

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
ALEXANDRE RAYMUNDO GRECCO
FELIPE JUN NAKAMITI
GUSTAVO HENRIQUE DA SILVA PINTO
LEONARDO GONÇALVES DOS SANTOS NETO
MATHEUS DOS REIS SPAULONCI
MURILO DE MARTINI
PEDRO RODRIGUES DA ROCHA NETO

PROJETO TUPÃ: sistema de hibridização para frota circulante

São Bernardo do Campo

2022

ALEXANDRE RAYMUNDO GRECCO
FELIPE JUN NAKAMITI
GUSTAVO HENRIQUE DA SILVA PINTO
LEONARDO GONÇALVES DOS SANTOS NETO
MATHEUS DOS REIS SPAULONCI
MURILO DE MARTINI
PEDRO RODRIGUES DA ROCHA NETO

PROJETO TUPÃ: sistema de hibridização para frota circulante

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Universitário FEI,
como parte dos requisitos necessários
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica com ênfase em
Automobilística. Orientado pelo Prof. Me.
Fernando Fusco Rovai.

PROJETO TUPÃ : Sistema De Híbridização Para Frota Circulante / Alexandre Raymundo Grecco...[et al.]. São Bernardo do Campo, 2022.

112 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário FEI.

Orientador: Prof. Me. Fernando Fusco Rovai.

Coorientador: Prof. Dr. Fabio Delatore.

1. frota circulante. 2. consumo de combustível. 3. situação de partida. 4. híbridização. 5. sistema BSG 48V. I. Raymundo Grecco, Alexandre. II. Nakamiti, Felipe Jun. III. Henrique Da Silva Pinto, Gustavo. IV. Gonçalves Dos Santos Neto, Leonardo. V. Dos Reis Spaulonci, Matheus. VI. De Martini, Murilo. VII. Rodrigues Da Rocha Neto, Pedro. VIII. Fusco Rovai, Fernando, orient. IX. Título.

Elaborada pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da FEI com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Alexandre Raymundo Grecco
Felipe Jun Nakamiti
Gustavo Henrique da Silva Pinto
Leonardo Gonçalves Dos Santos Neto
Matheus dos Reis Spaulonci
Murilo De Martini
Pedro Rodrigues da Rocha Neto

PROJETO TUPÃ: sistema de hibridização para frota circulante

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Universitário FEI,
como parte dos requisitos necessários
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica com ênfase em
Automobilística. Orientado pelo Prof. Me.
Fernando Fusco Rovai.

Comissão julgadora

Orientador e Presidente

Examinador

Examinador

Examinador

São Bernardo do Campo

2022

Dedicamos este trabalho a nossos familiares e amigos, que nos motivaram a seguir em frente e concluir esta etapa de nossas vidas. Dedicamos também aos nossos professores, que contribuíram para nosso desenvolvimento profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos nosso orientador, Prof. Me. Fernando Fusco Rovai, por apoiar nossa escolha de tema, pelo grande apoio técnico e motivacional, acreditar em nosso projeto e pela confiança depositada na equipe para a obtenção de um resultado satisfatório.

Ao Prof. Dr. Fabio Delatore, que nos apoiou no desenvolvimento do protótipo.

Aos nossos familiares, que nos apoiaram de diferentes formas nessa jornada, sempre nos incentivando a seguir em frente e concluir esta importante etapa de nossas vidas.

Agradecemos nossos amigos pelos momentos compartilhados e pela compreensão nos momentos em que não pudemos estar juntos, quando a escolha entre a diversão e a obrigação tantas vezes se fez necessária.

Agradecemos ao Centro Universitário FEI pela infraestrutura e aos nossos professores pelo conhecimento transmitido ao longo deste período de graduação.

Agradecimentos especiais ao Prof. Me. Cleber Willian Gomes, pelo apoio no desenvolvimento deste projeto, e ao Prof. Dr. Marco Antônio Zanussi Barreto, pela coordenação na confecção do trabalho, sobretudo na etapa de pesquisa.

Por fim, agradecemos também aos técnicos de laboratório Adilson Aparecido Lopes, Adriano Pereira Fernandes, Mauricio da Silva e Nilton Cesar Barbosa.

A todos vocês, nosso muito obrigado.

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio-termo. Ou você faz uma coisa bem-feita ou não faz.”

Ayrton Senna

RESUMO

A frota circulante é composta por mais de 60% de veículos com idade superior a 6 anos, e que em sua grande maioria não apresenta nenhum grau de eletrificação. Boa parte destes veículos circulam no cenário urbano, onde é encontrado uma grande quantidade de situações de partida (caracterizadas por tirar o veículo do repouso e colocá-lo em movimento), situações essas em que há um maior consumo de combustível. Além disso, novas legislações que visam a redução de emissões dos gases poluentes são implementadas regularmente, entretanto apenas veículos produzidos após estas legislações entrarem em vigor devem atendê-las. Apesar da implementação de novas legislações, a baixa renovação da frota faz com que a maior parte dos veículos em circulação não esteja de acordo com os novos padrões de consumo e emissão estipulados. Desta forma, o projeto Tupã desenvolve uma solução de hibridização, *aftermarket*, de fácil instalação e manutenção, capaz de ser implementada nos veículos da frota circulante visando a redução no consumo de combustível do veículo para as condições de partida, colocando-o em movimento, podendo chegar a uma economia de combustível de 23%, de acordo com simulações realizadas em que se considerou o ciclo de homologação para condições urbanas FTP75. Consequentemente, há a redução da emissão de gases poluentes. Sendo assim, entende-se que, através da solução desenvolvida, é possível otimizar o consumo de combustível dos veículos da frota circulante de forma sustentável ao usuário e a sociedade.

Palavras-chave: frota circulante; consumo de combustível; situação de partida, hibridização e sistema BSG 48V.

ABSTRACT

The circulating fleet is composed of more than 60 % of vehicles with age above 6 years, and most of them do not present any degree of electrification. Most of these vehicles circulate in the urban situation, where many starting situations are encountered (characterized by taking the vehicle out of rest and putting it into motion), situations with a higher fuel consumption. In addition, new regulations aiming emissions of polluting gases reduction are regularly implemented. However, only vehicles produced after the come into force of these laws must comply with them. Despite the implementation of new legislation, the low renewal rate of the fleet means that most vehicles in circulation are not in compliance with the new consumption and emission standards. Therefore, the Tupã project develops an aftermarket hybridization solution, which is easy to install and maintain and able to be implemented in the vehicles of the circulating fleet to reduce the fuel consumption of the vehicle for the starting conditions, putting it in motion, reaching a fuel economy of 23%, according to simulations performed considering the homologation cycle for urban conditions (FTP75). As a result, the emission of polluting gases is reduced. Therefore, it is understood that, through the solution developed, it is possible to optimize the fuel consumption of the vehicles of the circulating fleet in a way that is sustainable to the user and society.

Keywords: circulating fleet; fuel consumption; starting situation, hybridization and BSG 48V system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etiqueta do PBEV	21
Figura 2 - Golden Circle	23
Figura 3 - Grau de eletrificação	25
Figura 4 - Possíveis posições de um sistema híbrido	26
Figura 5 - <i>Mild Hybrid</i> P0 BSG 12V	26
Figura 6 - Mild Hybrid BSG P0 48V	27
Figura 7 - Mild Hybrid P1	28
Figura 8 - Mild Hybrid P3/P4	28
Figura 9 - Full Hybrid	29
Figura 10 - Plug-in Hybrid	30
Figura 11 - Storyboard sistema de hibridização Tupã	37
Figura 12 - Diagrama de fronteira	39
Figura 13 - Diagrama FAST	45
Figura 14 - Diagrama P	47
Figura 15 - Lista de projetos AVL Cruise	60
Figura 16 - Modelo base AVL Cruise	61
Figura 17 - Motor modelo AVL	61
Figura 18 - Caixa de transmissão modelo AVL	62
Figura 19 - Diferencia modelo AVL	62
Figura 20 - Arquitetura com BSG 10kW	63
Figura 21 - Parâmetros do sistema BSG	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frota circulante por ano de fabricação	17
Tabela 2 - Matriz de decisão	32
Tabela 3 - Matriz de confirmação	34
Tabela 4 - Engenharia reversa	41
Tabela 5 - Análise de valor.....	43
Tabela 6 – DFMEA.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Frota circulante por ano de fabricação	17
Gráfico 2 - Comparação dos Ciclos FTP75 e HWFET	19
Gráfico 3 - Consumo: Ciclo Urbano x Ciclo Rodoviário	20
Gráfico 4 - Relação entre pontos de partidas e o consumo de combustível	22
Gráfico 5 - Forças resistivas.....	54
Gráfico 6 - Consumo específico motor Toyota 2.5L A25A-FKS 2018	55
Gráfico 7 - Influência do BSG.....	56
Gráfico 8 - Pontos de consumo específico no ciclo FTP75	58
Gráfico 9 - Torque do motor x Tempo de ciclo do modelo com implementação.....	65
Gráfico 10 - Velocidade x Tempo de ciclo do modelo com implementação	66
Gráfico 11 - Torque da máquina elétrica x Tempo de ciclo	67
Gráfico 12 - Estado de carga da bateria x Tempo de ciclo.....	68
Gráfico 13 - Consumo x Tempo de ciclo do modelo base	69
Gráfico 14 - Consumo x Tempo de ciclo do modelo com implementação.....	70
Gráfico 15 - Emissão de CO ₂ x Tempo de ciclo do modelo base.....	71
Gráfico 16 - Emissão de CO ₂ x Tempo de ciclo do modelo com implementação.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/C	<i>Alternating Current</i>
AMT	Transmissão manual automatizada
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BSFC	<i>Brake Specific Fuel Consumption</i>
BSG	<i>Belt Starter Generator</i>
CA	Corrente Alternada
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CC	Corrente Contínua
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
ECU	<i>Electronic Control Unit</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
FAST	<i>Functional Analysis System Tree</i>
FEI	Fundação Educacional Inaciana Pe. Sabóia de Medeiros
FMEA	<i>Failure Mode And Effect Analysis</i>
FTP	<i>Federal Test Procedure</i>
HWFET	<i>Highway Fuel Economy Test</i>
Li-Po	Lítio Polímero
MCI	Motor de Combustão Interna
MHEV	<i>Mild Hybrid Electric Vehicle</i>
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
PBEV	Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PSA	Peugeot S.A.
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SOC	<i>State of Charge</i>
UN ECE	<i>United Nations Economic Comission for Europe</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

e	constante de Euler
g	grama
Hz	Hertz
h	hora
km	quilômetro
l	litro
MPa	megapascal
m	metro
mm	milímetro
N	Newton
rad	radiano
rpm	rotação por minuto
R\$	real
s	segundo
sen	seno
V	volt
°	grau
%	porcentagem
®	Marca Registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	CONTEXTUALIZAÇÃO	16
2.1	ANÁLISE DE MERCADO	16
2.2	ANÁLISE DE VIABILIDADE	18
2.3	PROBLEMA E PROPÓSITO	18
2.3.1	Problema	19
2.3.2	Propósito	22
2.4	GOLDEN CIRCLE	23
2.4.1	Por quê?	24
2.4.2	Como?	24
2.4.3	O Quê?	24
3	DESENVOLVIMENTO	24
3.1	BENCHMARKING	24
3.1.1	Sistemas híbridos	25
3.1.1.1	<i>Mild Hybrid P0 BSG 12V</i>	26
3.1.1.2	<i>Mild Hybrid P0 BSG 48V</i>	27
3.1.1.3	<i>Mild Hybrid P1</i>	27
3.1.1.4	<i>Mild Hybrid P3/P4</i>	28
3.1.1.5	<i>Full Hybrid</i>	29
3.1.1.6	<i>Plug-in Hybrid</i>	29
3.2	MATRIZ DE DECISÃO	30
3.3	STORYBOARD	35
3.3.1	O que é o BSG?	35
3.3.2	Como funciona o BSG?	35
3.4	FERRAMENTAS DE ENGENHARIA	38
3.4.1	Diagrama de fronteira	38
3.4.2	Engenharia reversa	40
3.4.3	Análise de valor	42
3.4.4	FAST	44
3.4.5	Diagrama P	46
3.4.6	DFMEA	48
4	CUSTOS	50

5	CÁLCULOS E ANÁLISES	51
5.1	CÁLCULO DOS COMPONENTES	51
5.1.1	Análise da correia.....	51
5.1.2	Análise dos suportes de fixação	52
5.2	CÁLCULO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	52
5.2.1	Eficiência energética do veículo	53
5.2.2	Análise do BSFC com a implementação híbrida.....	56
5.2.3	Modos de direção	57
5.3	SIMULAÇÃO COM AVL CRUISE®	58
5.3.1	Estratégia de simulação.....	58
5.3.2	Veículo base.....	59
5.3.3	Veículo com implementação	59
5.3.4	Metodologia de simulação	60
5.3.5	Análise de resultados.....	64
6	ESTIMATIVA DE RETORNO DE INVESTIMENTO	73
7	CONCLUSÃO.....	74
	REFERÊNCIAS.....	75
	APÊNDICE A – TENSÃO E DEFORMAÇÃO FLANGE INTERNO.....	79
	APÊNDICE B – TENSÃO E DEFORMAÇÃO FLANGE EXTERNO	93
	APÊNDICE C – DESENHO 2D DO BSG	107
	APÊNDICE D – DESENHO 2D DO SUPORTE DE FIXAÇÃO.....	109

1 INTRODUÇÃO

A mobilidade está cada vez mais presente no mundo cotidiano, e o automóvel e sua eficiência energética têm se tornado um dos principais temas em discussões de programas de sustentabilidade devido ao seu impacto ambiental.

Na pandemia vivenciada recentemente em todo o mundo, muitos postos de trabalho foram fechados, e isso levou pessoas a utilizarem o automóvel como instrumento de trabalho, seja no transporte de mercadorias ou como motoristas de aplicativos, por exemplo.

No perímetro urbano, circuito em que os motoristas realizam a maioria de suas viagens, o trânsito intenso é bastante comum, sobretudo em horários de pico, e é no “anda e para” do trânsito urbano que se consome mais combustível, este podendo representar até 50% dos custos operacionais de um automóvel.

Por isso, alternativas que melhorem a eficiência energética do automóvel são sempre alvo de discussões e pesquisas. A hibridização, que pode estar presente em diferentes níveis em um automóvel, é uma alternativa que vem sendo explorada cada vez mais pelos fabricantes de veículos. Seu principal benefício é a redução do consumo de combustível, uma vez que se utiliza energia elétrica como fonte de potência. Isso é traduzido no aumento da eficiência energética e na diminuição nos níveis de emissões de poluentes e de ruído.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

A motivação do desenvolvimento desse projeto veio devido a distribuição atual de veículos que se tem no cenário urbano. Para aprofundamento do tema, foram analisados diversos dados sobre a frota nacional circulante para entendimento dos pontos críticos da mobilidade urbana.

2.1 ANÁLISE DE MERCADO

“Considerando a necessidade de estabelecer novos padrões de emissão para os motores veiculares e veículos automotores leves, nacionais e importados, visando à redução da poluição do ar nos centros urbanos do país e a economia de combustível,” (Resolução N°492 12/18). Em anos recentes foi observado diversos países adentrando uma nova era de incentivos que visam a redução das emissões e um ambiente mais sustentável, o Brasil segue essa tendência com os programas ROTA 2030 e PROCONVE, que procura reduzir a poluição gerada pelos automóveis, conforme trecho citado da resolução N° 492 que define os parâmetros e datas a serem seguidos por montadoras da indústria automotiva.

A poluição do ar é um problema que está sendo discutido e atacado com esses programas e consequentemente leva benefícios aos clientes, onde as montadoras tem desenvolvido soluções novas, seja por downsizing (diminuição do tamanho dos motores aumentando sua eficiência), que por sua vez trazem carros mais econômicos e menos poluentes, ou com formas de eletrificação de veículos, sendo assim, mais sustentáveis e até isentos de emissão de gases poluentes durante o uso, no caso de um veículo 100% elétrico.

Porém, ainda sofrendo com os efeitos da pandemia, a indústria automobilística brasileira se encontra desestabilizada, com valores altos e um menor poder de compra do brasileiro que culminou, em 2021, em uma queda na compra de carros novos, dessa forma apesar dos incentivos governamentais a frota automotiva brasileira sofre com uma baixa renovação que consequentemente atrasa os esforços para reduzir a poluição gerada por automóveis.

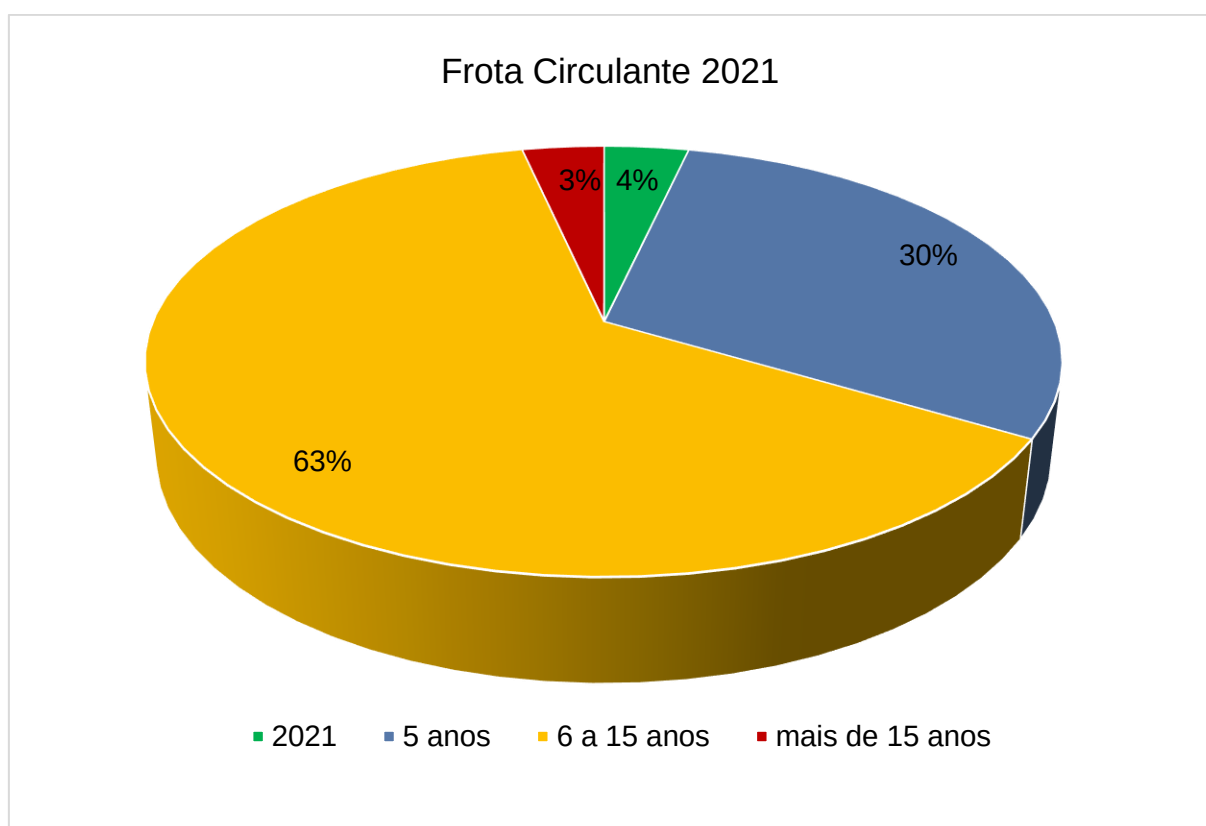
Com os dados do anuário da ANFAVEA 2022 para veículos leves são constatados os seguintes números:

Tabela 1 - Frota circulante por ano de fabricação

Frota circulante em 2021		43.583.278
2021		1.550.000
2015 – 2020		13.074.983
2000 – 2014		27.457.465
Anterior à 2000		1.500.829

Fonte: Anuário ANFAVEA, 2022

Gráfico 1 - Frota circulante por ano de fabricação



Fonte: Anuário ANFAVEA, 2022

Desta forma, observa-se que cerca de 66% dos veículos circulantes foram comercializados há mais de 6 anos, os quais apresentam tecnologias mais antigas e taxas de consumo de combustível e emissão de gases poluentes maiores que as atuais.

Para o número de veículos novos vendidos em 2021 é possível concluir que uma renovação completa da frota circulante, que enfim traria as tecnologias novas para combater a poluição, pode demorar mais de 10 anos.

2.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE

Quando é citada frota circulante, principalmente no caso de centros urbanos, é obtido como parcela os veículos utilizados por empresas com frota própria ou de motoristas. Serviço extensamente utilizado em grandes cidades, sejam eles de aplicativos ou taxi.

Dados recentes do Summit Mobilidade, organizado anualmente pelo jornal Estadão, mostram a rápida expansão de motoristas de aplicativos, porém com taxi ainda sendo uma opção para os clientes. Desta forma, nota-se que o número de veículos com grande quilometragem diária, seja por motoristas em serviço ou por veículos de frota em visitas ou vendas, constam como uma parcela significativa da emissão de poluentes nos grandes centros urbanos.

Outra consequência causada pela pandemia, e por outros motivos, nos anos recentes foi o aumento do valor de combustíveis fósseis praticados no Brasil, onde segundo dados da ANP, órgão responsável pela fiscalização de combustíveis e afins, no Brasil houve um aumento de 100% no valor médio da gasolina comum no período de março de 2020 até março de 2022.

Portanto, observa-se como os serviços citados anteriormente, apesar de contínua expansão, ficam em xeque com a evolução de um insumo essencial e presente em seu dia a dia, que conforme levantado por Elian Guimarães no Jornal Estado de Minas (2022), pode representar até 50% da renda bruta de motoristas de aplicativos.

Assim sendo, por motivos financeiros muitos motoristas procuram formas de economizar combustível e que por consequência trazem menores emissões de poluentes, por outro lado seria de interesse de empresas que possuem frota própria de veículos leves, alternativas mais sustentáveis que além de trazerem economia financeira, apresentem uma possibilidade de uma imagem mais verde e ecológica. Isto é visto com bons olhos por muitos clientes e trazem também incentivos governamentais.

