibilidade e possibilitar um aumento da velocidade em curvas, que no nosso protótipo é feita através de um difusor que é fixado no assoalho do veículo.

No ano de 2019 tomou-se a decisão de criar dois pacotes aerodinâmicos, um para aumentar a eficiência aerodinâmica do veículo e outro para aumentar a performance em curvas, a fim de comparar ambos e obter a melhor pontuação possível na competição.

## 12. DINÂMICA VEICULAR

### 12.1 Suspensão



*Figura 5: Renderização do Projeto da Suspensão*

Todo o projeto da suspensão será feito nos softwares SolidWorks e ADAMS Car, com referência principal aos dados do TTC dos pneus e aos dados dinâmicos extraídos do veículo

2018, adquiridos durante o final do ano de 2018 e início de 2019. A análise estrutural do subsistema será feita a partir do software Ansys, com auxílio do sistema de Estruturas.

Quanto à fabricação e montagem, serão empregadas tubos e chapas apenas de aço 1020 e de menor espessura que a do ano anterior. Todos os cortes principais passarão a ser feitos externamente, a laser, para maior precisão e acabamento. Os gabaritos, diferentemente do que foi feito no ano anterior, foram cortados a laser, melhorando consideravelmente a precisão e facilidade de montagem.

Na questão de aquisição de dados e validações, a equipe está se capacitando, visando apresentar dados mais concretos na competição 2019.

Serão produzidos memoriais de cálculo de todos os parâmetros de geometria, materiais e dinâmica obtidos, de modo a constarem nas provas estáticas da equipe na competição 2019 e a auxiliarem projetos futuros. Relatórios completos acerca dos projetos e subprojetos também serão produzidos. O objetivo é registrar o máximo de informações possível com relação aos procedimentos adotados em 2018 e, principalmente, seus resultados.

## 12.2 Direção



*Figura 6: Renderização do Projeto da Direção*

O sistema de direção tem o objetivo de transferir para as rodas dianteiras as intenções do piloto de mudança de trajetória do veículo, através da conversão do movimento circular do



volante em movimento retilíneo da cremalheira, responsável por puxar e empurrar as rodas, resultando no esterçamento das rodas dianteiras do veículo.

Em geral, o projeto de um sistema de direção deve levar em conta os raios de curva que o veículo deverá percorrer, a aceleração lateral a que será submetido, dados dos pneus, esforços atuantes durante as curvas, materiais empregados para cada região do subsistema, empacotamento dos componentes no interior e exterior do veículo, geometrias associadas à cinemática dos componentes e às peças em si, ergonomia do piloto, entre outros fatores.

No veículo 2019 os objetivos buscados foram:

- ❖ Aumento da precisão na transmissão de movimento do volante para as rodas: buscou-se reduzir ao máximo as folgas do sistema, a fim de amenizar o desgaste das peças e melhorar o tempo de resposta e comunicabilidade do veículo para com o piloto.
- ❖ Maior responsividade do sistema: reduziu-se a razão de esterçamento de 5:1 para 3,5:1, a fim de tornar a direção mais sensível e direta, resultando em uma pilotagem mais precisa, além do emprego de uma geometria de pino mestre capaz de dar feedbacks satisfatórios ao piloto sobre o equilíbrio dinâmico do veículo.
- ❖ Otimização da geração de força lateral dos pneus nas provas de circuito: buscou-se uma geometria de Ackermann otimizada para os slaloms da prova de autocross, uma vez estes são percentualmente os obstáculos que mais aparecem durante as provas de circuito
- ❖ Aprimoramento da ajustabilidade do sistema: adicionou-se a possibilidade de utilização de diferentes configurações de Ackermann, de modo a se encontrar a melhor geometria para cada condição de pista
- ❖ Redução de massa do sistema: através de otimizações estruturais das peças que compõem o sistema foi possível conceber peças leves e resistentes, como as mangas de eixo e cubos de roda em alumínio aeronáutico.
- ❖ Ergonomia satisfatória do piloto: posicionaram-se os componentes do sistema visando redução da fadiga do piloto durante as provas, em que fatores como altura, inclinação