2.3 PROBLEMA E PROPÓSITO

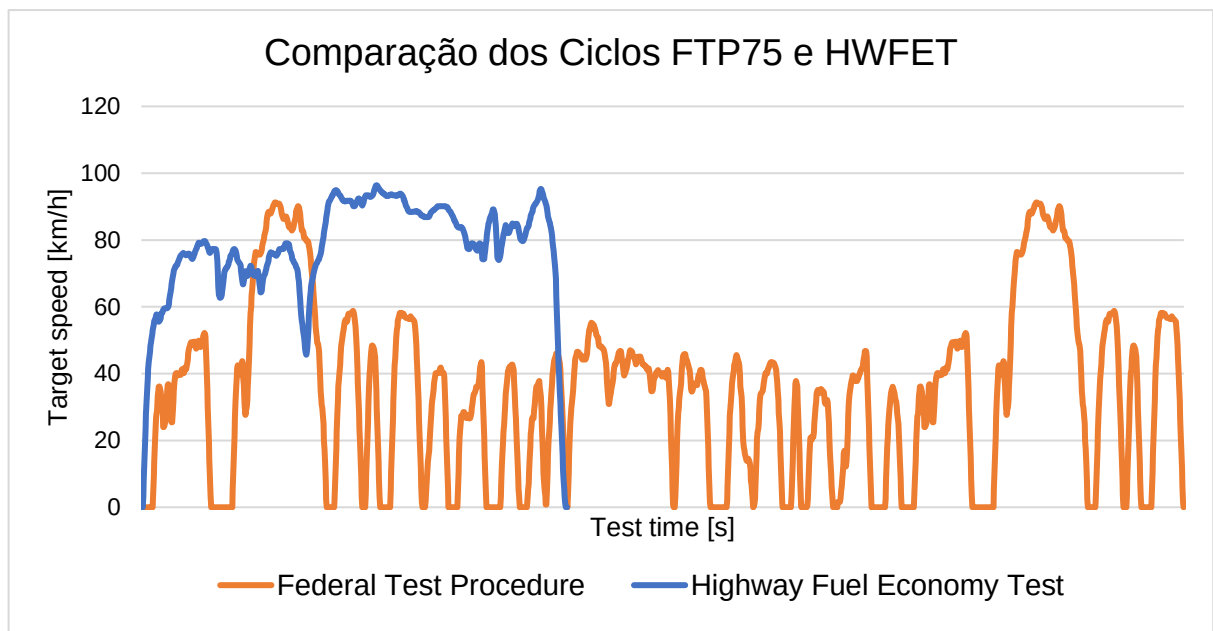
Após concluída a análise dos dados sobre a frota nacional circulante e entendido os pontos críticos da mobilidade urbana, definiu-se o problema a ser solucionado e o propósito do projeto Tupã.

2.3.1 Problema

De acordo com a legislação brasileira, para homologação de um veículo, é necessário realizar testes em dois ciclos de condução: FTP75 (urbano) e HWFET (rodoviário). Estes ciclos são utilizados para estimar o comportamento do veículo em seu uso diário, seja num perímetro urbano ou rodoviário.

O ciclo FTP75 apresenta 23 situações de partida do veículo, enquanto o HWFET apenas uma. A condição de partida caracteriza-se pela movimentação do veículo partindo do repouso (velocidade zero). Desta forma, os ciclos simulam o trânsito das cidades e o fluxo contínuo das estradas.

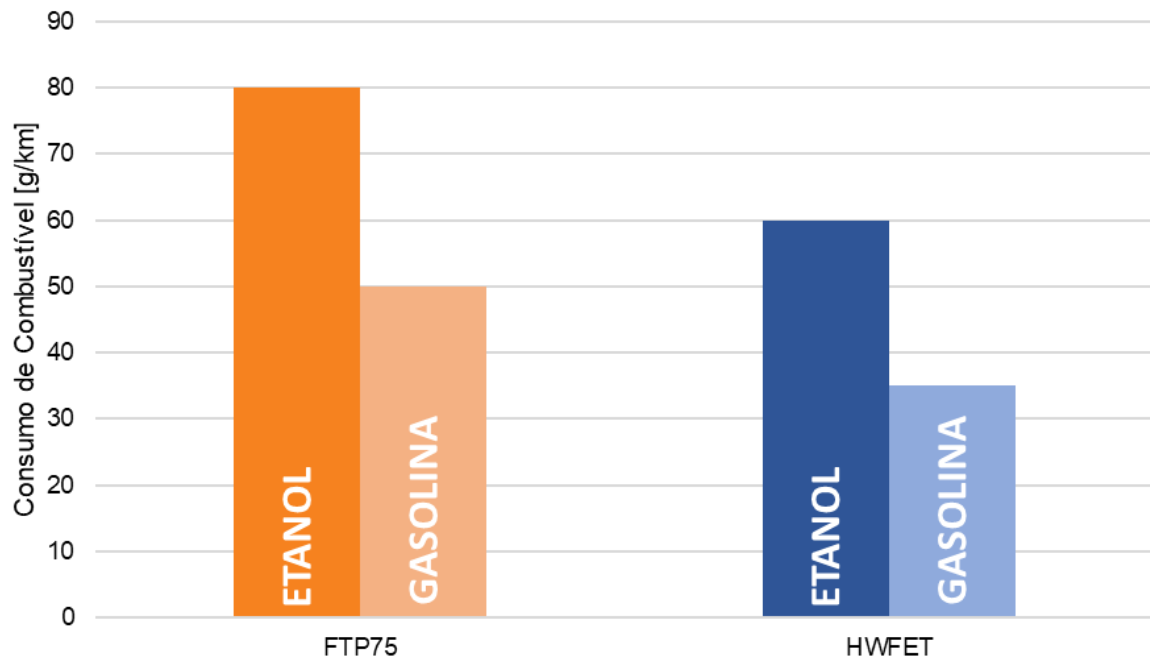
Gráfico 2 - Comparação dos Ciclos FTP75 e HWFET



Fonte: Autores "adaptado de" *U.S. Environmental Protection Agency*, 2022

Comparando o consumo de combustível nos dois ciclos, observa-se no gráfico 3 uma diferença expressiva entre eles, para os veículos propelidos exclusivamente por motores de combustão interna.

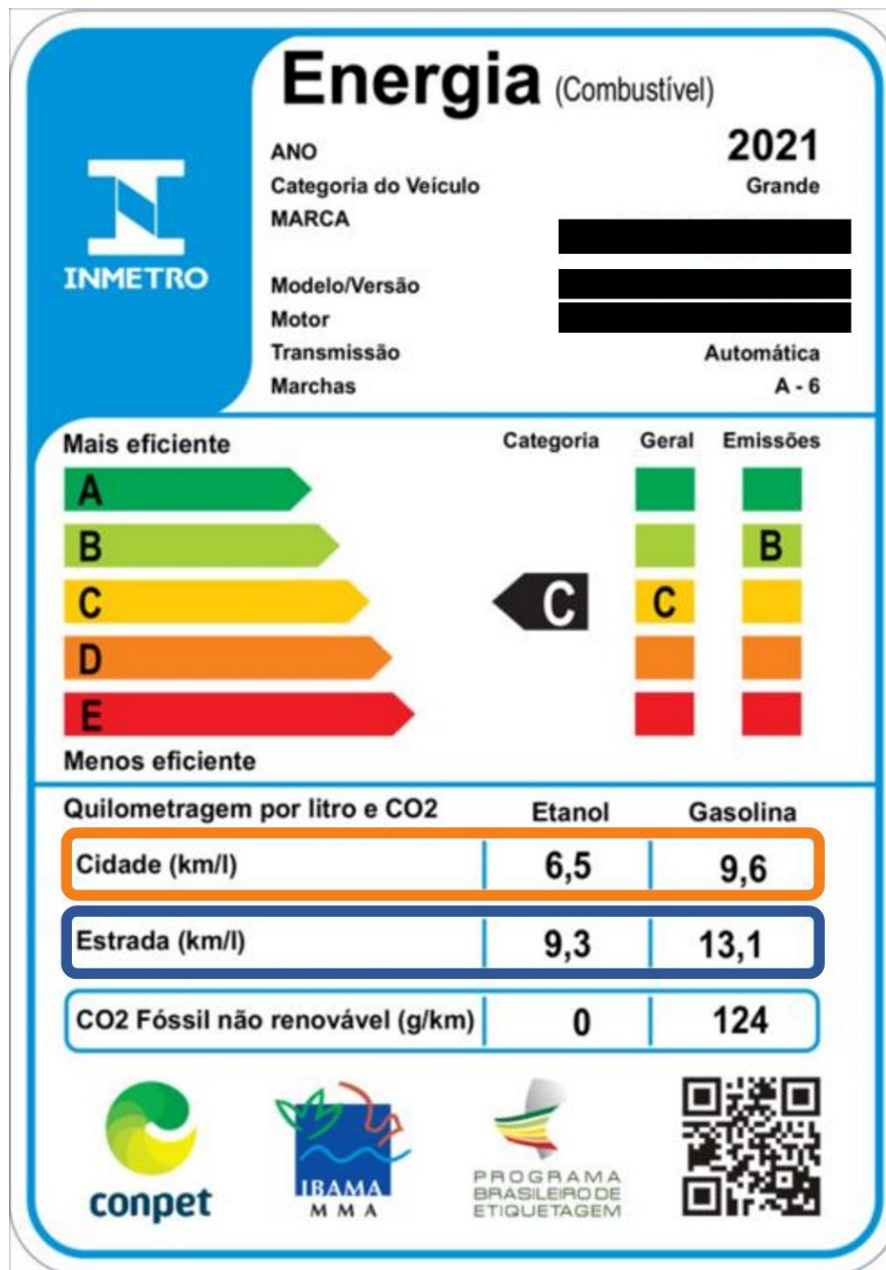
Gráfico 3 - Consumo: Ciclo Urbano x Ciclo Rodoviário



Fonte: Autores “adaptado de” *A Computer Tool for Modelling CO2 Emissions in Driving Cycles for Spark Ignition Engines Powered by Biofuels*, 2021, p. 22

Essa diferença é tão importante que é descrita no Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV).

Figura 1 - Etiqueta do PBEV

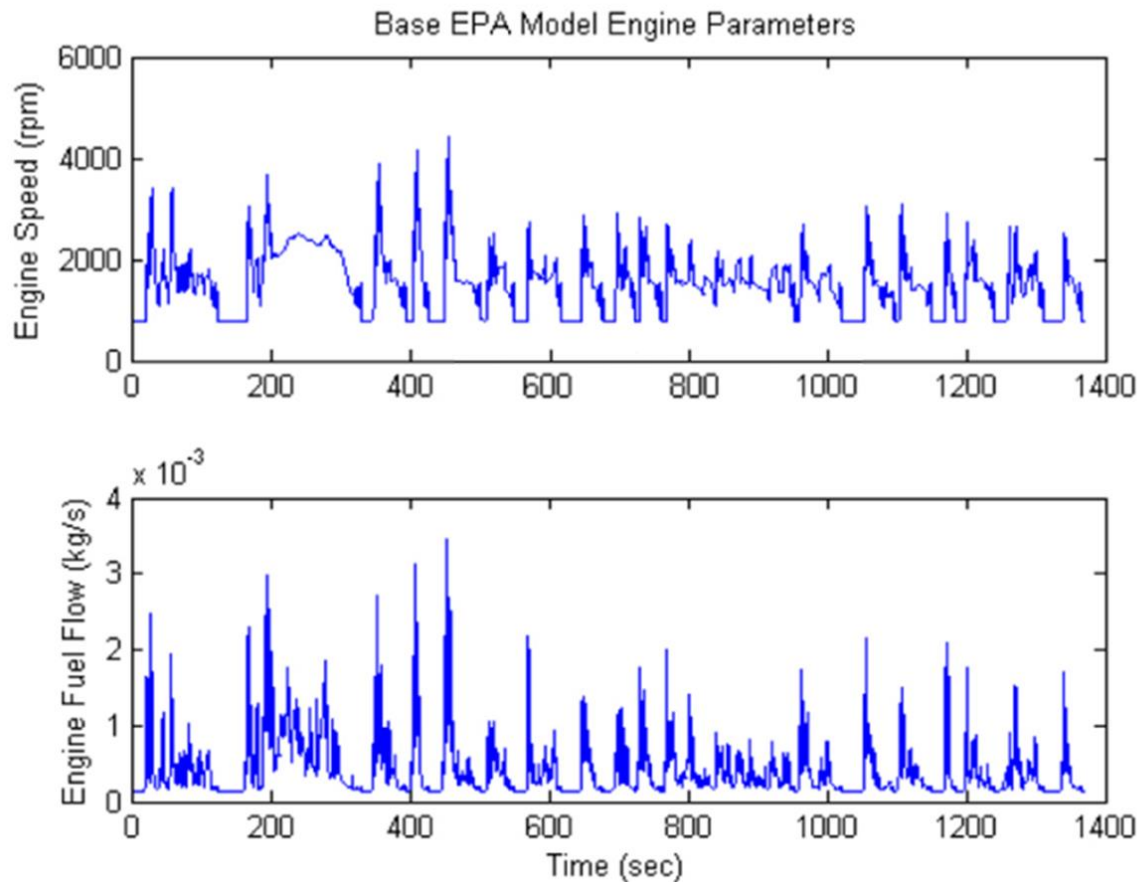


Fonte: Autores “adaptado de” KIA Brasil, 2022

Legenda: Exemplo de etiqueta do Programa Brasileiro de
Etiquetagem Veicular

Um dos motivos atrelados a essa diferença se dá justamente pela quantidade de partidas apresentadas em cada um dos ciclos. Conforme demonstrado no gráfico 4, retirado de simulações apresentadas por McGehee e Yoon (2013), é notável que em condição de partida, onde o veículo está acelerando, há um aumento na rotação do motor de combustão interna (rpm) e associado a isso, observa-se o aumento na vazão de combustível (kg/s).

Gráfico 4 - Relação entre pontos de partidas e o consumo de combustível



Fonte: Autores "adaptado de" An Optimal Powertrain Control Strategy for a Mild Hybrid Electric Vehicle, 2013, p. 7

Desta forma, observa-se a influência das condições de partidas, em relação ao consumo de combustível do veículo. Sendo assim, este projeto tem como objetivo desenvolver uma solução que melhore o consumo de combustível para veículos, no cenário de condição de partida.

2.3.2 Propósito

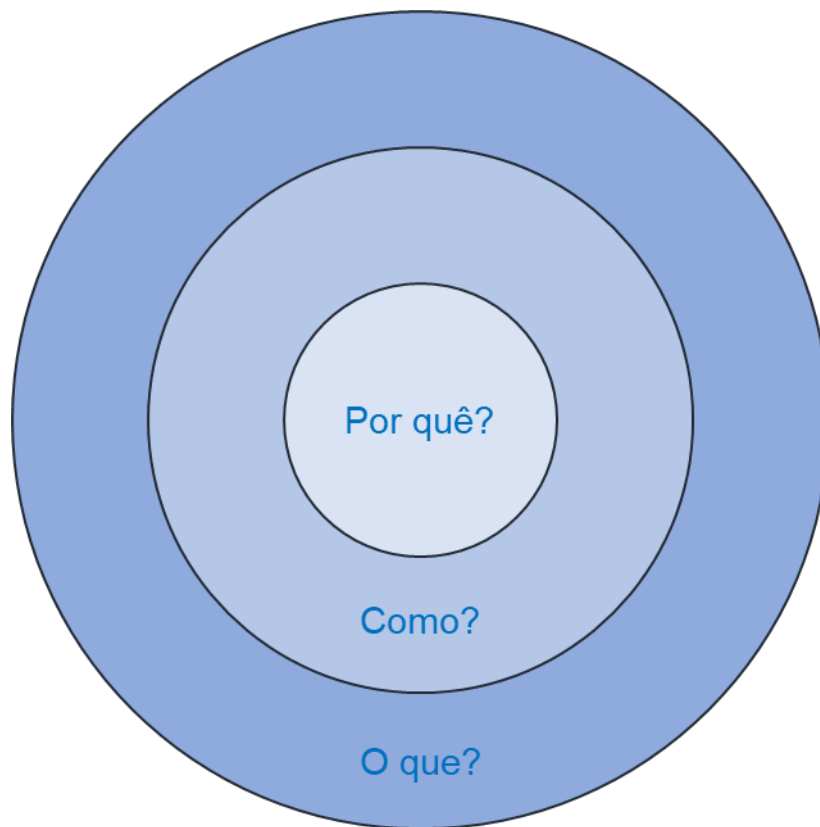
Tendo em vista a baixa taxa de renovação da frota circulante, a alta nos preços dos combustíveis e relacionando as condições de partida com o consumo no ciclo urbano, este projeto tem como objetivo melhorar a eficiência energética dos veículos de passeio, da frota circulante, em condições de partida.

2.4 GOLDEN CIRCLE

O *Golden Circle* (Círculo de Ouro) é um conceito desenvolvido e apresentado por Simon Sinek no livro *Start with Why: how great leaders inspire everyone to take action* (2011). Este conceito busca evidenciar o quão valioso é o senso de propósito de uma ideia, salientando a importância do entendimento de sua motivação.

O conceito baseia-se no que é atribuído o nome de *Golden Circle*. Este conceito é representado por um gráfico, onde são apresentadas as seguintes indagações “por quê?”, “como?”, e “o que?”.

Figura 2 - Golden Circle



Fonte: Autores

De acordo com o conceito apresentado pelo autor do livro, deve-se iniciar a busca do porquê desta ideia. Através disso é possível entender o propósito que a motivou. O próximo passo é a definição de como atingir o propósito e, por último, o que deve ser desenvolvido para que o propósito seja atingido.

2.4.1 Por quê?

Acreditamos em transportes mais sustentáveis e na importância da qualidade de vida das pessoas.

2.4.2 Como?

Por meio de um sistema veicular que melhore a relação de consumo de combustível do veículo e emissão de CO₂.

2.4.3 O Quê?

Desenvolvendo uma alternativa que torne os veículos, da frota circulante, mais sustentáveis e econômicos.

3 DESENVOLVIMENTO

Com o propósito e os requisitos de projeto definidos, iniciaram-se os estudos das possíveis soluções para definir a melhor forma de atingir o objetivo.

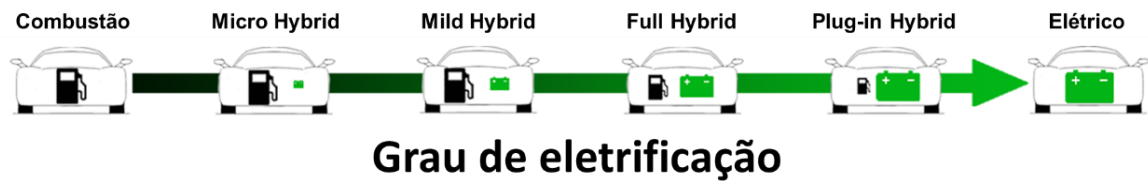
3.1 BENCHMARKING

O *Benchmarking* é uma ferramenta de análise estratégica para comparar e estudar diferentes soluções oferecidas pelo mercado, sejam elas produtos, serviços ou práticas. Com o *Benchmarking*, busca-se sempre a melhoria de algum processo ou funções e sistemas. Além de comparar ideias existentes no mercado, ele pode servir como base para desenvolvimento de novas ideias.

Os diferentes tipos de propulsão existentes em um veículo de passeio atualmente são combustão, híbrido e elétrico. Para este projeto, foram estudados os diferentes tipos de sistemas veiculares para propulsão eletrificada, porém ainda com um motor de combustão interna presente, ou seja, sistemas híbridos.

Esses sistemas são utilizados de forma extensa no mercado por contemplarem diversos tipos de arquiteturas e configurações. Os sistemas híbridos possuem diferentes graus de eletrificação, sendo classificados da seguinte forma: *Micro Hybrid*, *Mild Hybrid*, *Full Hybrid* e *Plug-in Hybrid*. Como pode ser observado na figura abaixo:

Figura 3 - Grau de eletrificação



Fonte: Autores

A solução por meio de um sistema *Micro Hybrid*, onde existe somente a adição de um sistema Start-Stop, não foi contemplada no *Benchmarking*, uma vez que esse sistema só é acionado com o veículo parado e não auxilia na partida. Também não foi considerada uma modificação para um veículo totalmente elétrico devido ao alto número de componentes e alterações que seriam necessários.

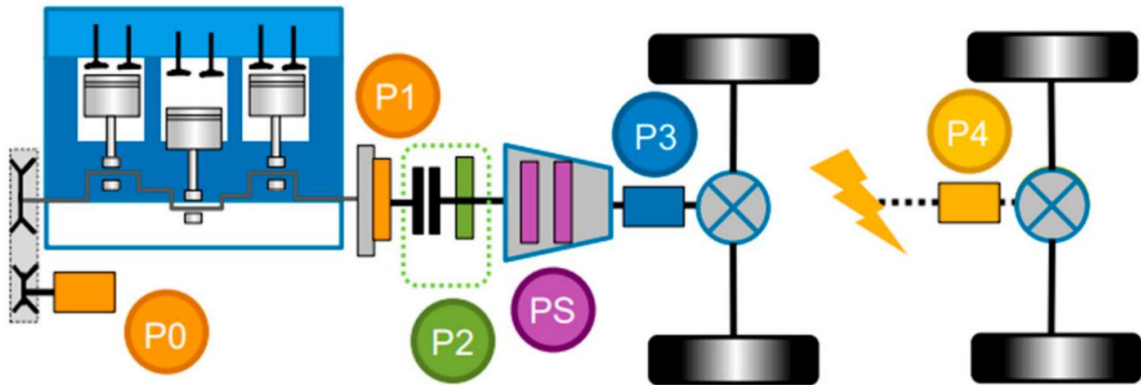
3.1.1 Sistemas híbridos

Um sistema de propulsão híbrido pode ter 6 principais posições de instalação distintas. Dentre elas, devem ser considerados os impactos na arquitetura e performance do veículo assim como os custos de instalação e adequação para cada configuração. Desta forma, foram nomeadas as posições como P0, P1, P2, P3, P4 e PS, sendo elas:

- a) P0: motor elétrico acoplado através de correia ao virabrequim do motor de combustão interna.
- b) P1: motor elétrico localizado entre o motor de combustão interna e embreagem.
- c) P2: motor elétrico localizado entre embreagem e transmissão.
- d) P3: motor elétrico acoplado após a transmissão.
- e) P4: motor elétrico acoplado ao eixo não trativo.
- f) PS: motor elétrico localizado dentro da caixa de transmissão.

Essas configurações podem ser visualizadas na imagem abaixo:

Figura 4 - Possíveis posições de um sistema híbrido



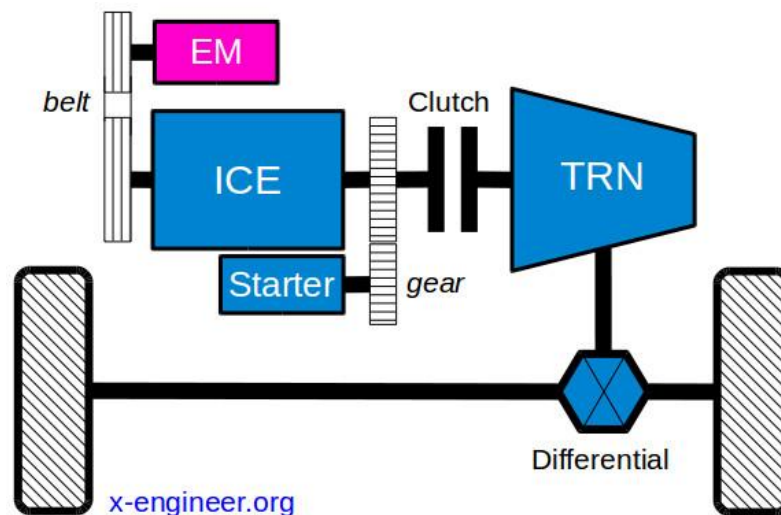
Fonte: Comparative Analysis of Technical Route and Market Development for Light-Duty PHEV in China and the US, 2019, p. 7

Importante destacar que, diferentemente das outras posições, as posições P0 e P1 não podem ser desconectadas do motor estando sempre conectadas a ele.

3.1.1.1 Mild Hybrid P0 BSG 12V

O sistema BSG entrega uma ótima relação custo-benefício, proporcionando uma economia de combustível e menor emissão de CO₂, além de dispensar a necessidade de recarga externa. Com uma baixa alteração na arquitetura do veículo que consiste em simplesmente trocar o alternador original por uma máquina BSG mantendo a bateria original de 12V. Este sistema possui uma potência baixa devida a sua arquitetura e entrega um baixo auxílio ao motor nas condições de partida.

Figura 5 - Mild Hybrid P0 BSG 12V

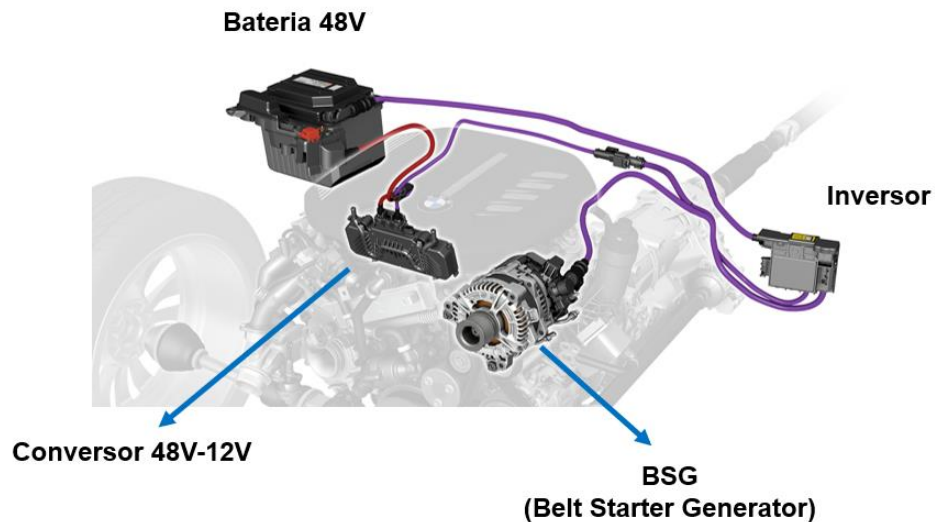


Fonte: x-engineer, 2022

3.1.1.2 Mild Hybrid P0 BSG 48V

Intitulado como híbrido 48V, conta com a assistência de torque pelo motor elétrico. Apesar disso, não é possível tracionar o veículo de modo 100% elétrico em algumas estratégias de controle. Assim como no sistema BSG 12V, também não é necessária a recarga externa, porém é necessária a substituição da bateria padrão do veículo por uma bateria de 48V. Com uma potência maior da máquina elétrica, entre 10kW e 14kW, consegue entregar um maior auxílio de torque ao motor, podendo chegar até 50Nm, o que proporciona maior economia de combustível e uma menor emissão de CO₂. Além disso, pode possuir a função *Start-Stop* presente no *Micro Hybrid*.

Figura 6 - Mild Hybrid BSG P0 48V

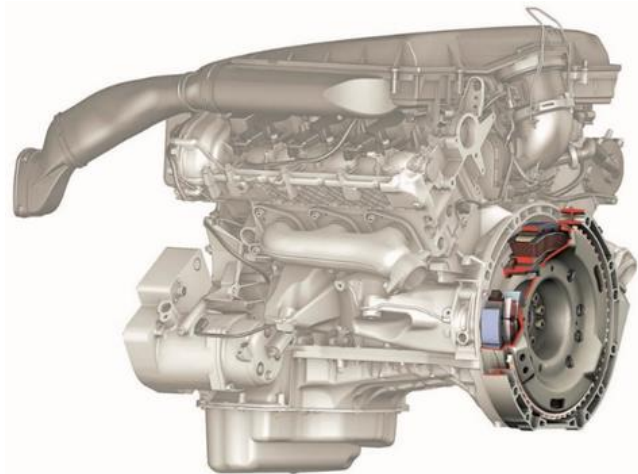


Fonte: BMW Blog, 2020

3.1.1.3 Mild Hybrid P1

Em uma arquitetura como a P1, onde é adicionado uma máquina elétrica diretamente ao virabrequim ou ao volante do motor, a máquina irá agir como gerador durante as desacelerações do veículo e como auxílio de potência nas acelerações, podendo oferecer uma eficiência maior em relação ao BSG. Um sistema de transmissão por correia oferece uma relação de transmissão, já este sistema tem relação direta com o virabrequim. Desta forma o torque acaba sendo limitado, podendo entregar cerca de 34Nm e 10kW de potência.

Figura 7 - Mild Hybrid P1

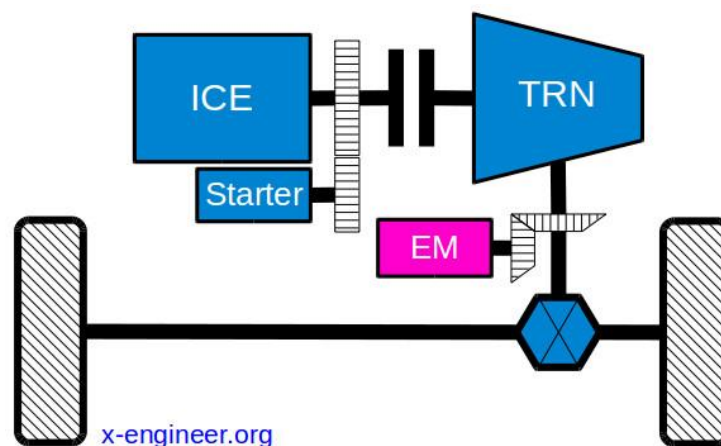


Fonte: x-engineer, 2022

3.1.1.4 Mild Hybrid P3/P4

Conforme citado anteriormente, sistemas com posições após a embreagem podem ser desconectadas do motor, foi estudado então, para essa solução, as principais vantagens de ter um motor elétrico conectado nas posições P3 e P4. Para uma máquina conectada após a transmissão ou no eixo não trativo se obtém a maior eficiência nas arquiteturas *Mild Hybrid* no qual conseguem-se potências de até 21kW e 50Nm de torque. Porém, contém uma grande mudança na arquitetura base de um veículo e com alto custo de adequação e instalação, dificultando a possibilidade dessa solução ser aplicada num âmbito de frota circulante. Deve ser ressaltado também, que devido à sua posição não é possível implementar a estratégia de *Start-Stop* nesse sistema.

Figura 8 - Mild Hybrid P3/P4



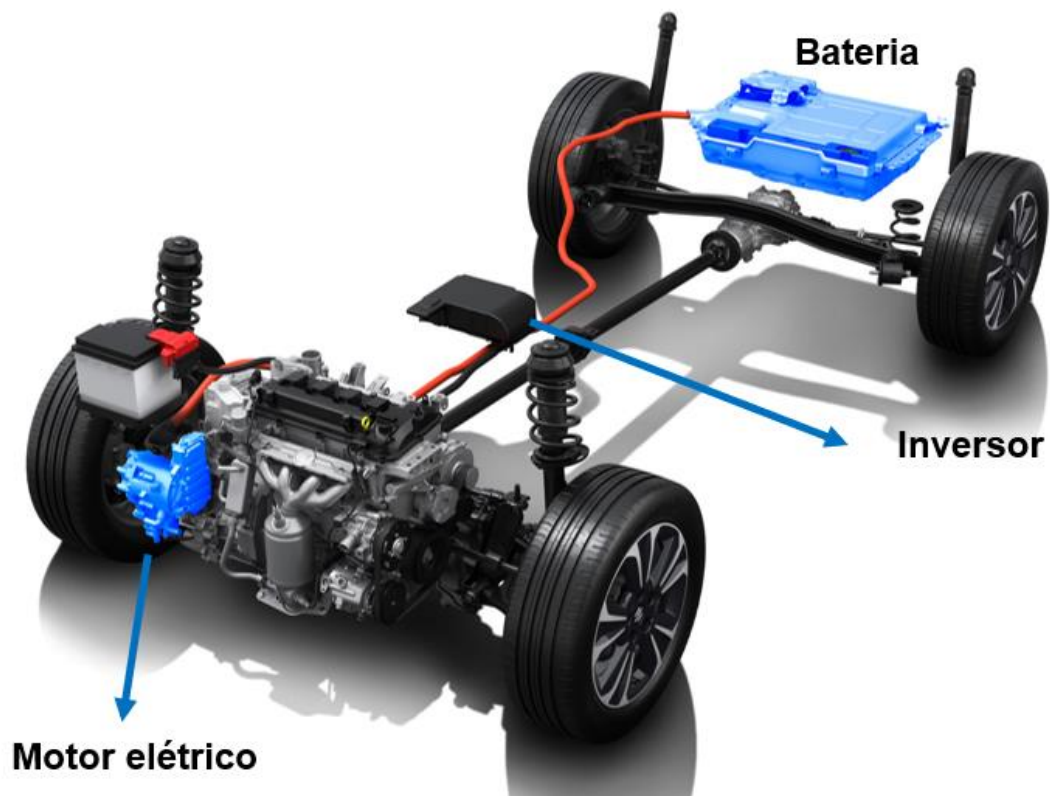
Fonte: x-engineer, 2022

3.1.1.5 Full Hybrid

Os veículos que apresentam o sistema *Full Hybrid* têm como principal vantagem a possibilidade de serem tracionados somente com o motor a combustão, com uma combinação dos motores à combustão e elétrico ou no modo 100% elétrico. Este sistema também não possui a necessidade de recarga externa, porém sua autonomia é baixa no modo somente elétrico. Outra desvantagem se tem devido ao alto custo de instalação e adequação para diferentes carrocerias de veículos.

Com uma arquitetura de alta tensão, esse sistema proporciona economia de combustível e menor emissão de CO₂ se comparado aos sistemas de hibridização menos potentes. Além disso, pode possuir a função *Start-Stop* e assim como o sistema *Mild Hybrid*, pode ter diferentes configurações de implementação.

Figura 9 - Full Hybrid



Fonte: Autores “adaptado de” Techzle, 2021

3.1.1.6 Plug-in Hybrid

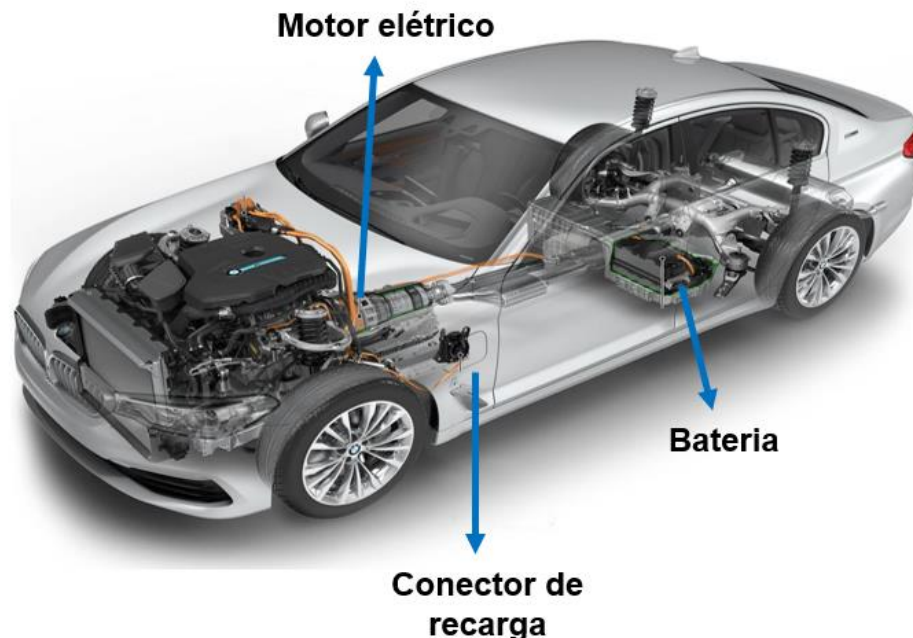
Por possuir o maior grau de eletrificação entre os sistemas híbridos, o *Plug-in Hybrid* apresenta o menor consumo de combustível e maior autonomia no modo elétrico. Porém, para uma maior eficiência e autonomia deste sistema, é necessária a

recarga externa, além de existir um alto custo de instalação e adequação de projeto, assim como o *Full Hybrid*.

No Brasil, a infraestrutura de recarga e manutenção ainda é pouco desenvolvida, sendo encontrada com maior facilidade somente em grandes centros urbanos. Portanto, numa viagem longa, pode ser necessária a rodagem somente com o motor à combustão em algum momento.

Proporciona economia de combustível, menor emissão de CO₂ e pode possuir a função *Start-Stop*. Assim como o sistema *Mild Hybrid* e o *Full Hybrid*, este sistema pode ter diferentes configurações de implementação.

Figura 10 - Plug-in Hybrid



Fonte: Autores “adaptado de” Autoweek, 2016

3.2 MATRIZ DE DECISÃO

A matriz de decisão é uma ferramenta que auxilia na tomada de decisão no processo de planejamento de projetos. Seu método consiste em estabelecer critérios relevantes para a tomada de decisão, propor uma classificação numerada para avaliar estes critérios e, por fim, extrair a solução mais vantajosa para o projeto.

Com o intuito de tomar a decisão que melhor atenda ao objetivo proposto pelo projeto, foram estabelecidos os critérios: adequação às leis (CONTRAN 749/2018 / UN ECE-R100 / NR10), custo de instalação, custo de manutenção, *e-driving*, freio regenerativo, modificações no veículo, tempo de recarga, peso adicional, quantidade

de componentes e tamanho da bateria. Sendo os critérios custo dos componentes, intercambialidade, eficiência do veículo, emissão de CO₂ e suporte de torque definidos com peso 2 para as avaliações.

Ao desenvolver a matriz de decisão, representada na tabela abaixo, a preocupação está em comparar todas as soluções identificadas na etapa de *Benchmarking* com o modelo de referência. Nesta etapa, quanto maior a pontuação total, melhor será a solução em relação a referência. Uma pontuação negativa significa que a solução proposta traria piores condições frente aos critérios estabelecidos.

Tabela 2 - Matriz de decisão

Solução Crítérios	Peso	Motor a combustão	Solução #1	Solução #2	Solução #3	Solução #4	Solução #5	Solução #6
			BSG 12V	BSG 48V	Mild Hybrid 48V	Mild Hybrid 48V	Full Hybrid	Plug-in
			(P0)	(P0)	(P1)	(P3/P4)	(P4)	(P4)
Adequação às Leis	1	REFERÊNCIA	0	0	0	0	-1	-1
Custo de Instalação	1		-1	-1	-1	-2	-2	-2
Custo de Manutenção	1		-1	-1	-1	-2	-2	-2
Custo dos Componentes	2		1	1	-1	-2	-2	-2
Intercambialidade	2		2	2	-1	-2	-2	-2
E-Driving	1		0	1	1	1	1	2
Eficiência do Veículo	2		-1	1	1	2	2	2
Emissão de CO2	2		1	1	1	1	2	2
Freio Regenerativo	1		1	1	1	1	2	2
Modificações no Veículo	1		1	1	-1	-2	-2	-2
Tempo de Recarga	1		0	0	0	0	0	-2
Peso Adicional	1		1	1	1	-1	-2	-2
Quantidade de Componentes	1		-1	-1	-1	-2	-2	-2
Suporte de Torque	2		-1	1	1	2	2	2
Tamanho da Bateria	1		0	-1	-1	-1	-2	-2
Total		0	4	12	0	-6	-6	-7

2	Muito bom
1	Bom
0	N/A
-1	Ruim
-2	Muito ruim

Fonte: Autores

Com o resultado da matriz, temos que as soluções 1 e 2 obtiveram uma avaliação melhor em relação a referência, gerando uma nova análise, agora com a matriz de confirmação, a fim de garantir que a solução escolhida é a melhor entre todas as avaliadas.

A matriz de confirmação garantiu que a solução com o BSG utilizando a arquitetura de 48V é a melhor entre as demais.

Tabela 3 - Matriz de confirmação

Critérios \ Solução	Peso	Mild 48V (BSG) (P0)	Solução #1	Solução #3	Solução #4	Solução #5	Solução #6
			BSG 12V	Mild Hybrid 48V	Mild Hybrid 48V	Full Hybrid	Plug-in
			(P0)	(P1)	(P3/P4)	(P4)	(P4)
Adequação às Leis	1	REFERÊNCIA	0	0	0	-1	-1
Custo de Instalação	1		0	0	-1	-2	-2
Custo de Manutenção	1		0	0	-1	-2	-2
Custo dos Componentes	2		0	-1	-1	-2	-2
Intercambialidade	2		0	-1	-2	-2	-2
E-Driving	1		-1	0	1	1	2
Eficiência do Veículo	2		-1	1	1	2	2
Emissão de CO2	2		-1	0	1	2	2
Freio Regenerativo	1		0	0	1	1	1
Modificações no Veículo	1		0	-1	-1	-2	-2
Tempo de Recarga	1		0	0	0	0	-2
Peso Adicional	1		1	0	-1	-2	-2
Quantidade de Componentes	1		0	0	-1	-1	-1
Suporte de Torque	2		-1	-1	1	2	2
Tamanho da Bateria	1		2	0	-1	-2	-2
Total		0	-4	-5	-4	-6	-7

2	Muito bom
1	Bom
0	N/A
-1	Ruim
-2	Muito ruim

Fonte: Autores

3.3 STORYBOARD

Storyboard é uma sequência de acontecimentos, em ordem cronológica, apresentada em forma visual para ilustrar as principais etapas de algum processo. Ele deve ser o mais claro e objetivo possível, visando o fácil entendimento por todos.

Utilizando essa ferramenta, será apresentado o funcionamento do sistema de hibridização desenvolvido no projeto Tupã.

3.3.1 O que é o BSG?

O alternador é uma peça fundamental para o funcionamento do veículo. Por ser um componente eletromecânico, ele tem a capacidade de converter o movimento do motor a combustão em energia elétrica, através de um rotor e um estator. A conexão entre alternador e motor se dá, na maioria das vezes, por meio de uma correia de borracha, responsável por transmitir rotação e torque do motor para o alternador. Desse modo, ele é responsável pela recarga da bateria e fornecimento de corrente para os sistemas elétricos do veículo.

A corrente gerada pelo alternador é alternada. Uma vez que a bateria trabalha em regime de corrente contínua, tem-se acoplado à sua carcaça um componente eletrônico, que converte corrente alternada em corrente contínua.

O BSG (*Belt Starter Generator*) é um componente similar ao alternador na construção eletromecânica, porém a sua eletrônica se difere bastante. Por possuir uma eletrônica mais refinada, o BSG é capaz de gerar corrente a partir do movimento do motor, assim como é possível gerar movimento a partir da corrente fornecida pela bateria.

3.3.2 Como funciona o BSG?

Quando o veículo está em movimento, o BSG atua no modo de recarga, ou seja, ele utiliza a rotação do motor para gerar corrente elétrica e carregar a bateria.

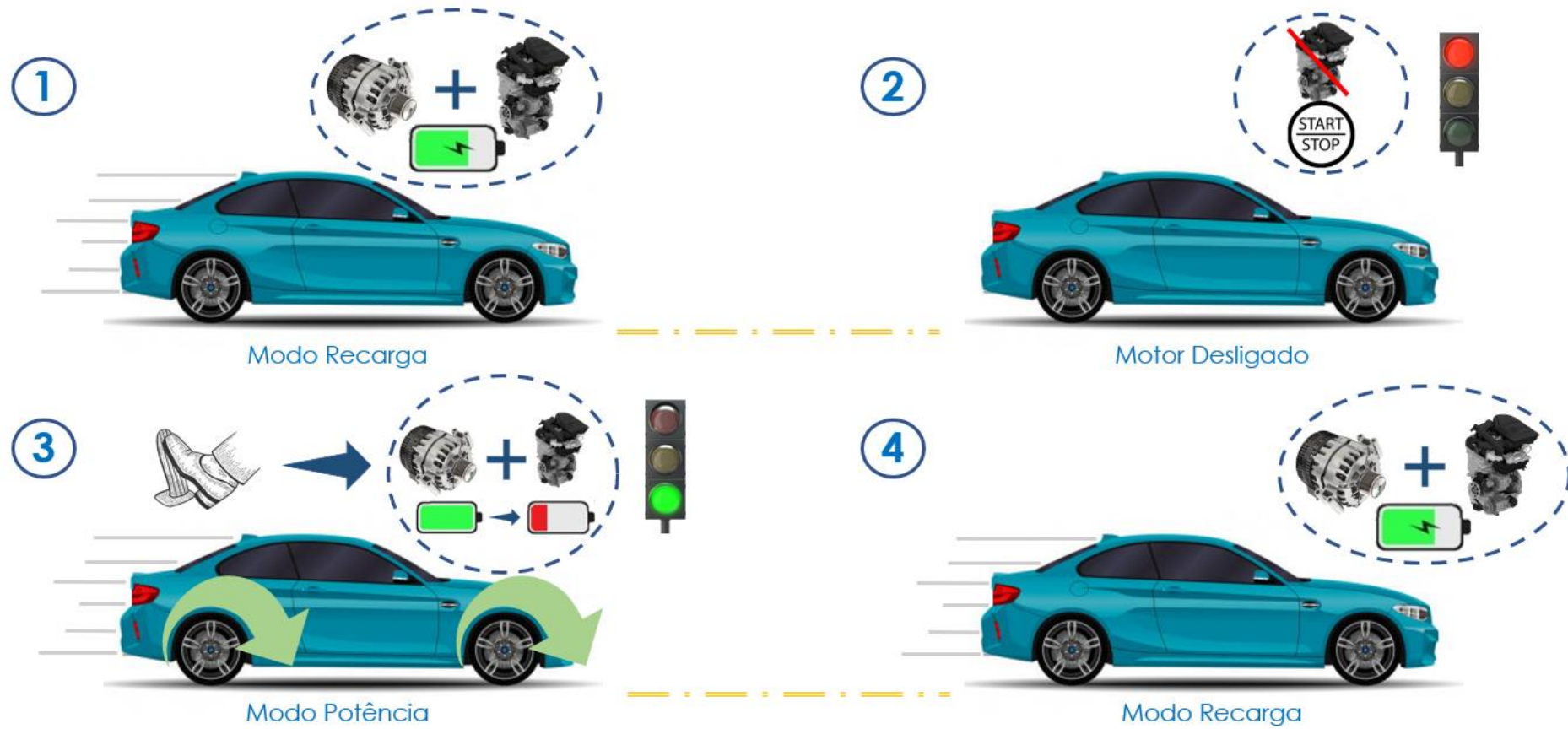
Após o veículo parar, o motor se desliga automaticamente com a função *Start-Stop*.

Ao pressionar o pedal do acelerador, o motor é ligado novamente e o BSG atua no modo de potência, colocando o veículo em movimento, o BSG utiliza a energia da bateria para gerar movimento e proporcionar auxílio de torque para o veículo.

Após atingir uma velocidade pré-determinada, o BSG volta a atuar no modo de recarga, carregando a bateria a partir do movimento do motor.

Além dos modos de recarga e de potência, ainda é possível ter a função de frenagem regenerativa, caso o veículo seja equipado com uma bateria de lítio-polímero.

Figura 11 - Storyboard sistema de hibridização Tupã



Fonte: Autores

3.4 FERRAMENTAS DE ENGENHARIA

Para entender melhor o funcionamento do sistema, foram utilizadas algumas ferramentas de engenharia para definir as funções de cada componente do sistema e avaliar os possíveis modos de falha que poderiam ocorrer.