e distanciamento do volante foram estudados

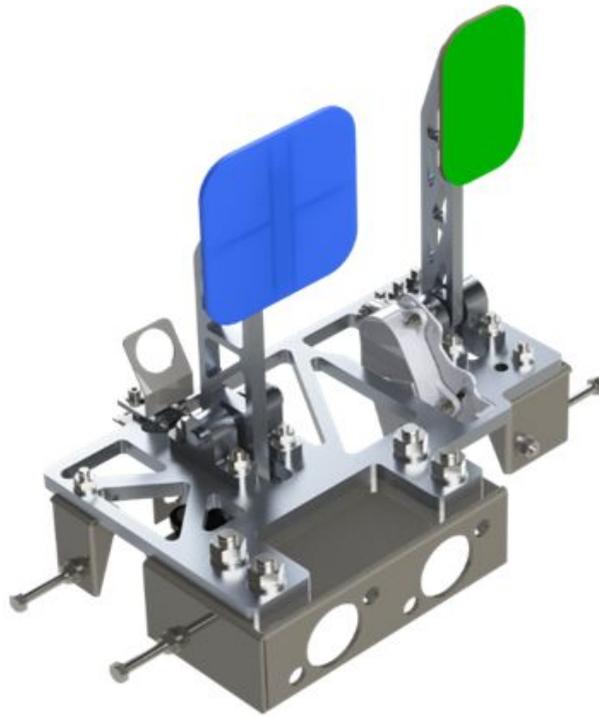
- ❖ O tipo de acionamento de direção mecânica empregado é o pinhão-cremalheira, devido ao menor custo, à maior simplicidade e ao menor peso do sistema. A cremalheira utilizada é a de dentes perpendiculares e o pinhão a ela associado, do tipo dentes retos. Também está sendo utilizada uma junta universal simples na coluna de direção, engate rápido no volante e volante em fibra de vidro e honeycomb.
- ❖ Para a modelagem do sistema foram empregados os softwares SolidWorks, para a concepção das peças e geometrias, MatLab para análise matemática dos pneus e Ansys para otimização estrutural.

### 12.3 Freios

O sistema de freios é fundamental para o controle e a segurança do veículo. Usando os freios, o piloto deve ser capaz de controlar a velocidade do veículo e pará-lo rapidamente em situações de emergência. Por isso, o projeto dos seus componentes deve priorizar a robustez e a segurança. Ao mesmo tempo, são projetados componentes mais leves a cada ano para melhorar o desempenho do veículo.

O sistema pode ser dividido em três partes:

- Pedalbox: O pedalbox inclui os pedais de freio e acelerador. Ele deve transmitir a força do piloto para as linhas de freio por meio dos cilindros mestres e permitir o comando do veículo com o pedal acelerador. Os componentes devem ser resistentes o suficiente para suportar qualquer força do piloto, mas, ao mesmo tempo, devem ser leves. Para isso são feitos modelos dos componentes no SolidWorks, simulações estruturais usando Ansys e depois os diversos componentes são fabricados;



*Figura 8: Renderização do Projeto dos Pedais*

- Linhas de freio: As linhas de freio são as tubulações hidráulicas que transmitem a pressão dos cilindros mestres para as pinças de freio. É muito importante que não hajam vazamentos nas linhas de freio, pois isso compromete o seu funcionamento;
- Pinças e discos de freio: As pinças transformam a pressão das linhas de freio em força de atrito nos discos de freio, que são fixadas nas rodas e, dessa forma, freiam o veículo. As pinças usadas pela equipe são compradas, mas os discos de freios são de projeto e fabricação própria. Deve-se analisar se os discos suportam as forças e ao calor gerado durante a frenagem por meio de simulações no programa Ansys;



*Figura 7: Renderização do Projeto do Freio Hidráulico*

Para que o veículo possa competir, é necessário que ele seja capaz de travar as quatro rodas simultaneamente. Para isso, o sistema tem que ser bem ajustado e funcionar de forma confiável na desaceleração máxima.

## 13. ADMINISTRAÇÃO

### 13.1 Recursos Humanos e Gestão Geral

A gestão é a base da formação de um projeto. Em um equipe horizontal é extremamente necessário organizar uma hierarquia funcional, onde haja um acompanhamento iterativo das funções, prazos de entrega sérios e qualidade do resultado entregue.

A gestão do Fórmula Tesla UFMG é organizada em 2 segmentos, a saber, Pessoas e Recursos. Segue uma breve descrição de sua funcionalidade.