As ferramentas de engenharia utilizadas foram:

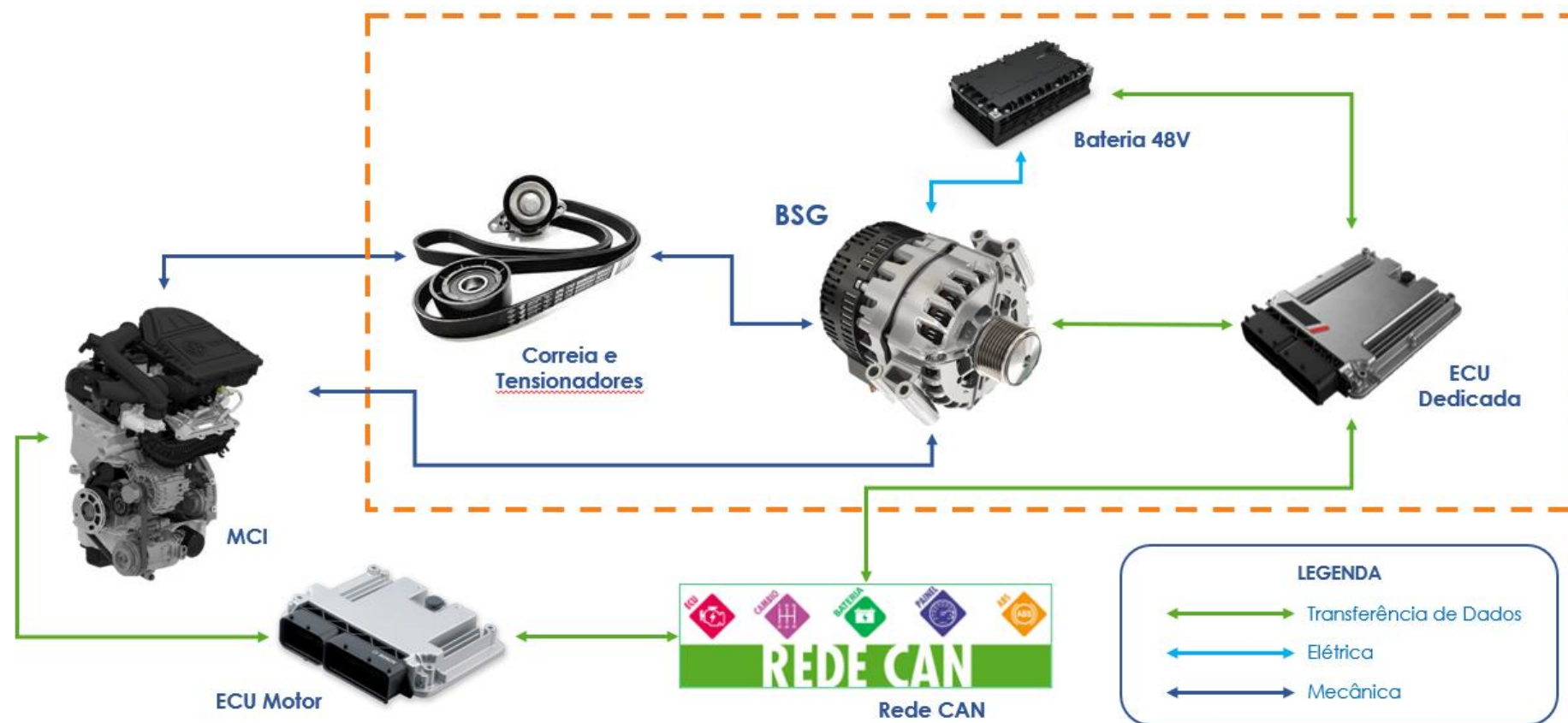
- a) Diagrama de fronteira;
- b) Engenharia reversa;
- c) Análise de valor;
- d) FAST;
- e) Diagrama P;
- f) DFMEA.

3.4.1 Diagrama de fronteira

O diagrama de fronteira tem como objetivo identificar possíveis problemas entre os componentes envolvidos no sistema nas suas interfaces e na maneira que interagem entre si, seja mecânica, elétrica ou transferência de dados.

Foi realizada uma análise colocando o BSG no centro do sistema e todos os componentes que serão adicionados no veículo. Com isso, alguns pontos de atenção foram levantados, como a tensão aplicada na correia e de uma ECU dedicada ao sistema híbrido. A figura 12 abaixo mostra todas as interfaces levantadas pela análise feita.

Figura 12 - Diagrama de fronteira



Fonte: Autores

3.4.2 Engenharia reversa

A engenharia reversa tem como objetivo identificar as principais características de cada componente utilizado no projeto, a fim de elucidar seus funcionamentos e princípios tecnológicos através da análise de sua estrutura.

Para isso foram ponderados as principais dimensões, massas, materiais e possíveis fornecedores dos componentes utilizados no sistema, conforme demonstrado na tabela 4. Ao realizar a visualização unitária de cada componente a ser implementado no sistema, podemos perceber que a solução escolhida para implementação não apresentará grandes impactos na estrutura veicular. Isso se deve ao fato de que alguns componentes serão substituídos por outros similares, já utilizados na estrutura original do veículo (como a troca do alternador pelo BSG).

Dentre os componentes que serão introduzidos no sistema, apenas a bateria de 48V pode requerer uma maior atenção devido a sua dimensão e massa. Entretanto, ela tem a vantagem de poder ser posicionada no local mais conveniente para a aplicação.

Tabela 4 - Engenharia reversa

COMPONENTE	DIMENSÕES PRINCIPAIS		PESO	MATERIAL		FORNECEDOR/PROCESSO DE FABRICAÇÃO
BSG	Largura	20 cm	6,615 kg	Estator	Cobre Esmaltado	Valeo SEG
	Altura	18 cm		Carcaça	Ferro Fundido	
	Comprimento	26 cm		Polia	Aço	
Correia	Comprimento	200 cm	0,22 kg	Correia	Borracha	Continental
	Largura	5 cm				
Bateria 48V	Largura	18 cm	15kg	Carcaça Células	Lítio-Polímero	Panasonic Bosch
	Altura	20 cm				
	Comprimento	23 cm				
ECU Dedicada	Largura	10 cm	0,3 kg	Carcaça	Aço	Bosch Magneti Marelli Fueltech
	Espessura	5 cm		Conectores	Polímero	
	Comprimento	15 cm		Componentes internos	Cobre	

Fonte: Autores

3.4.3 Análise de valor

Na análise de valor, os componentes do sistema são avaliados em relação as suas funções e utilidades.

Podemos ter as seguintes classificações para os componentes:

- a) Primária (P): apresenta a função principal do sistema;
- b) Secundária (S): apresenta a função que não é a principal do sistema;
- c) Relevante (+): contribui para o funcionamento do sistema;
- d) Irrelevante (0): não afeta o desempenho do sistema;
- e) Não desejável (-): atrapalha o funcionamento do sistema;
- f) Uso (U): tem utilidade para o funcionamento do sistema;
- g) Estética (E): não contribui com o funcionamento, somente com a estética.

Abaixo, é possível ver a classificação dos componentes de um sistema híbrido

48V:

Tabela 5 - Análise de valor

		Classificação					Classificação		
Componentes	Funções	P/S	+/0/-	U/E	Componentes	Funções	P/S	+/0/-	U/E
BSG	Aumenta Peso	S	-	U	Bateria 48V	Armazenar Energia	S	+	U
	Recarregar a Bateria	S	+	U		Fornecer Energia	S	+	U
	Fornecer Torque	P	+	U		Aumento do Peso	S	-	U
	Fornecer Rotação	S	+	U		Gerar Calor	S	-	U
	Gerar Vibração	S	-	U	Chicote Elétrico	Transmitir Energia	S	+	U
	Gerar Calor	S	-	U		Transmitir Dados	S	+	U
	Gerar Ruído	S	-	U		Dissipar Calor	S	+	U
	Transformar CA em CC	S	0	U		Transmitir Energia	S	+	U
	Modula Tensão	S	+	U		Transmitir Dados	S	+	U
	Modula Frequência	S	+	U		Conectar Componentes	S	+	U
	Lógica de Funcionamento ME	S	+	U	ECU dedicada BSG	Receber Dados	S	+	U
Correia / Corrente	Transportar Energia Mecanicamente	S	+	U		Analisar Dados	S	+	U
Suporte	Fixar o Sistema	S	+	U		Enviar Comandos	S	+	U
	Rigidez e Segurança	S	+	U		Consumir energia	S	-	U

Fonte: Autores

3.4.4 FAST

Foi utilizada como forma de visualização das relações lógicas do projeto a ferramenta *FAST*, *Functional Analysis System Tree* (Árvore Sistemática de Análise Funcional), onde foi buscado entender o caminho crítico de funções e o escopo de cada componente no quesito de funcionamento principal e secundário, se baseando em três perguntas que definem o caminho a ser seguido na árvore:

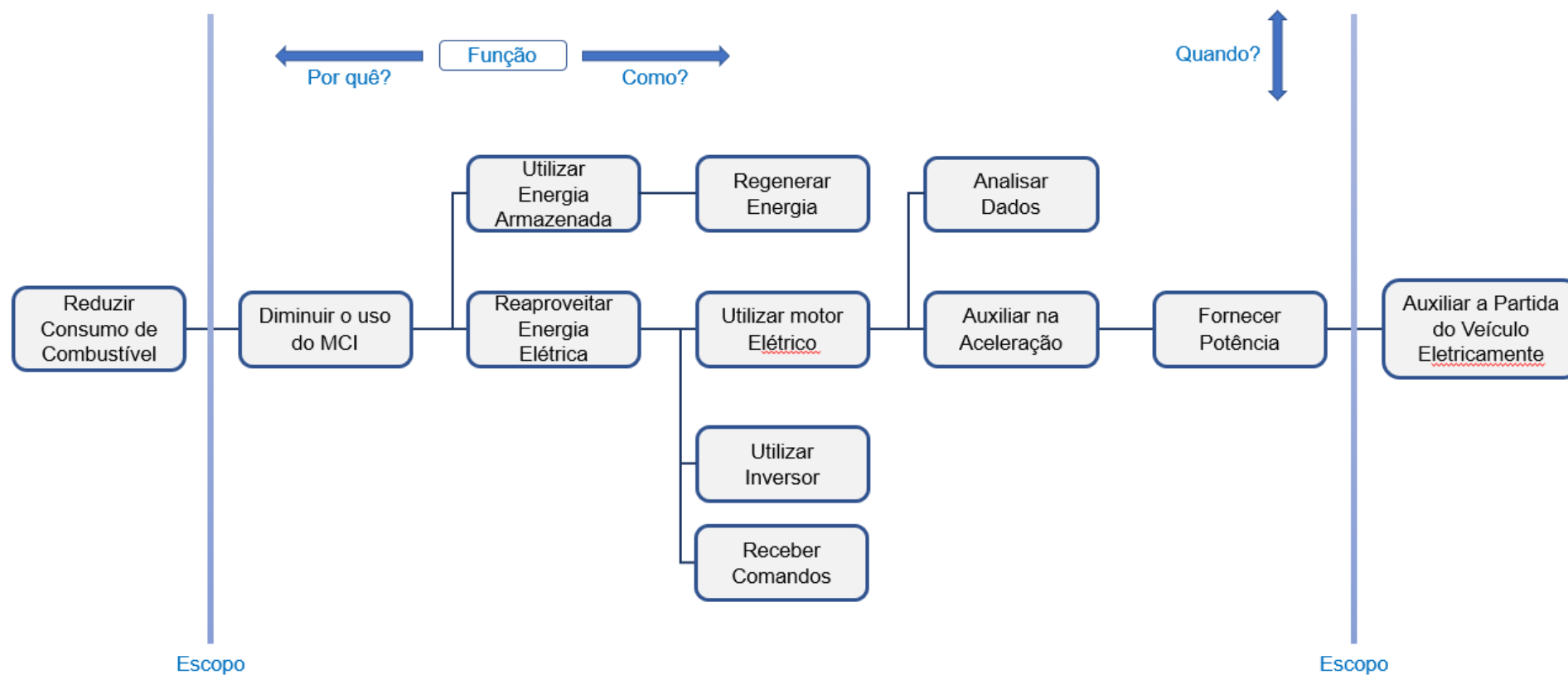
- a) "Por quê?" - para a esquerda;
- b) "Como?" - para a direita;
- c) "Quando?" - para cima ou para baixo.

As principais funções que delimitam o escopo foram definidas como "Reduzir Consumo de Combustível" e "Auxiliar a Partida do Veículo Eletricamente". Posteriormente o caminho crítico a ser seguido foi definido como:

- a) Diminuir o uso do Motor de Combustão Interna (MCI);
- b) Reaproveitar energia elétrica;
- c) Utilizar motor elétrico;
- d) Auxiliar na aceleração;
- e) Fornecer potência.

Com as devidas análises, foi obtida a seguinte árvore sistêmica mostrada na figura abaixo:

Figura 13 - Diagrama FAST



Fonte: Autores

3.4.5 Diagrama P

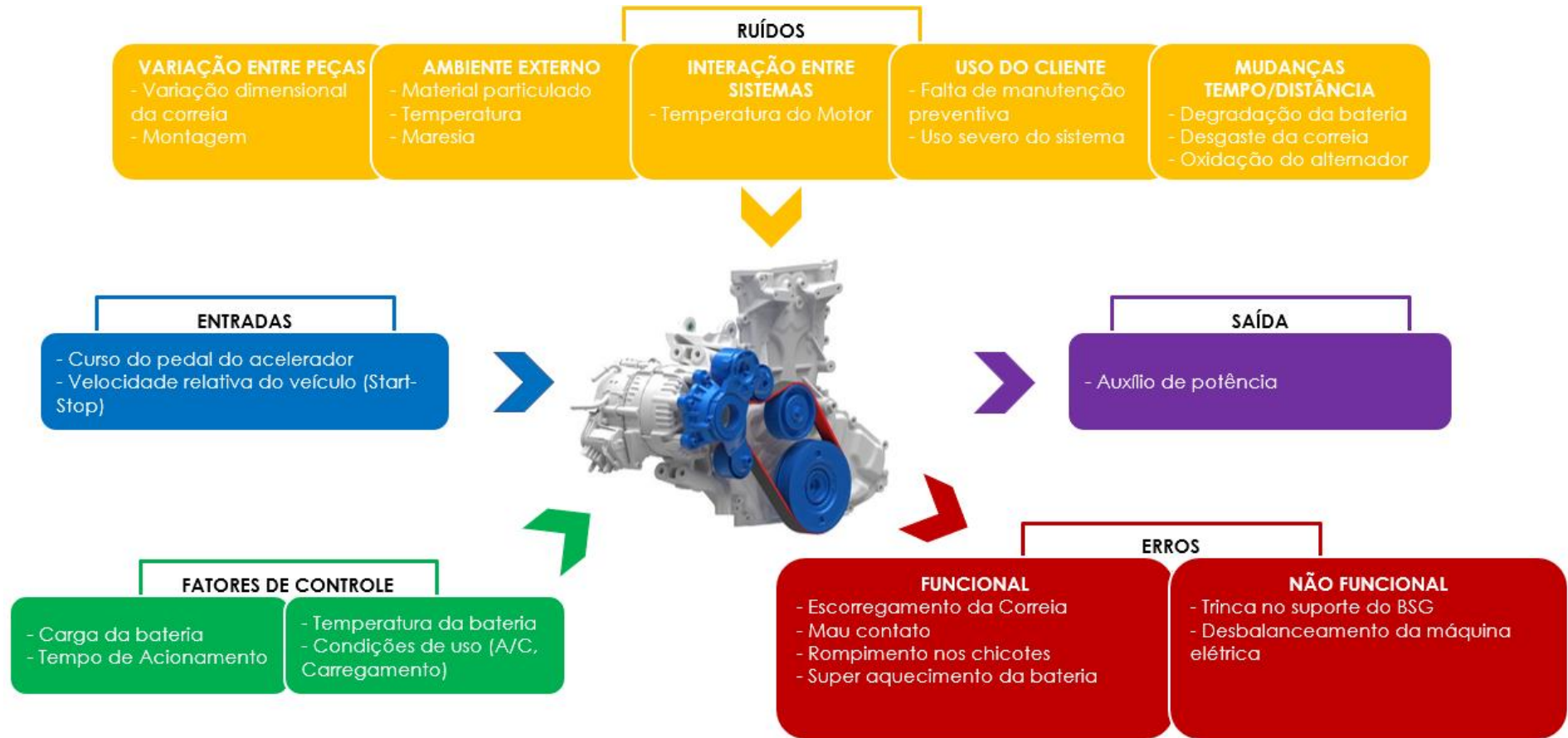
O Diagrama P é uma ferramenta utilizada para diagramação dos parâmetros de falha e análise de riscos. Esta importante etapa de um projeto ajuda a mapear grande parte das possíveis falhas que podem aparecer.

Desta forma, foram utilizadas 5 principais vertentes de dados:

- a) Entradas: Dados a serem inseridos no sistema, essenciais para a lógica de funcionamento do sistema BSG;
- b) Fatores de Controle: Principais dados a serem mensurados para que o sistema funcione dentro de parâmetros pré-dispostos;
- c) Erros: Possíveis falhas e discordâncias que podem surgir durante o uso sendo elas funcionais (erros que influenciam o funcionamento do sistema) e não funcionais (erros não ligados diretamente ao funcionamento do sistema);
- d) Ruídos: Fontes de falhas que podem afetar o sistema, porém não são controláveis;
- e) Saídas: O tipo de resposta ou resultado esperado do sistema após todas as verificações e controles.

Assim, com os parâmetros estabelecidos para o diagrama P foram obtidos os seguintes resultados conforme a figura 14 abaixo:

Figura 14 - Diagrama P



Fonte: Autores

Com esse resultado foi destacada a importância de ter o curso do pedal do acelerador e a velocidade relativa do veículo como principais entradas, e o auxílio de potência ao MCI como principal saída, visando ajudar na movimentação do veículo em condições de partida para que se atinja o objetivo do projeto.

A carga da bateria e o tempo de acionamento do sistema também são fatores importantes de controle, devido ao gerenciamento de energia elétrica armazenada em um sistema que opera tanto como fornecedor como gerador. Da mesma forma, o escorregamento da correia e o superaquecimento da bateria são erros funcionais a serem observados, pois atingem diretamente a eficiência do sistema.

3.4.6 DFMEA

O DFMEA (*Design Failure Mode and Effect Analysis*) é uma ferramenta muito utilizada na indústria de diversas formas, com objetivo principal de identificar possíveis problemas de design do produto.

Através da utilização desta ferramenta, foram avaliadas as funções e potenciais falhas dos componentes previstos no projeto e, posteriormente, os possíveis efeitos e causas que cada tipo de falha pode apresentar.

Após análises, foram determinadas ações de controle para prevenção de possíveis falhas almejando evitar ao máximo suas ocorrências. A planilha completa com todas as possíveis falhas é apresentada na tabela 6 desse trabalho.

Tabela 6 – DFMEA

Item	Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Classification	Potential Cause(s) of Failure	Current Design Controls Prevention	Occurrence	Current Design Controls Detection	Detection	RPN	Recommended Action(s)	Responsibility
BSG	Carregar bateria	Inverter corrente, fornecer rotação e torque	Superaquecimento	Redução da eficiência	7	8	Arrefecimento inadequado	Design visando melhor troca de calor	3	Sensor de temperatura	3	63	Monitoramento da temperatura e estratégia de resfriamento do BSG	Fornecedores Homologados
	Fornecer torque													
Bateria	Fornecer energia	Fornecer e armazenar corrente na tensão adequada	Superaquecimento	Redução da eficiência	7	9	Mau dimensionamento do chicote / Gerenciamento de baterias	Controle de qualidade / Verificação dos sensores pela rede CAN	4	Instruções do fornecedor para cabeamento / Sensores internos	2	56	Testes experimentais em protótipos e em campo / Model in the loop	Fornecedores Homologados / Calibração
			Curto circuito	Incêndio	10	3	Mau dimensionamento do chicote	Controle de qualidade	2	Instruções do fornecedor para cabeamento	5	100	Testes experimentais em protótipos e em campo	Fornecedores Homologados
			Esgotamento total da bateria	Interrupção de fornecimento de energia	8	10	Falha na leitura de SOC	Verificação dos sensores pela rede CAN	3	Sensores internos	2	48	Model in the loop	Calibração
Correia	Transportar energia mecanicamente	Transferir torque entre motor e BSG	Rompimento	Interrupção da transferência de torque	8	6	Excesso de tensão / Degradação do material	Instrução de montagem / Manutenção preventiva	2	Inspeção da montagem / Inspeção visual	6	96	Testes de montagem	Provedor de serviço de montagem
			Escorregamento	Redução da eficiência	7	2	Falta de tensão na correia	Instrução de montagem	3	Inspeção da montagem	5	105	Testes de montagem	Provedor de serviço de montagem
Suporte	Fixar o sistema	Travar o BSG na sua posição de funcionamento	Trinca	Potencial de quebra	3	12	Excesso de vibração torcional / Ressonância	Uso de materiais certificados	2	Inspeção visual periódica	6	36	Teste não destrutivo do suporte	Fornecedores homologados
			Quebra	Interrupção do funcionamento do sistema	8	7	Excesso de vibração torcional / Ressonância	Uso de materiais certificados	2	Sensores externos	4	64	Teste destrutivo do suporte	Fornecedores homologados
Chicote elétrico	Transmitir energia	Transmissão de informação e energia através de corrente elétrica	Rompimento do cabo	Interrupção da transmissão de corrente	8	13	Alta tensão no cabo	Instrução de montagem / Verificação dos sensores pela rede CAN	2	Inspeção de montagem / Sensores internos	2	32	Testes de montagem / Model in the loop	Provedor de serviço de montagem / Calibração
	Transmitir dados		Má conexão dos componentes	Falha na leitura de dados	7	14	Montagem incorreta	Instrução de montagem / Verificação dos sensores pela rede CAN	2	Inspeção de montagem / Sensores internos	2	28	Testes de montagem / Model in the loop	Provedor de serviço de montagem / Calibração
	Dissipar calor		Derretimento do material isolante	Incêndio	10	11	Altas temperaturas próximas ao cabo	Verificação dos sensores pela rede CAN	2	Sensores internos	2	40	Model in the loop	Calibração
ECU	Gerenciar do sistema	Alimentação, sensores, atuadores, estratégia de gerenciamento e parâmetros	Sobrecarga	Queima da ECU	8	1	Aumento da temperatura da bateria e aumento da resistência interna e corrente	Sistema de gerenciamento da bateria	2	Parada total do sistema	7	112	Melhor sistema de gerenciamento e arrefecimento da bateria	Engenharia de desenvolvimento do projeto
			Erro de processamento	Falha de controle	7	4	Excesso de temperatura	Mau posicionamento no cofre	2	Sensores internos	7	98	Fixação da ECU em pontos estratégicos	Engenharia de desenvolvimento do projeto
			Falha na rede CAN	Falha na comunicação com subsistemas	7	5	Mau contato	Conectores adequados	2	Falta de precisão no controle	7	98	Testes experimentais em protótipos e em campo	Provedor de serviço de montagem

Fonte: Autores

4 CUSTOS

Diante das ferramentas utilizadas até agora é possível saber quais componentes serão necessários para a construção de um modelo. Para a estipulação dos custos total do projeto pesquisou-se os preços de peças similares que são utilizadas em veículos já vendidos no Brasil.

- a) BSG – R\$8.648,76 (Considerado preço de concessionária);
- b) Bateria 48V – R\$1.239,39 (Considerado preço de concessionária);
- c) Chicote – R\$376,59 (Considerado preço de concessionária);
- d) Placa para controle eletrônico – R\$759,65 (Considerado preço de comércio virtual).

Sobre estes valores incidem impostos, lucro da montadora e lucro da concessionária, então foi utilizado um fator multiplicativo de 0,45 a fim de atingir um valor mais real do custo final do kit Tupã.

Com isso temos um valor total de R\$4.960,98 acrescidos 2h de mão de obra para a instalação de R\$13,25/h (de acordo com o site *Glassdoor*), além de 8h de calibração a um custo de R\$62,50/h (de acordo com o site *Glassdoor*), chegando a um valor final de R\$5.487,48 e um preço final ao cliente de R\$7.399,00, sem consideração de impostos, tendo uma margem de lucro de aproximadamente 25%.

5 CÁLCULOS E ANÁLISES

Uma vez identificada a melhor solução possível para atingir o objetivo, foi realizada a validação do projeto por meio do dimensionamento de componentes, cálculos estruturais e análise de consumo de combustível, além da utilização de softwares para verificação de resultados com maior precisão.

5.1 CÁLCULO DOS COMPONENTES

Com a solução definida, constatou-se a possível necessidade de adaptação de alguns componentes do sistema. Os componentes estudados foram a correia e o suporte de fixação do BSG.

5.1.1 Análise da correia

Com a adição do BSG tem-se uma nova fonte de potência, gerando uma nova entrada de torque no sistema da correia. Portanto, é necessário calcular o impacto desse novo torque no sistema e avaliar se a correia é capaz de suportá-lo sem ocorrer escorregamento entre a polia e a correia.

Para isso, foi considerada a própria correia Poly-V de perfil 6 PK 1070 do motor a combustão interna de três cilindros de 1,2 litros disponível no laboratório de motores da FEI, com as seguintes especificações:

- a) $\alpha = 40^\circ$ - ângulo do canal de polias trapezoidais;
- b) comprimento da correia: 1070mm;
- c) Largura da correia: 20mm.

Além disso, o ângulo de abraçamento θ da correia com a polia é de 170° . Com esses dados e a equação 1, foi calculado o ângulo de abraçamento corrigido:

$$\theta_c = \frac{\theta}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (1)$$

Chegando a um resultado de ângulo de abraçamento corrigido de $\theta_c = 186^\circ$.

Para fazer tal validação, foi utilizada a equação 2 de força trativa suportada pela correia sem que haja escorregamento. Posteriormente, comparou-se essa força com a força que o BSG aplica na correia. Foram utilizados os seguintes dados:

- a) $T_{BSG} = 40\text{Nm}$ - torque oferecido pelo BSG em modo de potência;
- b) $d_{poliabsg} = 59,75\text{mm}$ - diâmetro da polia do BSG;
- c) $\mu = 0,4$ - coeficiente de atrito entre correia e polia.

$$F_1 = \frac{2 * T_{polia\ menor}}{d * [1 - (e^{-\mu * \theta_c})]} \quad (2)$$

A força F_1 encontrada foi de 1.840,5N. Para cálculo da força que o BSG aplica na correia, utilizou-se a equação 3:

$$F_{BSG} = \frac{T_{BSG}}{r_{polia}} \quad (3)$$

Dessa forma, a força encontrada foi de 1.338,9N, que é menor do que a força suportada pela correia sem que haja escorregamento. Portanto, não há falha por escorregamento no sistema.,

Os únicos componentes do sistema que impõem torque na correia são o motor e o BSG, portanto não é necessário calcular o escorregamento para os equipamentos auxiliares acionados pela mesma correia.

5.1.2 Análise dos suportes de fixação

Em alguns casos pode ser necessário projetar um suporte novo para fixar o BSG no motor, devido a diferença dos pontos de fixação do alternador em relação aos do BSG. A fim de montar um protótipo do projeto, foram dimensionados os suportes baseados no motor disponível no laboratório da FEI (PureTech PSA). Com as medidas retiradas do motor e do BSG foi feito um CAD 3D dos componentes a serem usinados.

Para análise desses suportes foi utilizado o software ANSYS® para estimar as tensões máximas aplicadas e deformação máxima. Visto que o BSG fornece 40Nm de torque máximo, considerou-se um coeficiente de segurança de 2,5, resultando em uma força de 100N no ponto de fixação do suporte no BSG. A simulação apresentou um valor de tensão máxima no suporte interno de 5,31MPa e uma deformação máxima de 0,002mm conforme apêndice A. O suporte externo é mais crítico devido a sua menor espessura, considerando as mesmas condições do suporte anterior a simulação apresentou o valor máximo de tensão de 15,96MPa e deformação máxima de 0,006mm, conforme apêndice B, ambas as tensões máximas aplicadas são inferiores a tensão limite de escoamento para o aço utilizado (SAE 1010).

5.2 CÁLCULO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

Para que seja comentado sobre consumo e economia de combustível deve-se primeiro entender as diversas variáveis que estão presentes nesse cálculo, as quais

podem ser divididas em duas principais vertentes: eficiência energética do veículo e modo de direção.

5.2.1 Eficiência energética do veículo

A eficiência de um veículo é dada pela eficiência mecânica da transmissão e térmica do motor, resultando na força trativa, que precisa superar as forças resistivas para acelerar o veículo, essa equação pode ser descrita pela seguinte fórmula:

$$F_{accel} = F_{trat} - F_{rol} - F_{aer} - F_{grad} \quad (4)$$

Onde:

F_{accel} : Representa a força resultante de aceleração do veículo [N];

F_{trat} : Força de tração provida pelo veículo [N];

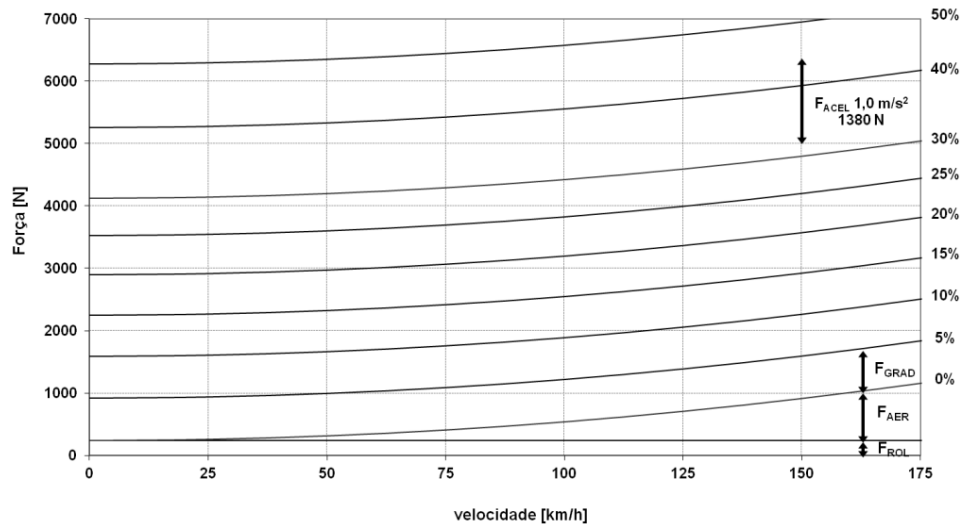
F_{rol} : Força de resistência a rolagem [N];

F_{aer} : Força de resistência aerodinâmica [N];

F_{grad} : Força de resistência do gradiente de rampa [N].

Como pode ser observado no gráfico 4 abaixo, a força de resistência a rolagem é ligada às características do pneu utilizado e do solo, admitindo valor constante em função da velocidade do veículo. Já a força de resistência aerodinâmica depende da densidade do ar, da geometria do veículo e do quadrado da velocidade relativa, por isso apresenta valores mais expressivos para maiores velocidades, porém em condições de partida, em que se tem uma baixa velocidade, a resistência aerodinâmica pode ser desprezada. E como última força resistiva tem-se a força de gradiente de rampa, dada pela inclinação da pista, não dependendo da velocidade.

Gráfico 5 - Forças resistivas



Fonte: Slides de aula de Transmissão II, 2018, p. 16

Além das forças resistivas que são presentes de forma significativa na eficiência energética de um veículo, existem componentes mecânicos, como o motor e a transmissão, que são responsáveis pela força trativa. Sendo a eficiência mecânica da transmissão e do diferencial em média de 80% de acordo com Marco Antônio Zanussi Barreto nas aulas de Transmissão II, 2022.

Para um motor a combustão interna sua eficiência é mais complexa, pois em uma situação de regime transiente diversas variáveis devem ser consideradas, como: eficiência térmica, atrito dos componentes internos, taxa de compressão, admissão de ar, admissão de combustível etc.

Conforme demonstrado no gráfico 5 abaixo, percebe-se que para cada rotação e torque do motor a combustão interna existe um ponto de trabalho. Além desses dados deve-se observar que existem ilhas de eficiência, dadas pela taxa de consumo de combustível do motor dividida pela potência produzida, como descrita na equação abaixo:

$$BSFC = \frac{r \cdot 10^3}{T \cdot \omega} \quad (5)$$

Onde:

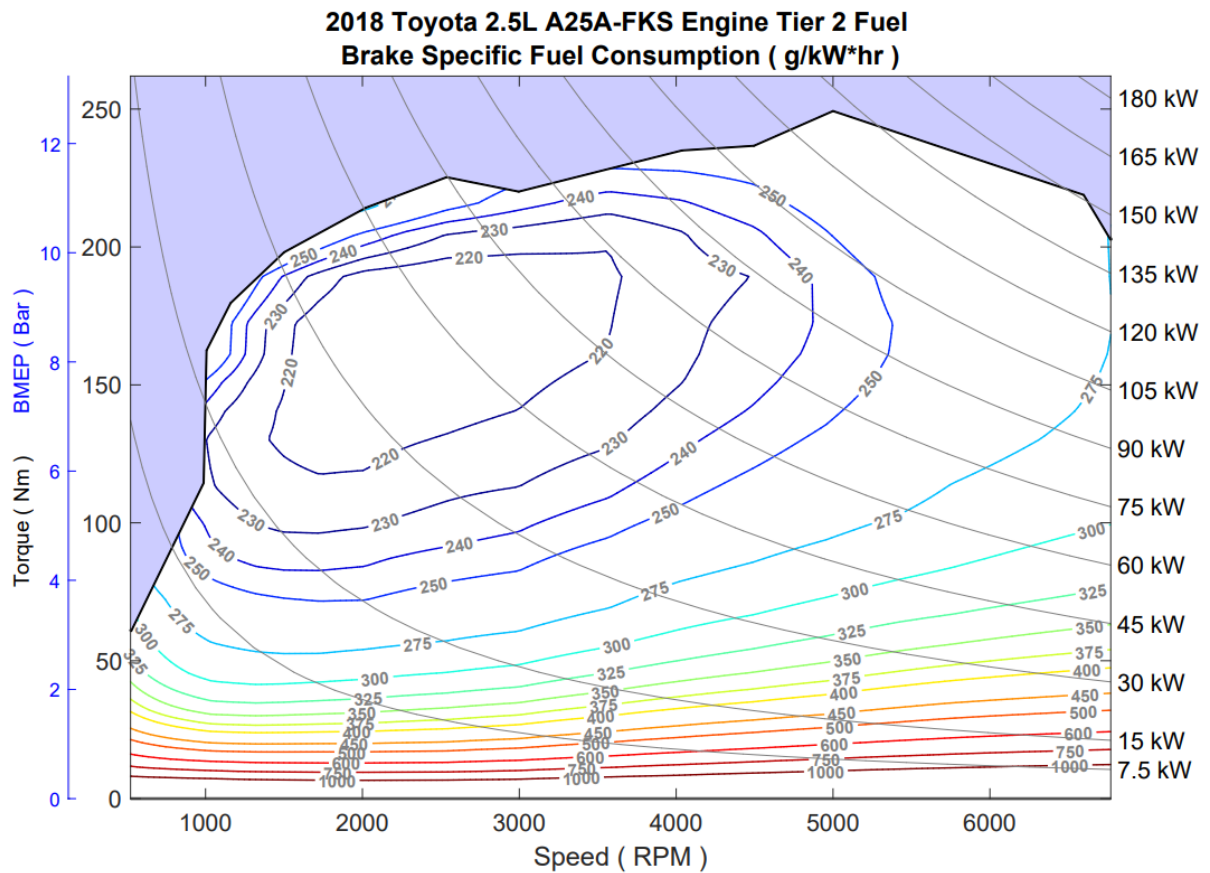
BSFC: Consumo específico de combustível [g/kW.h];

r: Taxa de consumo de combustível [g/h];

T: Torque [N.m];

ω : velocidade do motor [rad/s].

Gráfico 6 - Consumo específico motor Toyota 2.5L A25A-FKS 2018



Fonte: 2018 Toyota 2.5L A25A-FKS Engine Tier 2 Fuel - ALPHA Map Package. Version 2020-07. Ann Arbor MI: US EPA National Vehicle and Fuel Emissions Laboratory, National Center for Advanced Technology, 2020

Conforme observado no gráfico acima, a região de menor consumo específico se encontra dentro da ilha de 220g/kWh, em uma condição de alto torque e baixa rotação.

Por fim, é obtida como equação de consumo de combustível para um veículo a seguinte equação:

$$bs = \frac{BSFC * F_r(v)}{\rho_{fuel} * \eta_{total}} \quad (6)$$

Onde:

$F_r(v)$: Forças resistivas para uma determinada velocidade [N];

ρ_{fuel} : Densidade do combustível [g/L];

η_{total} : Eficiência total do driveline;

bs : Consumo de combustível por unidade de distância [L/km].

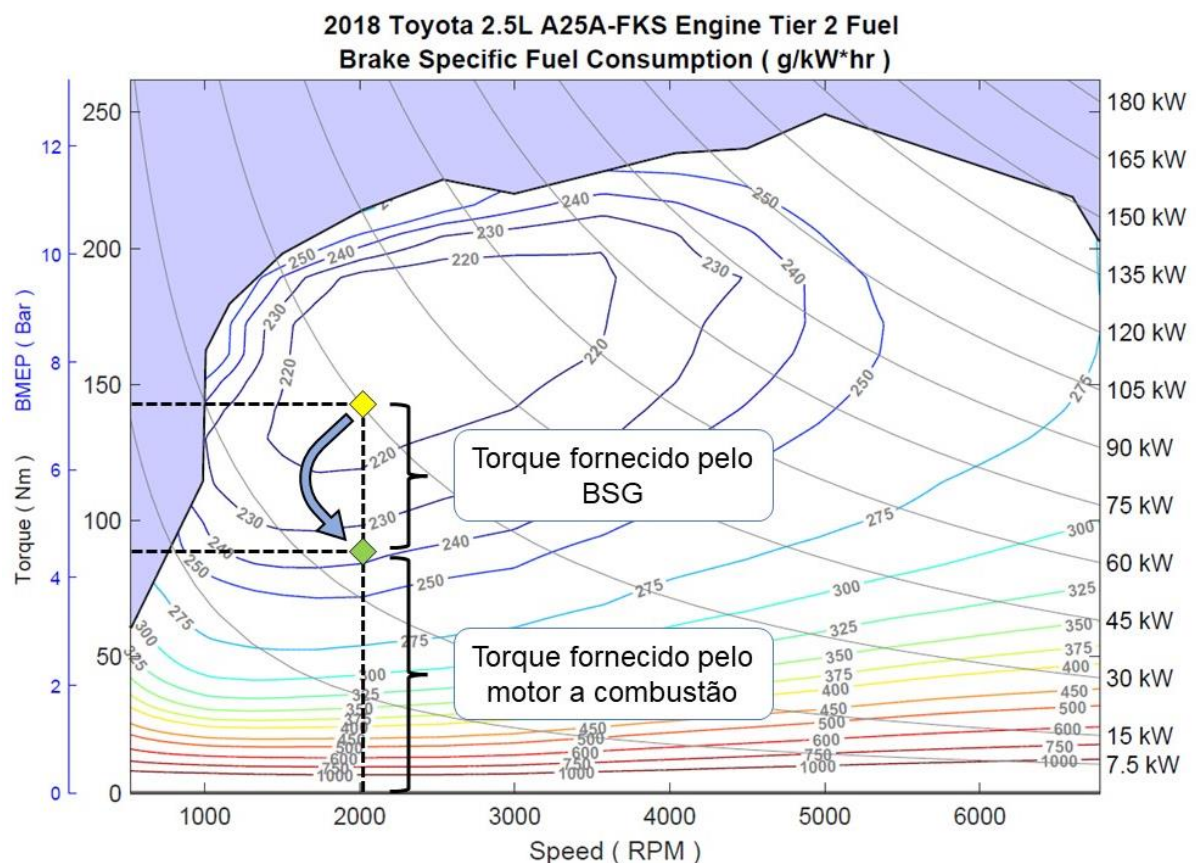
Comumente, ao final do cálculo do consumo de combustível, multiplica-se o resultado por 100 para chegar num valor de consumo em [L/100km]

Em situações de partida, o veículo opera majoritariamente em faixas de menor eficiência, devido as inércias rotativas da transmissão e do próprio veículo, ocasionando em um maior consumo de combustível do veículo para esta condição.

5.2.2 Análise do BSFC com a implementação híbrida

Com a implementação do BSG, há uma menor demanda de torque do motor a combustão interna, devido à assistência de torque da máquina elétrica, e por isso o motor passa a operar em uma faixa de menor eficiência, considerando uma rotação fixa. Como pode ser observado no gráfico 7 abaixo:

Gráfico 7 - Influência do BSG



Fonte: Autores “adaptado de” 2018 Toyota 2.5L A25A-FKS Engine Tier 2 Fuel - ALPHA Map Package. Version 2020-07. Ann Arbor MI: US EPA National Vehicle and Fuel Emissions Laboratory, National Center for Advanced Technology, 2020

Considerando uma potência de 30kW para manter a condição de movimentação do veículo, o motor a combustão interna é auxiliado pelo BSG, que fornece 10kW, reduzindo a potência demandada do motor para 20kW. Essa alteração muda o ponto de operação do motor a combustão, do ponto amarelo para o ponto verde no gráfico 7.

Para o exemplo acima, o motor a combustão deixa de operar na ilha de consumo específico de 220g/kWh e passa a operar na ilha de 240g/kWh, aumentando em cerca de 10%. Em contrapartida, a potência demandada do motor é 33,33% menor, se comparado ao cenário inicial.

Sendo:

r : taxa de consumo de combustível no ponto amarelo;

r' : taxa de consumo de combustível no ponto verde.

Temos:

$$r = BSFC * P \quad (7)$$

$$r' = BSFC * 1,1 * P * 0,67 \quad (8)$$

$$r' = BSFC * 1,1 * P * 0,67 \quad (9)$$

$$r' = r * 0,75 \quad (10)$$

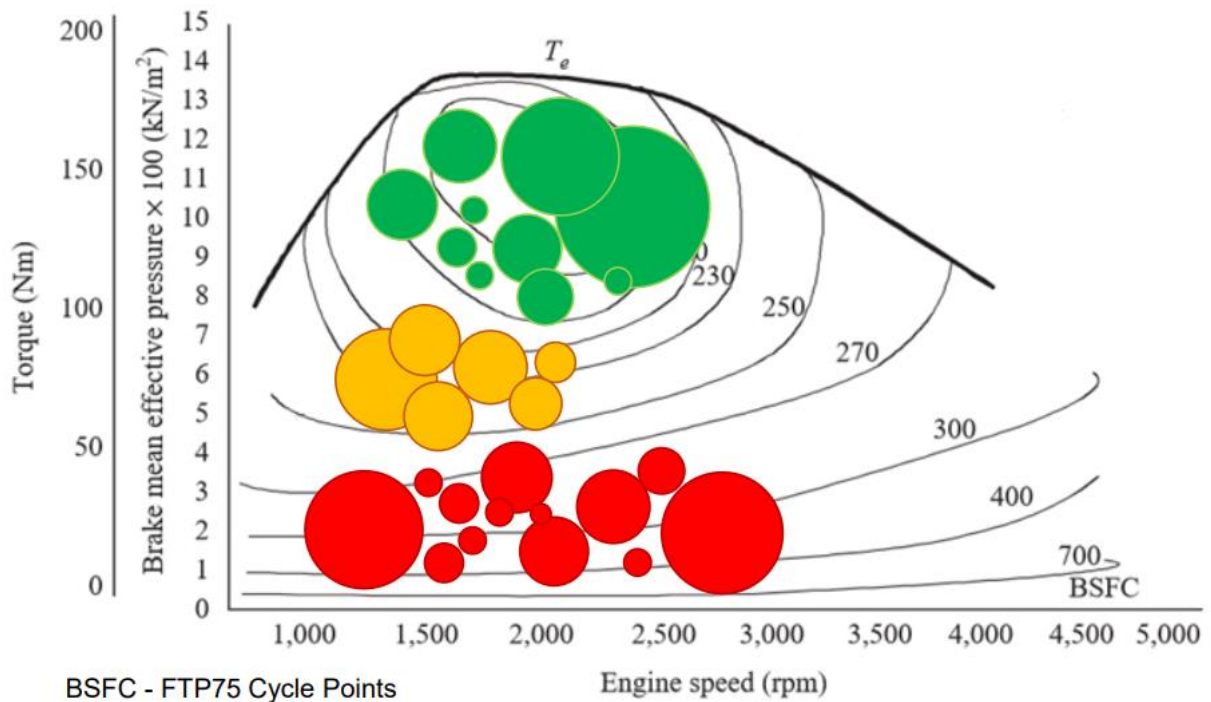
Logo, pode-se concluir que apesar do motor operar em uma faixa de maior consumo específico (menos eficiente), a redução na demanda de potência faz com que o consumo de combustível seja reduzido em cerca de 25%, como exemplificado nas equações 7 a 10 acima.

5.2.3 Modos de direção

A fim de caracterizar o consumo de combustível de um veículo, é necessário utilizar um ciclo padrão de homologação, como o ciclo FTP75 que representa o ciclo urbano. Ao utilizar ciclos padronizados é possível garantir que todos os veículos sejam testados sob mesma métrica.

O gráfico 8 ilustra a incidência dos pontos de operação do veículo no mapa de consumo específico de combustível no ciclo FTP75. O tamanho dos círculos representa a incidência em cada região e as cores representam a eficiência do motor, sendo verde a maior, amarela mediana e a vermelha a menor eficiência.

Gráfico 8 - Pontos de consumo específico no ciclo FTP75



Fonte: Slides de aula de Transmissão II, 2018, p. 20

Após analisar a complexidade para se calcular o consumo de combustível do veículo no ciclo FTP75, percebe-se a importância da utilização de softwares para simular ciclos e extrair os rendimentos energéticos do veículo.

5.3 SIMULAÇÃO COM AVL CRUISE®

O software AVL Cruise® foi utilizado para realização das simulações voltadas a comparação entre as arquiteturas veiculares em uma mesma aplicação, no caso o ciclo FTP75. Através deste software foi possível parametrizar o modelo de acordo com as características do veículo, utilizando os dados: mapa de torque e rotação, relações de transmissão, peso e etc. Além de gerar os dados referentes ao comportamento e eficiência para o ciclo escolhido.

5.3.1 Estratégia de simulação

Para analisar a eficiência da implementação, os resultados das simulações devem ser comparados, em que a única mudança entre elas é o tipo de arquitetura veicular. A estratégia se dá com a simulação de um veículo base com características similares aos veículos da frota circulante nacional e em seguida simulando o mesmo veículo base com a implementação do kit Tupã.