- Pessoas:

A Gestão de Pessoas da equipe tem como principal premissa prezar pelo bem-estar e unidade dos membros e da equipe como um todo. Para que isso se concretize, ela acompanha de perto todas as atividades que estão sendo desenvolvidas nos subsistemas observando o desenvolvimento e o crescimento individuais dos membros. Além disso, periodicamente, são realizadas avaliações 360° com o intuito de apontar os pontos positivos e a melhorar da equipe de modo que com esta informação seja utilizada para o aprimoramento das atividades



a partir do crescimento pessoal e profissional dos membros.

### 13.2 Marketing

O marketing de um projeto com a missão do Fórmula Tesla é essencial. O desenvolvimento da tecnologia nacional veicular de tração elétrica de alto desempenho precisa ser informado a toda a sociedade, com a finalidade de incitar o investimento intenso no setor. Para esse fim, o marketing da equipe usa de ferramentas como site, redes sociais, banners, fotos, camisetas, patrocínios, eventos e etc.

Para um melhor entendimento da metodologia de trabalho, a estratégia de Marketing foi dividida em duas subáreas.

- Apoio, Patrocínio e Eventos:

Nesta primeira subárea, o marketing busca ter apoio de mais empresas para, além de ganho financeiro, ter também um ganho de imagem no mercado. As empresas que apoiam a equipe Fórmula Tesla UFMG, tem oportunidade de aumentar sua visibilidade tanto no ramo acadêmico, como a toda a sociedade em um cenário nacional de tecnologia de ponta. Resultando em um ganho bilateral para os participantes.

O marketing também tem a função de buscar eventos para que equipe aumente sua visibilidade tanto para as pessoas como para as empresas. Para estas situações, os membros do marketing fazem apresentações, banners, cartões e camisetas que melhorem a imagem da equipe.

- Redes Sociais:

Há também o uso de redes sociais pela equipe para ter um contato mais direto, rápido e simples entre a equipe e seus stakeholders. O *Facebook* é usado como “comunicador oficial” com o público. Nele, são postados conteúdos (relacionado ao mercado em que estamos inseridos) e informações internas (fotos, vídeos, patrocinadores, realizações).

O *Instagram*, é utilizado também para fotos descontraídas, postagens engraçadas e sérias, possibilitando um contato mais informal com os seguidores.

Há também um site da equipe que expõe de forma simples e atrativa as características da Fórmula Tesla UFMG. Isso garante um ambiente onde podemos hospedar nosso conteúdo gerado. Assim, podemos vincular, em todas nossas redes sociais, o nosso site, o que aumenta a credibilidade do projeto.



### 13.3 Financeiro

Como Financeiro, é destinada ao controle de verba da equipe, sendo responsável pela balança financeira (controle de entrada e saída de recursos financeiros), uso adequado do dinheiro, viabilização de eventos para arrecadação de verba (rifas, festivais e demais eventos). Também auxilia nos orçamentos feitos por cada subsistema e faz o orçamento final da equipe, finalizando a compra em conjunto. Portanto, toda a entrada e saída de recurso financeiro deve ser do conhecimento dessa área, que autorizará ou não a aplicação e uso do dinheiro.

### 14. AGRADECIMENTOS

A equipe Fórmula Tesla UFMG agradece a seus parceiros, sem os quais o projeto 2017, 2018 e 2019 não poderia ser realizado e em 2020, a parceria continuará:

Ao professor Braz pelo enorme auxílio e envolvimento contínuo.

Aos demais do Tesla Engenharia de Potência por abraçar a ideia com entusiasmo.

Ao professor Pujatti pelos conselhos em tecnologia automotiva.

Ao Centro de Pesquisas Hidráulicas, especialmente ao Professor Carlos Martinez, por acolher a equipe nos primeiros momentos.

À Escola de Engenharia da UFMG, especialmente ao Professor Diretor Alessandro Moreira, por seu apoio desde o início.

Ao DEE-UFMG, especialmente ao professor José Osvaldo, pela abertura em dar suporte ao projeto.

Ao professor Giovane Azevedo, pela parceria na fabricação do chassi e componentes do veículo na oficina mecânica do Coltec, e pelo suporte técnico.

E por fim ao Fórmula SAE UFMG, por ceder material, conhecimento e amizades.