5.3.2 Veículo base

O veículo base escolhido é um modelo popular do ano de 2004, no qual foram utilizadas as seguintes características:

- a) Mapa de torque e rotação do motor;
- b) Volume deslocado do motor;
- c) Número de cilindros;
- d) Relações de transmissão;
- e) Relação do diferencial;
- f) Rotações mínima e máxima do motor;
- g) Rotação em marcha lenta;
- h) Temperatura de trabalho do motor;
- i) Peso;
- j) Bitola;
- k) Entre eixos;
- l) Raio do pneu;
- m) Área frontal;
- n) Coeficiente aerodinâmico.

Considerações adotadas durante a simulação: modelo equipado com câmbio AMT e mapa de consumo específico do motor ciclo Otto disponível na biblioteca do software.

5.3.3 Veículo com implementação

A partir do mesmo veículo base, foi implementado o sistema BSG, com as seguintes características:

- a) Máquina elétrica de 10kW e 48V;
- b) Transmissão por correia;
- c) Bateria Li-Po 48V;
- d) Estado de carga inicial da bateria.

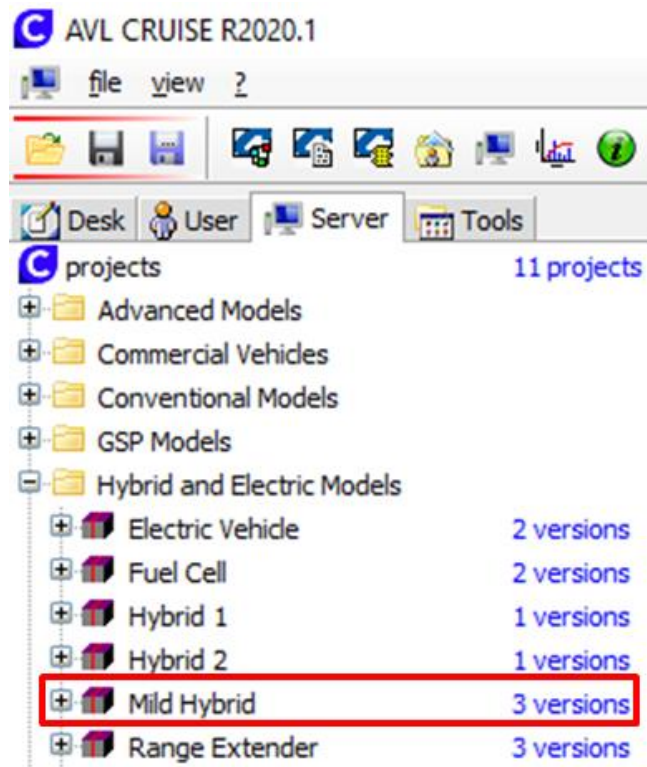
Parâmetros base predeterminados pelo software: estratégia de controle padrão do software, mapas de torque por rotação e eficiência da máquina elétrica disponível na biblioteca do software, bateria única de 48V, eficiência do freio regenerativo, potência de recarga no modo gerador.

5.3.4 Metodologia de simulação

A partir dos dois modelos descritos anteriormente, foi feita a simulação do ciclo FTP75 para cada um deles, tais simulações foram parametrizadas conforme descrito abaixo.

Para abrir o modelo foi selecionada a opção de “*Mild Hybrid*” dentro da pasta “*Hybrid and Electric Models*”, conforme figura 15.

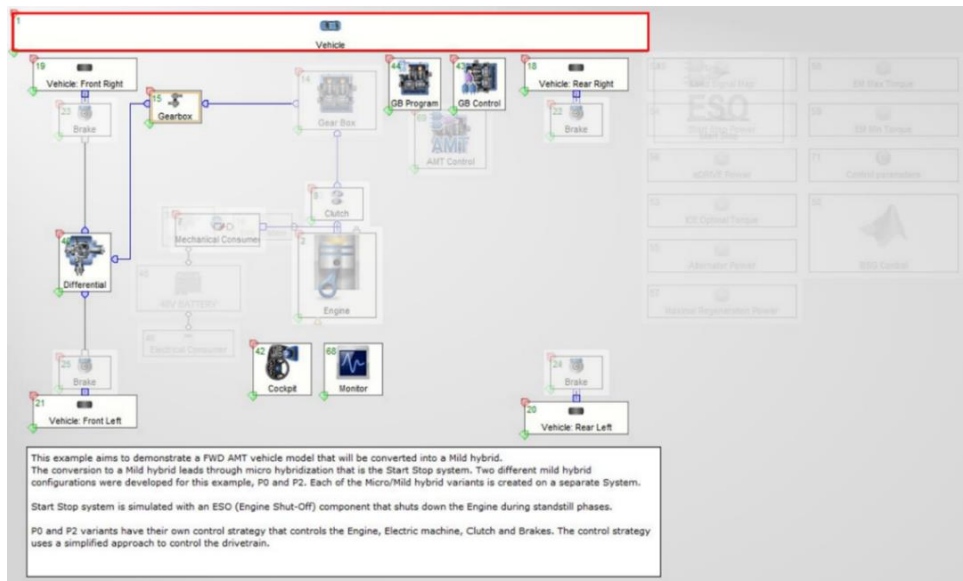
Figura 15 - Lista de projetos AVL Cruise



Fonte: Autores “adaptado de” AVL Cruise, 2022

Foram colocadas as informações do veículo escolhido no modelo base do AVL, alterando as informações referentes às dimensões veículo, na aba “*Vehicle*”.

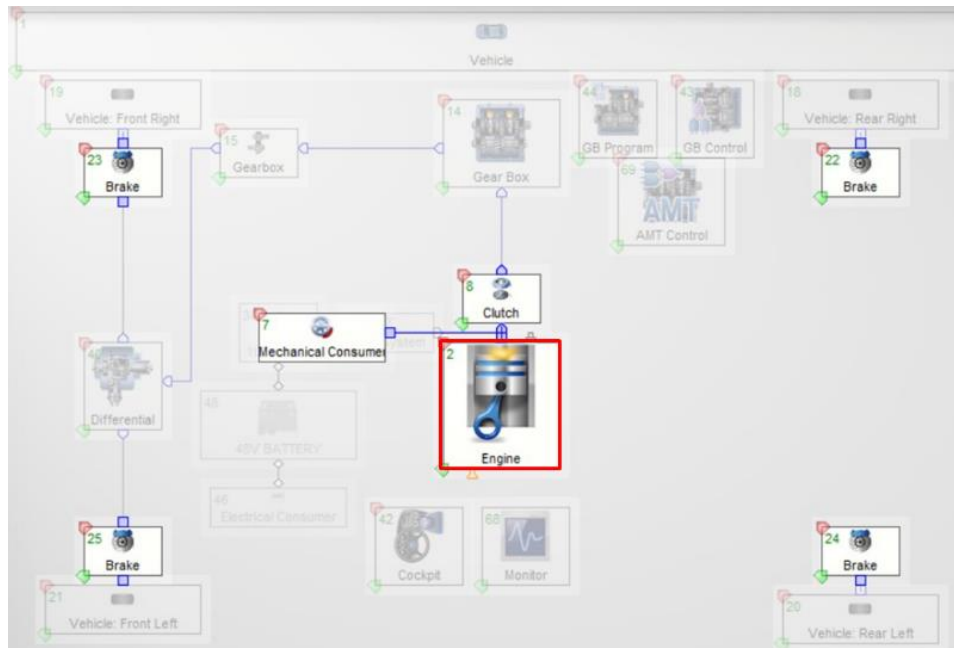
Figura 16 - Modelo base AVL Cruise



Fonte: Autores “adaptado de” AVL Cruise, 2022

Também foram alteradas as informações na aba “*Engine*”, como curva de torque e rotação, volume do motor, número de cilindros, temperatura de trabalho, dentre outras citadas anteriormente.

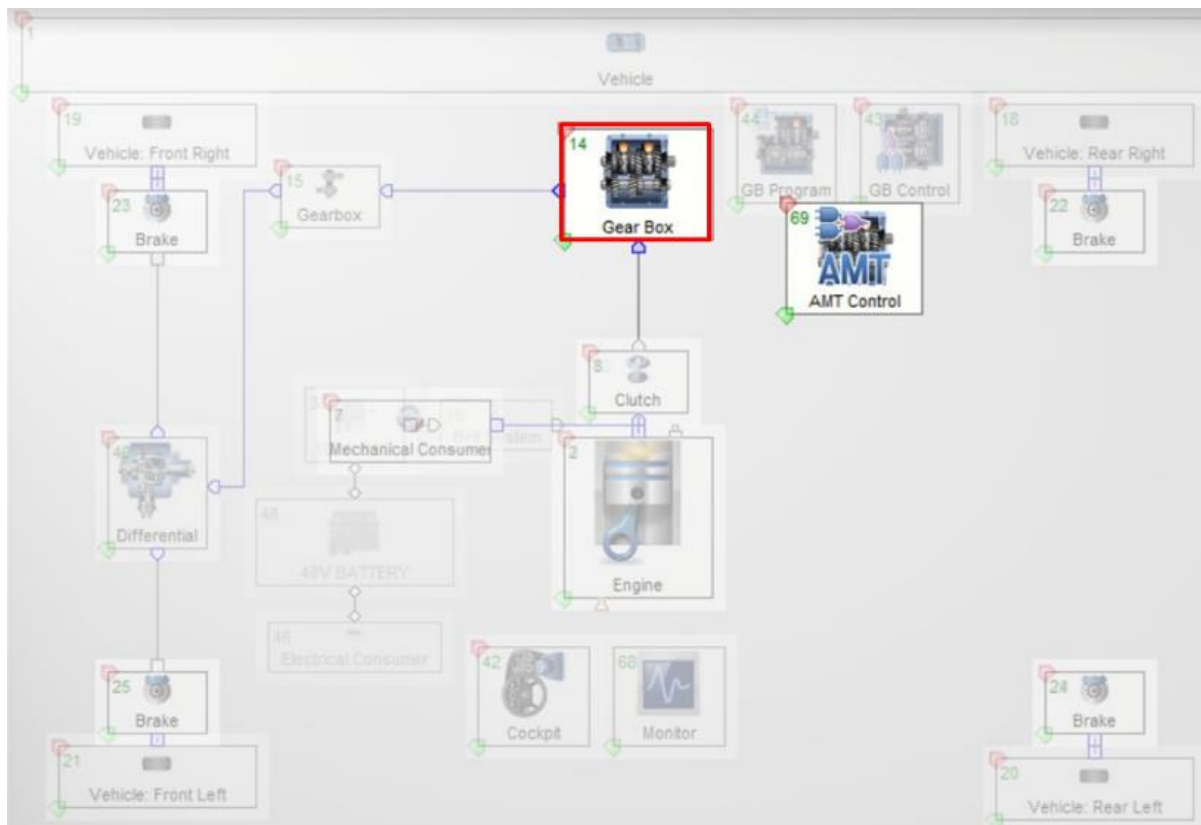
Figura 17 - Motor modelo AVL



Fonte: Autores “adaptado de” AVL Cruise, 2022

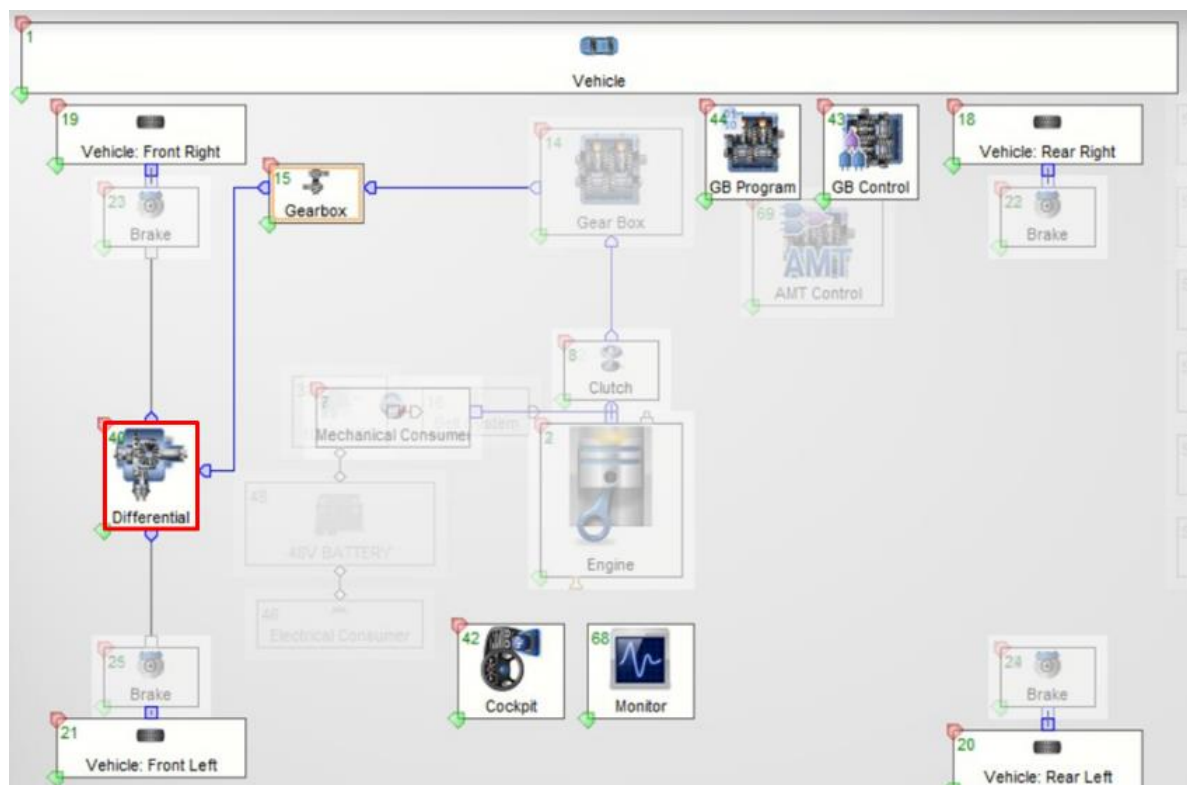
Foram alteradas também as informações de relação de transmissão e diferencial, nas abas “*Gear box*” e “*Differential*”:

Figura 18 - Caixa de transmissão modelo AVL



Fonte: Autores “adaptado de” AVL Cruise, 2022

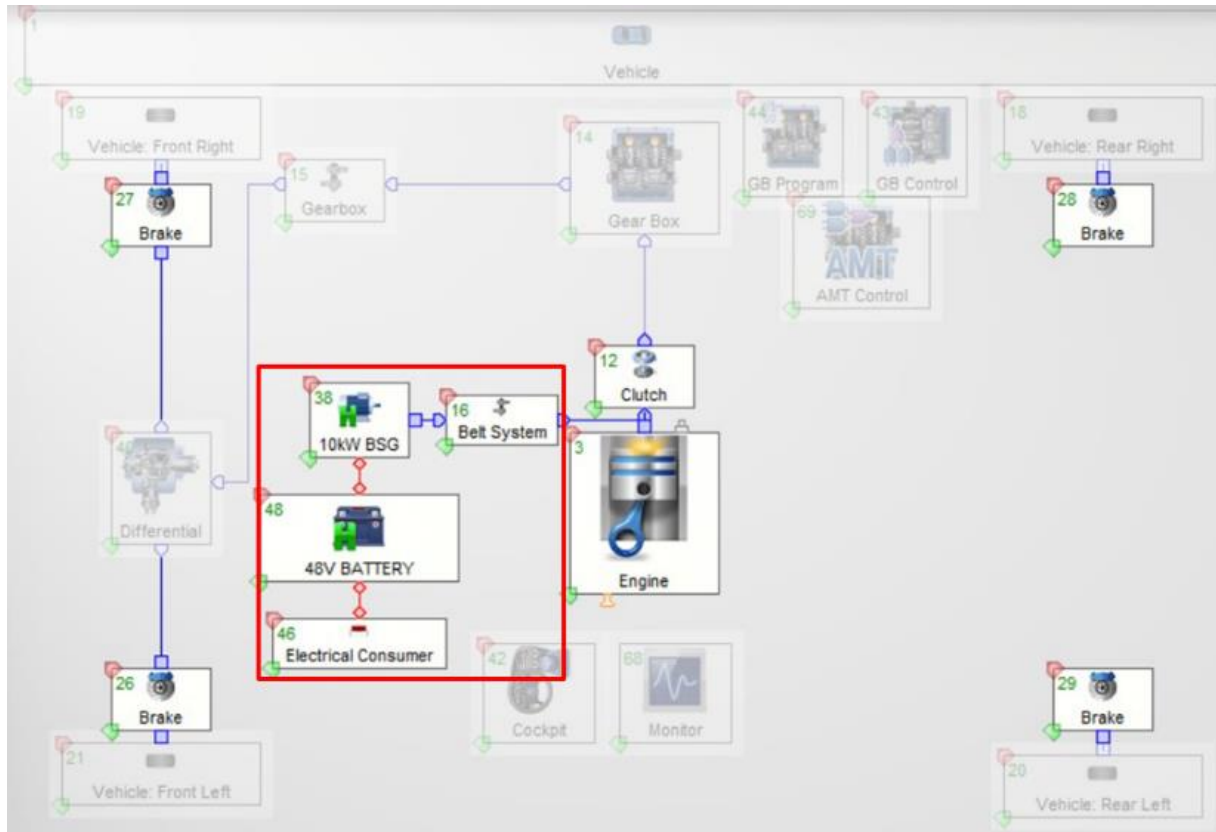
Figura 19 - Diferencia modelo AVL



Fonte: Autores “adaptado de” AVL Cruise, 2022

Para veículo híbrido foi considerada uma arquitetura com BSG 10kW, conforme a figura 20.

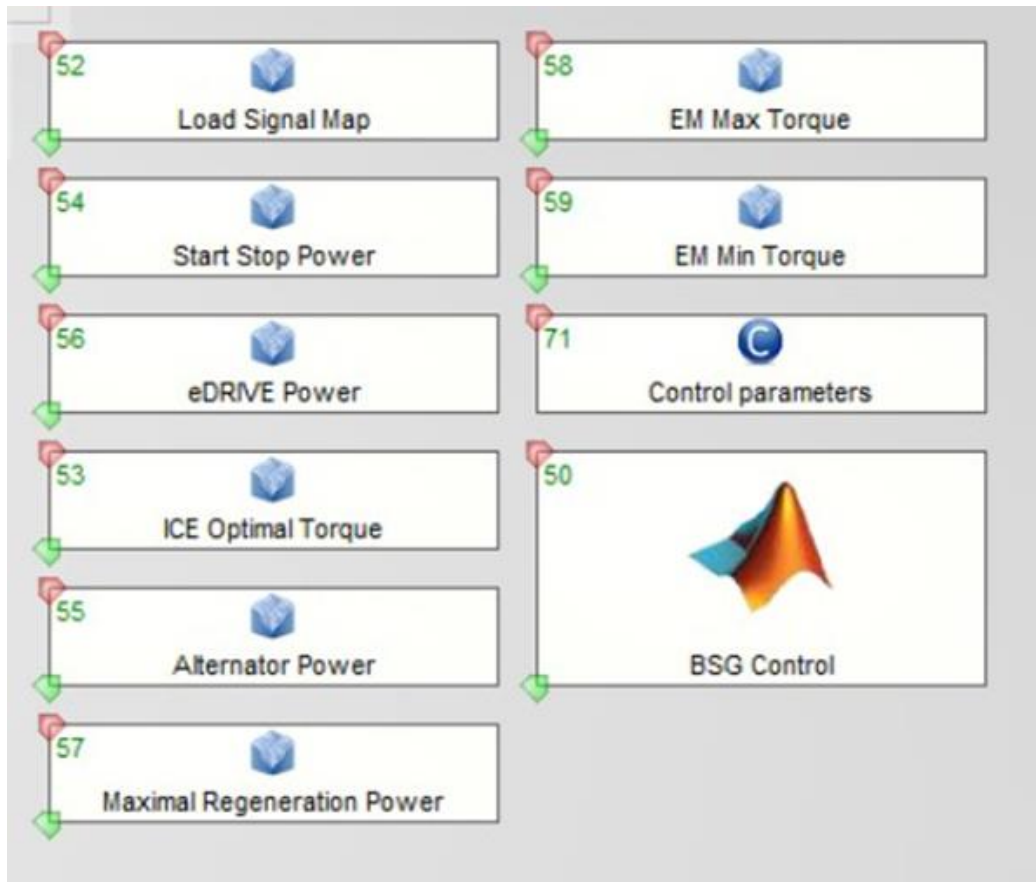
Figura 20 - Arquitetura com BSG 10kW



Fonte: Autores “adaptado de” AVL Cruise, 2022

Os parâmetros de controle e estratégia do sistema BSG são criptografados pelo software não sendo possível realizar alterações ou leitura dos mesmos.

Figura 21 - Parâmetros do sistema BSG



Fonte: AVL Cruise, 2022

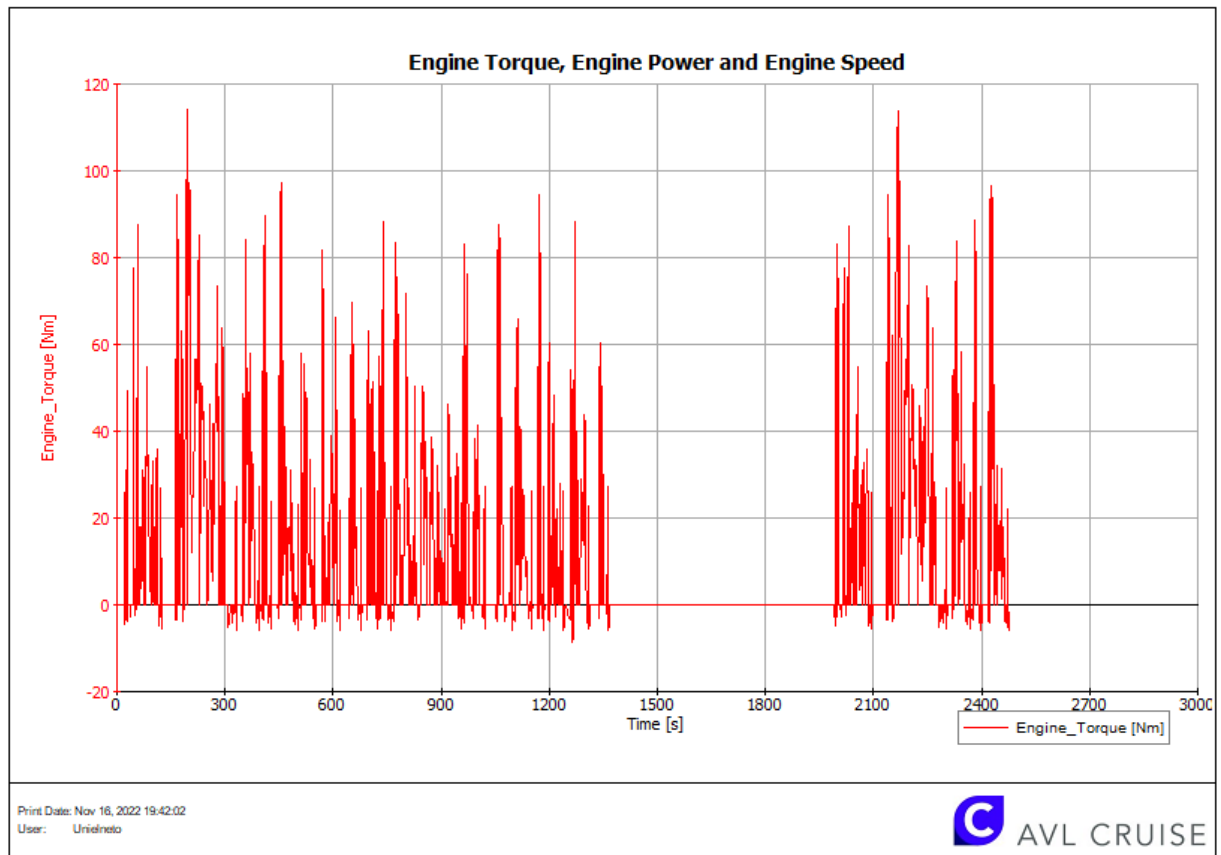
5.3.5 Análise de resultados

No projeto foi caracterizada como condição de partida o veículo saindo do repouso e entrando em movimento, considerando uma velocidade de atuação de até 20km/h ou tempo de 10s. A partir dos gráficos gerados das simulações explicadas acima foi realizada a análise dos resultados mais relevantes, sendo eles:

- Torque do motor [Nm] x Tempo do ciclo [s];
- Torque da máquina elétrica [Nm] x Tempo do ciclo [s];
- Estado da carga da bateria (SOC) [%] x Tempo do ciclo [s];
- Consumo de combustível acumulado [g/km] x Tempo do ciclo [s].

Através da análise dos gráficos de Torque do Motor [Nm] x Tempo do ciclo [s] e do gráfico de Velocidade do veículo [km/h] x Tempo de ciclo [s] do modelo híbrido, percebe-se que até a velocidade de 12km/h o torque do motor se mantém próximo de 0Nm, portanto, o gráfico de Torque da máquina elétrica [Nm] x Tempo do ciclo [s] também foi analisado, no qual notou-se que até a velocidade descrita acima o veículo é tracionado somente pelo BSG.

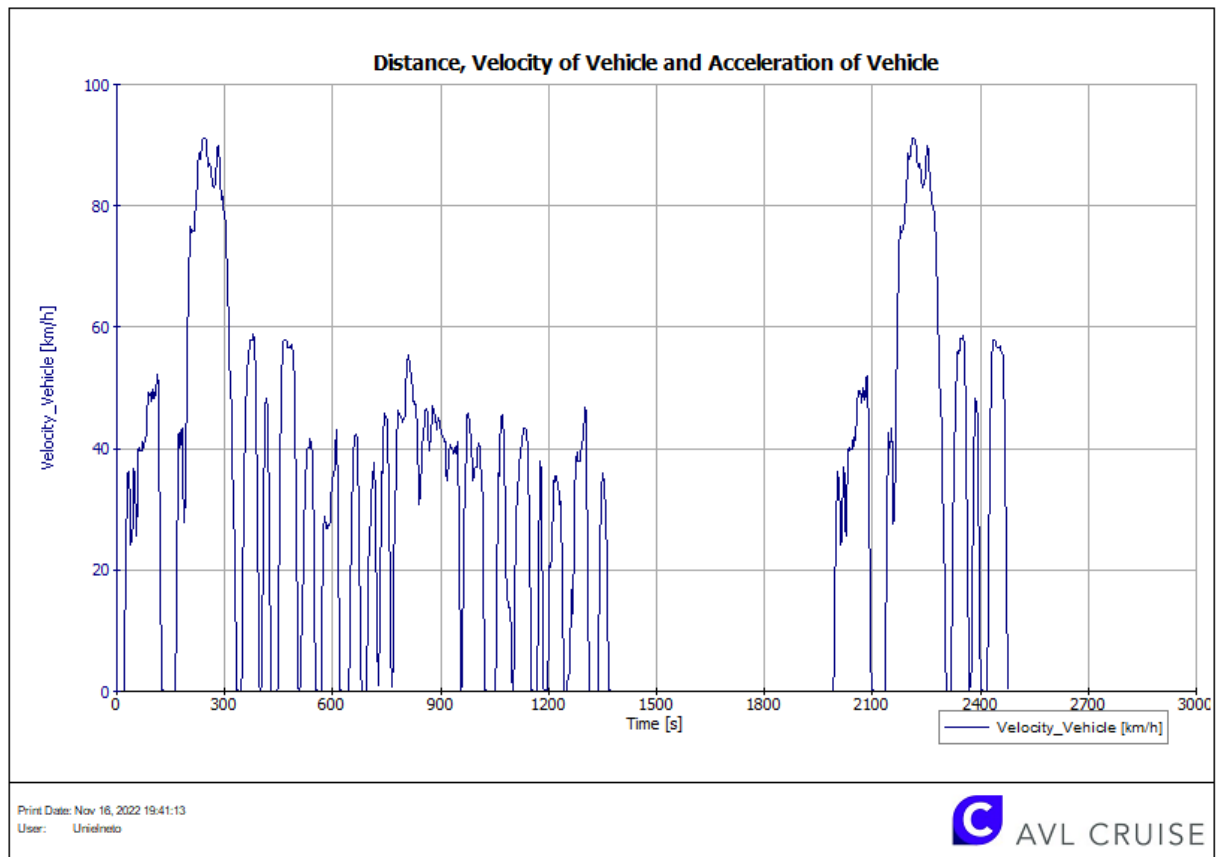
Gráfico 9 - Torque do motor x Tempo de ciclo do modelo com implementação



Fonte: Autores

Legenda: Torque do motor [Nm] x Tempo de ciclo [s] do modelo com implementação

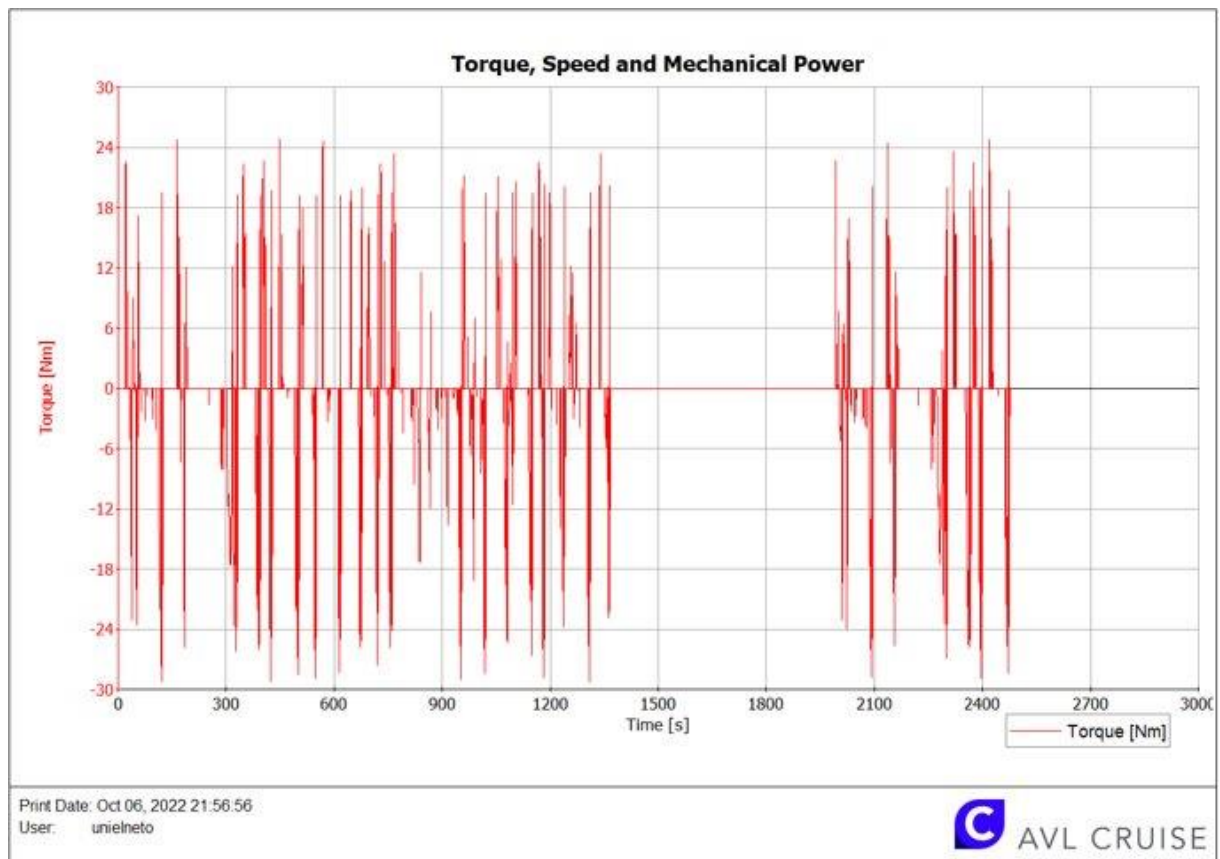
Gráfico 10 - Velocidade x Tempo de ciclo do modelo com implementação



Fonte: Autores

Legenda: Velocidade do veículo [km/h] x Tempo de ciclo [s] do modelo com implementação

Gráfico 11 - Torque da máquina elétrica x Tempo de ciclo



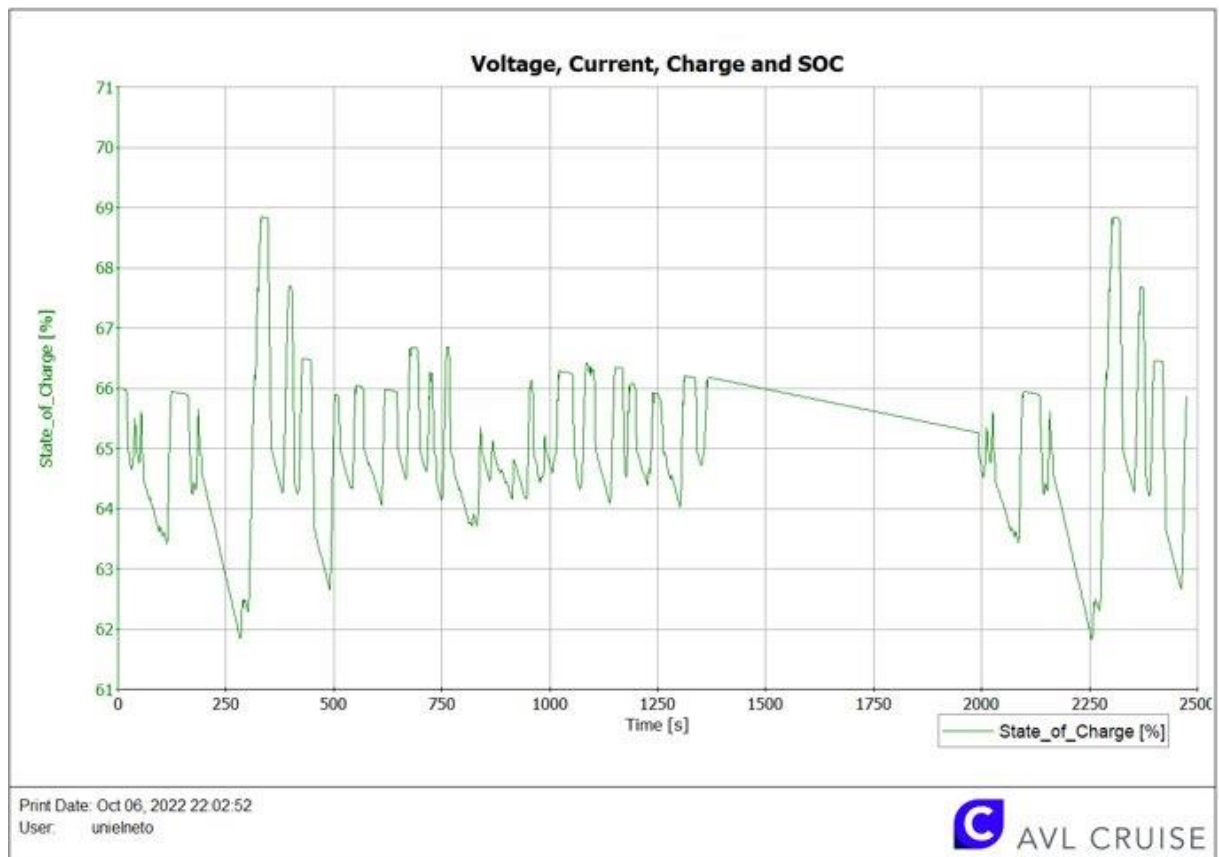
Fonte: Autores

Legenda: Torque da máquina elétrica [Nm] x Tempo de ciclo [s]

Utilizando-se dos mesmos gráficos analisados anteriormente é possível chegar à conclusão de que após a velocidade de 12km/h o motor a combustão gera potência e juntamente com um torque adicional do BSG traciona o veículo. Dentro do ciclo urbano não houve a necessidade do desligamento do BSG para efetuar a recarga da bateria, essa recarga é feita apenas pela frenagem regenerativa.

Portanto, foi necessário realizar a avaliação de onde ocorre a frenagem regenerativa no ciclo, e para isso foram utilizados os gráficos de Estado de Carga da Bateria (SOC) [%] x Tempo de Ciclo [s] e o gráfico 10. A partir desta análise foi identificado que quando o torque do BSG se torna negativo há um aumento na porcentagem de carga da bateria e analisando esses instantes no gráfico 9, nota-se que são coincidentes com os momentos de desaceleração no ciclo.

Gráfico 12 - Estado de carga da bateria x Tempo de ciclo



Fonte: Autores

Legenda: Estado de carga da bateria [%] x Tempo de ciclo [s]

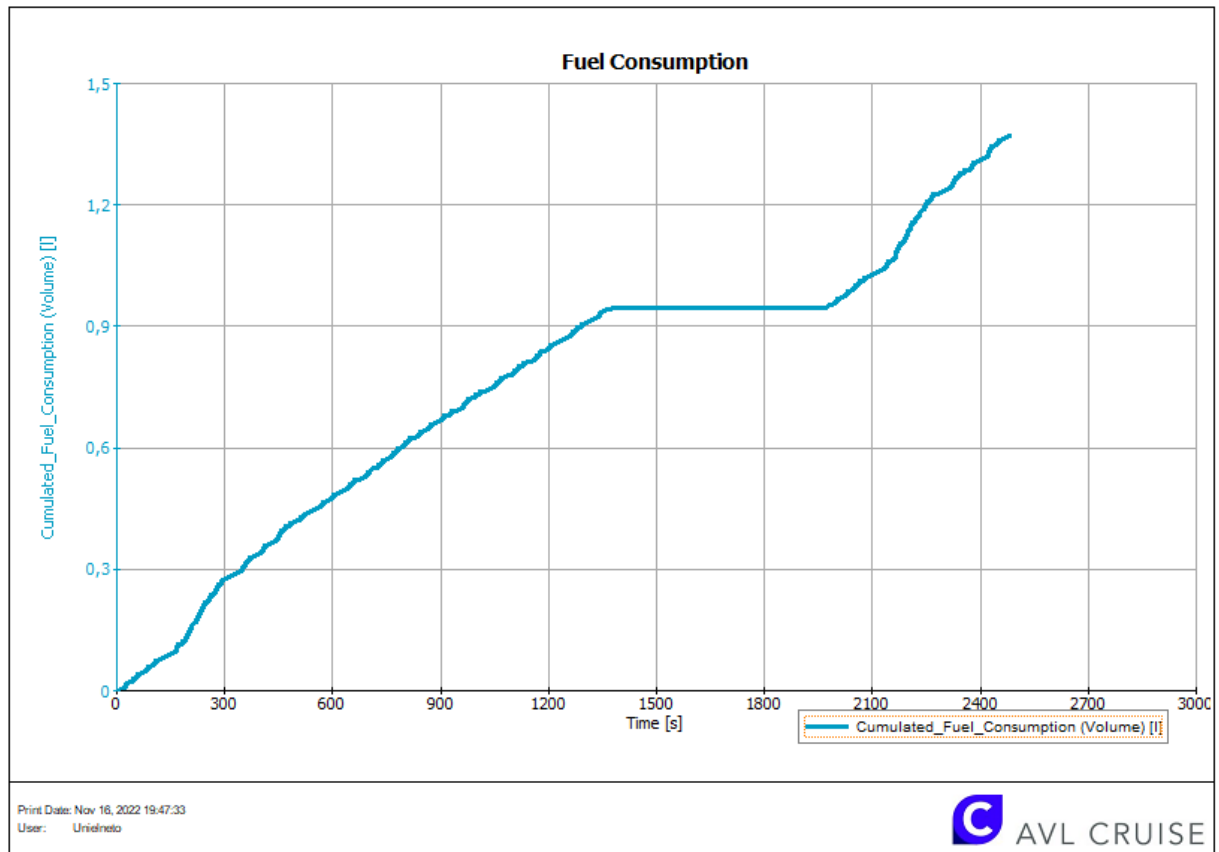
Como previsto em norma (NBR 16567), a variação do SOC não pode ultrapassar 1% entre o início e final do ciclo. Para que fosse possível chegar a essa especificação, um processo iterativo foi aplicado, no qual o valor final de SOC foi realimentado como valor inicial até que a meta fosse atingida. Tal resultado foi obtido com um valor inicial para o SOC de 66%.

Ao comparar os gráficos de Consumo de Combustível Acumulado [L] x Tempo do Ciclo [s] do modelo base e do modelo híbrido, nota-se que há uma redução de 23% do consumo acumulado de combustível, saindo de 1,37008L do modelo base para 1,06056L no modelo híbrido. Essa redução elevada se deve à alta eficiência do freio regenerativo, à função *Start-Stop* e à estratégia do BSG predeterminada pelo software, na qual a partida é feita assistida eletricamente.

Essa redução se deve também à redução de consumo nas situações de partida, podendo chegar a um valor máximo de 47% na primeira partida do ciclo. Esse valor é

reduzido à medida que o motor atinge sua temperatura ideal de trabalho e se torna mais eficiente.

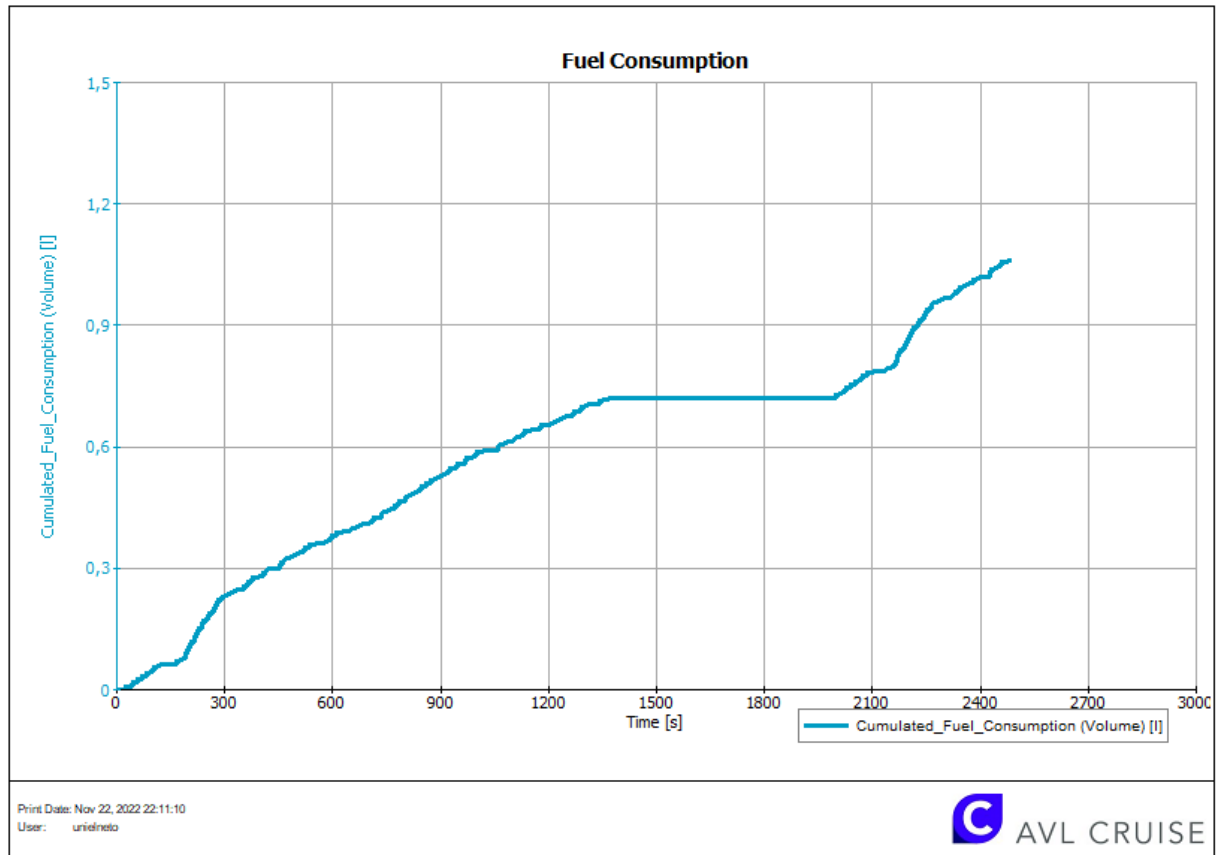
Gráfico 13 - Consumo x Tempo de ciclo do modelo base



Fonte: Autores

Legenda: Consumo de combustível acumulado [L] x Tempo de ciclo [s] do modelo base

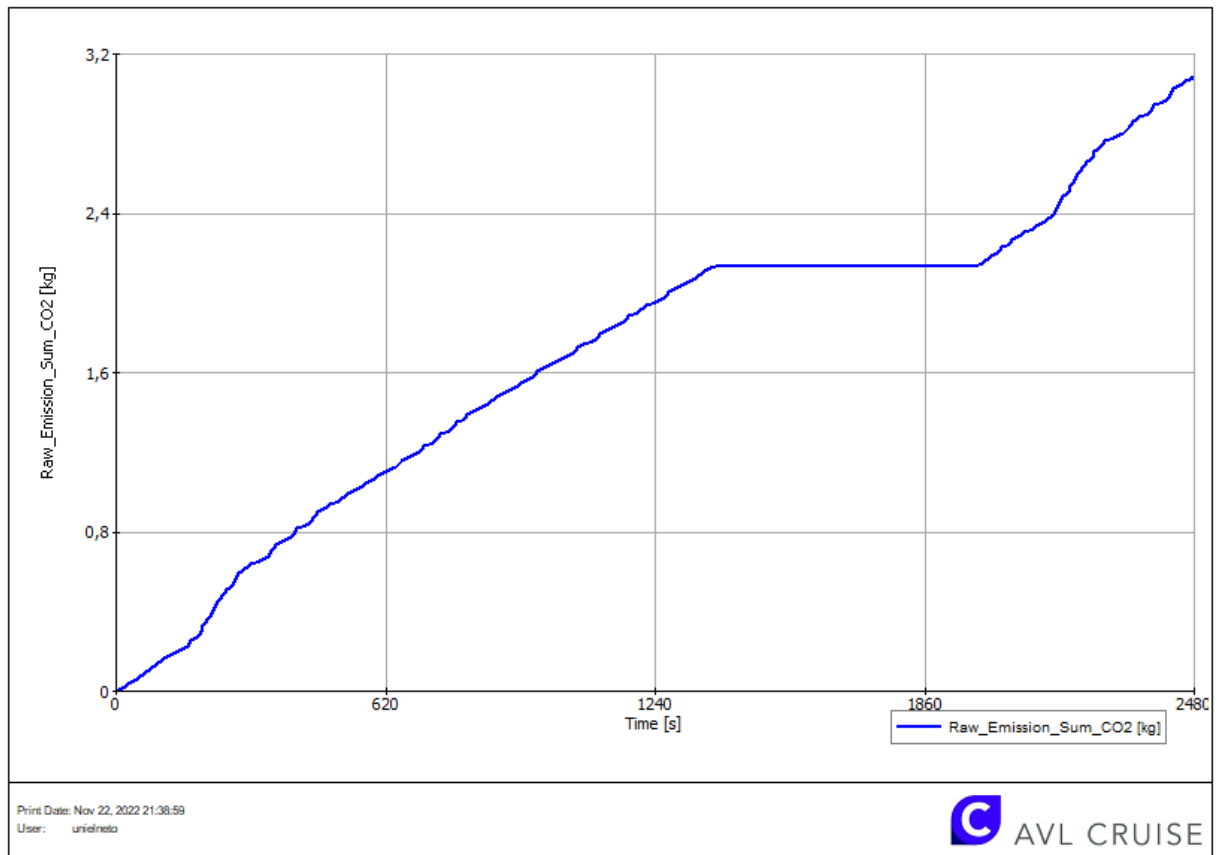
Gráfico 14 - Consumo x Tempo de ciclo do modelo com implementação



Fonte: Autores

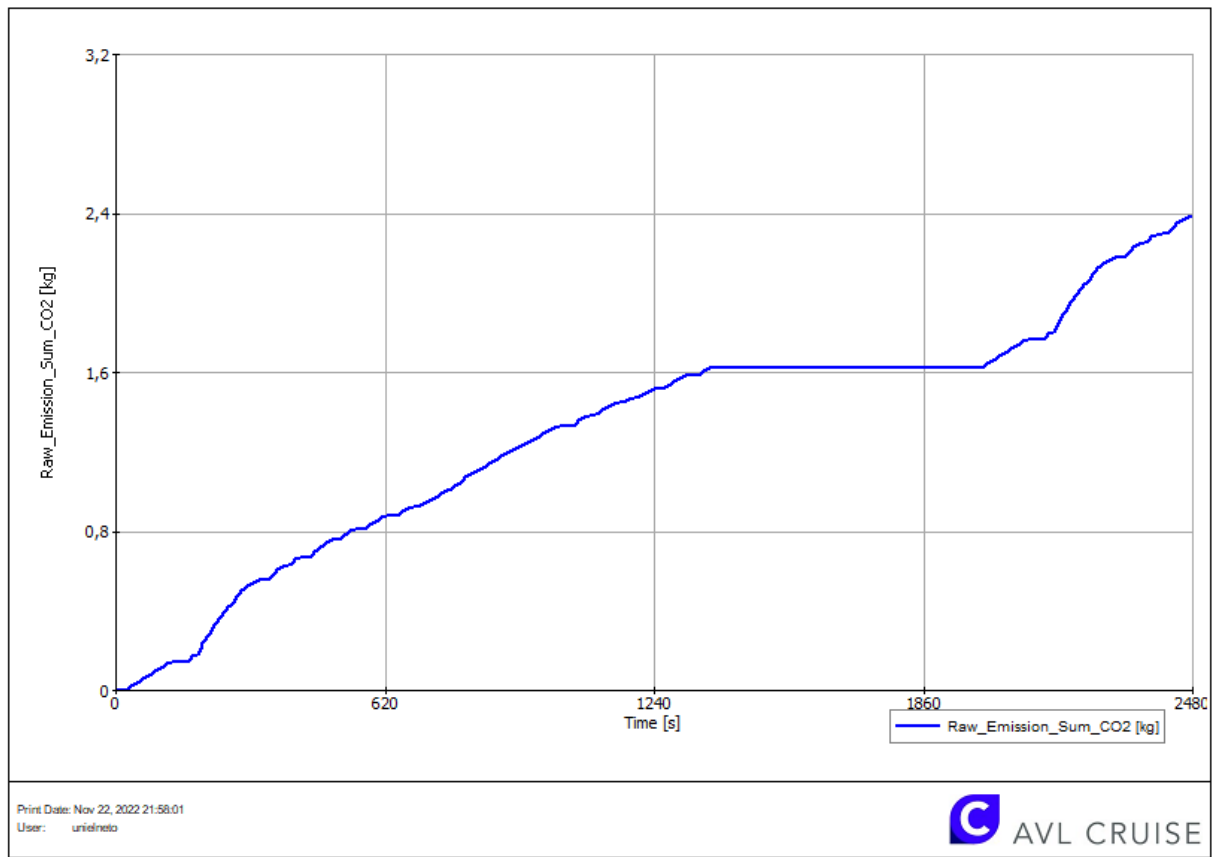
Legenda: Consumo de combustível acumulado [L] x Tempo de ciclo [s] para o modelo com implementação

Com a implementação de uma solução híbrida é importante analisar a emissão de poluentes com foco em CO₂, comparando os gráficos de Emissão de CO₂ acumulada [kg] x Tempo de Ciclo [s] do modelo base e do modelo híbrido, nota-se uma redução significativa de aproximadamente 695,92g (23%) no ciclo, comprovando que a emissão de CO₂ é diretamente proporcional ao consumo de combustível.

Gráfico 15 - Emissão de CO₂ x Tempo de ciclo do modelo base

Fonte: Autores

Legenda: Emissão de CO₂ acumulado [kg] x Tempo de ciclo [s] do modelo base

Gráfico 16 - Emissão de CO₂ x Tempo de ciclo do modelo com implementação

Fonte: Autores

Legenda: Emissão de CO₂ acumulado [kg] x Tempo de ciclo [s] para o modelo com implementação

6 ESTIMATIVA DE RETORNO DE INVESTIMENTO

Tendo como base o veículo utilizado na simulação e uma redução de 23% no consumo de combustível, proporcionada pela implementação do kit Tupã e assumindo o preço da gasolina a R\$5,80/L (valor do dia 10/11/2022), o retorno do investimento seria após 72.897km rodados.

Considerando que em média um motorista comum roda cerca de 13.000km por ano (MAIS CREDIT CONSULTORIA, acesso em 12.nov 2022), o retorno do investimento seria em pouco mais de 5 anos. O retorno seria a longo prazo, porém o kit é intercambiável, podendo ser utilizado em futuros veículos do proprietário.

Para um motorista de aplicativo ou taxista que roda cerca de 63.000km por ano (MOTORISTA ELITE, acesso em 12 nov. 2022), o retorno do investimento seria em pouco mais de um ano.

Considerando uma entrada de 30% e o parcelamento do valor restante em 12 prestações, a economia ocorre a partir do primeiro mês de utilização. Possibilitando um investimento inicial baixo, e um retorno imediato.

Para empresas com frota própria, que utilizam os carros para fazer entregas e que cada veículo roda em média 37.800km por ano (JOSÉ NETO, acesso em 13 nov. 2022), o retorno do investimento seria em aproximadamente 2 anos.

Normalmente tais empresas possuem um grande volume de carros, tornando a economia de combustível mais expressiva. Para estes clientes, seria possível um modelo de assinatura, em que o valor da assinatura mensal seria mais baixo que o valor economizado por mês, tornando uma alternativa atraente para as empresas terem uma economia imediata de combustível sem um investimento inicial alto, além de ter sua frota hibridizada e mais sustentável, melhorando a imagem da empresa.

7 CONCLUSÃO

A redução do consumo de combustível no ciclo FTP75 com a implementação do sistema BSG é notável. Isso se dá devido a partida (tirar o veículo do repouso) ser realizada com a assistência da máquina elétrica, podendo chegar a uma redução de 47% no consumo com o motor na fase fria. Além disso, o consumo de combustível é eliminado enquanto a função *start-stop* permanece ativa, diminuindo ainda mais o consumo no cenário urbano.

Nas situações de partida, com a implementação da máquina elétrica, o MCI atua em sua faixa de consumo específico menos eficiente, porém é menos demandado nessa condição. Para a partida assistida eletricamente em motores menos eficientes, a aplicação do kit gera um impacto ainda maior.

Desse modo, atingiu-se o propósito do projeto em reduzir o consumo de combustível em veículos da frota circulante.

Considerando que as pessoas utilizam seus veículos de modos distintos, o retorno do investimento pode ocorrer entre um e cinco anos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Preço de combustíveis, derivados do petróleo e biodiesel**. [20--?]. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiMGM0NDhhMTUtMjQwZi00N2RILTk1M2UtYjYkxZTlkNzYzE5liwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTl0YTYtNGI0Mi1iN2VmLTEyNGFmY2FkYzIxMyJ9>. Acesso em: 15 abr. 2022.

ANUÁRIO DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA, 2022, São Paulo. **ANUÁRIO DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA**. São Paulo: Anfavea, 2022. 132 p. Disponível em: <https://anfavea.com.br/anuario2022/2022.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2022.

AUTOMOBILE CATALOG. **2004 Chevrolet Celta Energy 1.4 (man. 5) (model up to August 2004 for South America) car specifications & performance data review**. [20--?]. Disponível em: https://www.automobile-catalog.com/car/2004/492455/chevrolet_celta_energy_1_4.html#gsc.tab=0. Acesso em: 04 abr. 2022.

BARRETO, Marco A. Z.. **Híbridos**. São Bernardo do Campo: Centro Universitário Fei, [201-]. 33 slides, color.

BARRETO, Marco A. Z.. **Influence of Driveline Dynamics on Vehicle Characteristics**. [S.l.]: Centro Universitário Fei, [201-]. 45 slides, color.

BRASIL. Congresso. Senado. Constituição (2018). **Resolução nº 492, de 20 de dezembro de 2018**. Resolução Nº 492, de 20 de Dezembro de 2018. 246. ed. Brasil: Diário Oficial da União, 24 dez. 2018. Seção 1, p. 141.

BOSCH MOBILITY SOLUTIONS (Alemanha). **48V battery**: compact energy storage for low-voltage hybrid systems. Compact energy storage for low-voltage hybrid systems. 2022. Disponível em: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/batteries/48v-battery/>. Acesso em: 05 maio 2022.

CAMPOS, Arthur Barbosa de Almeida et al. Fuel Consumption Analysis Regarding Different 48V Topologies Application in a Flex Fuel Vehicle on Brazilian Emission Homologation Drive Cycles. In: SIMEA 2022, 29., 2022, São Paulo. **Anais [...]**. [S. L.]: XXIX Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva – Simea, 2022. p. 1-17.

CRUZ, Hugo. **Uber surpreende ao mudar discurso sobre futuro dos táxis; entenda**. 2022. Disponível em: <https://www.bitmag.com.br/uber-surpreende-ao-mudar-discurso-sobre-futuro-dos-taxis-entenda/>. Acesso em: 22 mar. 2022.

DAYCO (Estados Unidos). **CATÁLOGO WEB**. 2022. Disponível em: <https://www.daycoaftermarket.com/pt/catalog/?a=2&type=1&code=6PK1070>. Acesso em: 18 nov. 2022.

DOROFTE, Adrian. **BMW expands 48V mild hybrid technology to 51 models**. 2020. Disponível em: <https://www.bmwblog.com/2020/05/27/48v-bmw-51-models/>. Acesso em: 25 abr. 2022.

ELITE, Motorista. **Você sabe quantos quilômetros um Uber roda por dia?** [20--]. Disponível em: <https://motoristaelite.com/quantos-quilometros-um-uber-roda-por-dia/>. Acesso em: 12 nov. 2022.

ESTADOS UNIDOS. EPA. **Combining Data into Complete Engine ALPHA Maps.** 2022. Disponível em: <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/combining-data-complete-engine-alpha-maps>. Acesso em: 18 nov. 2022.

GUIMARÃES, Elain. **Combustível consome até 50% da renda nos motoristas de aplicativos:** os motoristas do sistema de transporte de passageiros e seus clientes sentem no bolso os aumentos recorrentes do preço dos combustíveis. Os motoristas do sistema de transporte de passageiros e seus clientes sentem no bolso os aumentos recorrentes do preço dos combustíveis. 2022. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2022/03/11/internas_economia,1351934/combustivel-consome-ate-50-da-renda-nos-motoristas-de-aplicativos.shtml. Acesso em: 12 abr. 2022.

JOSÉ NETO,. **Como ser entregador do Mercado Livre?** 2020. Disponível em: <https://www.montarumnegocio.com/como-trabalhar-fazendo-entregas-para-o-mercado-livre/>. Acesso em: 13 nov. 2022.

KIA (Brasil). **Etiquetagem Veicular.** 2022. Disponível em: <https://www.kia.com.br/etiquetagemveicular>. Acesso em: 13 maio 2022.

KLEISER, Jairo. **BMW i4 M50, o esportivo elétrico com de autonomia de até 510 km e aceleração de 0 a 100 em 3.9S.** 2021. Disponível em: <https://motortudo.com/bmw-i4-m50-o-esportivo-eletrico-com-de-autonomia-de-ate-510-km-e-aceleracao-de-0-a-100-em-3-9s/>. Acesso em: 26 abr. 2022.

KUTNEY, Pedro. **Preços dos carros seguem altos, estratégia é vender menos e lucrar mais.** 2022. Disponível em: <https://motor1.uol.com.br/features/574916/industria-precos-altos-lucro-maior/>. Acesso em: 04 abr. 2022.

MAIS CREDIT CONSULTORIA (Brasil). **Qual a Média de Rodagem de Um Veículo Por Ano?** [20--?]. Disponível em: <https://www.maiscredit.com.br/qual-a-media-de-rodagem-de-um-veiculo-por-ano/>. Acesso em: 07 nov. 2022.

MALUF, William. **Eixos de transmissão de potência.** São Bernardo do Campo: Centro Universitário Fei, [201-]. 97 slides, color.

MANFRINATO, Warwick; VIDAL, Edson; BRANCALION, Pedro. **Como Compensar Suas Emissões no Transporte do Dia a Dia.** 2016. Disponível em: https://esalqlastrop.com.br/capa.asp?pi=calculadora_emissoes. Acesso em: 22 nov. 2022.

MCGEHEE, Jeffery; YOON, Hwan-Sik. An Optimal Powertrain Control Strategy for a Mild Hybrid Electric Vehicle. In: SAE 2013 WORLD CONGRESS & EXHIBITION, 2013, Cookeville. **Anais [...]**. [S.L.]: Sae International, 2013. p. 1-11.

MEADOWS, Diego. **Suzuki Full Hybrid debuts in Vitara**. 2021. Disponível em: <http://techzle.com/suzuki-full-hybrid-debuts-in-vitara>. Acesso em: 25 abr. 2022.

SEG AUTOMOTIVE (Alemanha). **What is 48V/Mild Hybrid drive technology?** [20--?]. Disponível em: <https://www.seg-automotive.com/48v/mild-hybrid-technology/>. Acesso em: 8 ago. 2022.

SIMPÓSIO SAE BRASIL DE POWERTRAIN, 16., 2018, Campinas. **New Transmissions Concepts**. Campinas: Sae Brasil, 2018. 73 p.

SINEK, Simon. **Start with Why**: how great leaders inspire everyone to take action. 2. ed. New York: Penguin Group, 2011. 246 p.

Summit Mobilidade 2022. **Automóveis são principais emissores de gases poluentes**: pesquisas recentes indicam que automóveis são os principais emissores de gases poluentes, extremamente nocivos ao meio ambiente e à saúde, 2020. Disponível em: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/ir-e-vir-no-mundo/automoveis-sao-a-principal-fonte-de-emissao-de-gases-poluentes>. Acesso em: 20 abr. 2022.

Summit Mobilidade 2022. **Número de motoristas por aplicativo cresce 137% em 8 anos**: aumento está relacionado ao crescimento das taxas de desemprego e trabalho informal. 2020. Disponível em: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/compartilhando-o-caminho/numero-de-motoristas-por-aplicativo-cresce-137-em-8-anos>. Acesso em: 15 abr. 2022.

TUCKI, Karol. **A Computer Tool for Modelling CO2 Emissions in Driving Cycles for Spark Ignition Engines Powered by Biofuels**. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/5/1400/htm>. Acesso em: 15 mar. 2022.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (United States Of America) (org.). **Vehicle and Fuel Emissions Testing**: graphic review of driving schedules. Graphic Review of Driving Schedules. 2022. Disponível em: <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>. Acesso em: 15 mar. 2022.

WCX SAE WORLD CONGRESS EXPERIENCE, [20--], Gotemburgo. **48V Mild-Hybrid Architecture Types, Fuels and Power Levels Needed to Achieve 75g CO2/km**. [S. L.]: Sae International, 2019. 11 p.

WCX SAE WORLD CONGRESS EXPERIENCE, [201-], [S.I.]. **Constructing Engine Maps for Full Vehicle Simulation Modeling**. [S. L.]: Sae International, 2018. 12 p.

WLTP FACTS. **WHAT IS THE LINK BETWEEN THE CO2 EMISSIONS AND FUEL CONSUMPTION OF MY CAR?** [20--]. Disponível em: <https://www.wltpfacts.eu/link-between-co2-emissions-fuel-consumption/#:~:text=The%20amount%20of%20CO2%20a,for%20the%20same%20CO2%20emissions>. Acesso em: 18 abr. 2022.

WREN, Wesley. **BMW 5-Series goes plug-in hybrid, almost-M for Detroit debuts:** 2018 530e and m550i headed to the detroit auto show, but we'll have to wait for the m5. 2018 530e and M550i headed to the Detroit auto show, but we'll have to wait for the M5. 2016. Disponível em: <https://www.autoweek.com/news/auto-shows/a1860006/2018-bmw-530e-and-m550i-will-make-their-world-debuts-detroit/>. Acesso em: 25 abr. 2022.

X-engineer. **Brake Specific Fuel Consumption (BSFC).** [20--?]. Disponível em: <https://x-engineer.org/brake-specific-fuel-consumption-bsfc/>. Acesso em: 11 nov. 2022.

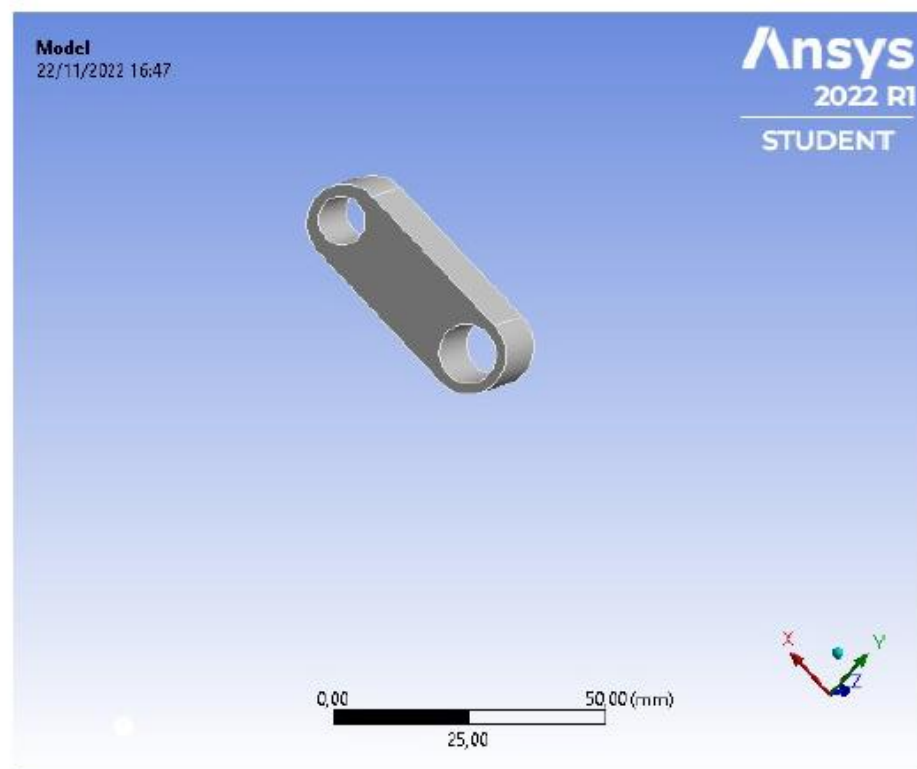
X-engineer. **Types of Mild Hybrid Electric Vehicles (MHEV).** [20--?]. Disponível em: <https://x-engineer.org/mild-hybrid-electric-vehicles-mhev-types/>. Acesso em: 13 abr. 2022.

APÊNDICE A – TENSÃO E DEFORMAÇÃO FLANGE INTERNO



Project

First Saved	Sunday, November 20, 2022
Last Saved	Tuesday, November 22, 2022
Product Version	2022 R1
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
 - [Geometry Imports](#)
 - [Geometry Import \(A3, B3\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Flange interna](#)
 - [Materials](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Mesh](#)
 - [Mesh Controls](#)
 - [Static Structural \(A5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(A6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Structural Steel](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (A4)

TABLE 2
Model (A4) > Geometry Imports

Object Name	<i>Geometry Imports</i>
State	Solved

TABLE 3
Model (A4) > Geometry Imports > Geometry Import (A3, B3)

Object Name	<i>Geometry Import (A3, B3)</i>
State	Solved
Definition	
Source	C:\Users\Pédrius\iCloudDrive\0. TCC I\Previa 4 \Flange_Interna\Flange_Interna_files\dp0\SYS\DM\SYS.agdb
Type	DesignModeler
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	Yes
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes
Attribute Key	

Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Compare Parts Tolerance	Tight
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Import Facet Quality	Source
Clean Bodies On Import	No
Stitch Surfaces On Import	None
Stitch Tolerance	0,0000001
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

Geometry

TABLE 4
Model (A4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\Users\Pédrius\iCloudDrive\0. TCC I\Previa 4 \\Flange_Interna\Flange_Interna_files\dp0\SYSDM\SYSDM.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	48, mm
Length Y	15, mm
Length Z	16, mm
Properties	
Volume	8209, mm ³
Mass	6,4441e-002 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	14029
Elements	8887
Mesh Metric	None
Update Options	
Assign Default Material	No
Basic Geometry Options	
Parameters	Independent
Parameter Key	

Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Analysis Type	3-D
Import Facet Quality	Source
Clean Bodies On Import	No
Stitch Surfaces On Import	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 5
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Flange interna</i>
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Treatment	None
Material	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	48, mm
Length Y	15, mm
Length Z	16, mm
Properties	
Volume	8209, mm ³
Mass	6,4441e-002 kg
Centroid X	17,382 mm
Centroid Y	2,6639e-017 mm
Centroid Z	8, mm
Moment of Inertia Ip1	2,7198 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	9,8041 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	9,7749 kg·mm ²
Statistics	
Nodes	14029
Elements	8887

Mesh Metric	None
-------------	------

TABLE 6
Model (A4) > Materials

Object Name	<i>Materials</i>
State	Fully Defined
Statistics	
Materials	3
Material Assignments	0

Coordinate Systems

TABLE 7
Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System	M8
State	Fully Defined	
Definition		
Type	Cartesian	
Coordinate System ID	0,	
Coordinate System		Program Controlled
APDL Name		
Suppressed		No
Origin		
Origin X	0, mm	34, mm
Origin Y	0, mm	
Origin Z	0, mm	8, mm
Define By		Geometry Selection
Geometry		Defined
Directional Vectors		
X Axis Data	[1, 0, 0,]	
Y Axis Data	[0, 1, 0,]	
Z Axis Data	[0, 0, 1,]	
Principal Axis		
Axis		X
Define By		Global X Axis
Orientation About Principal Axis		
Axis		Y
Define By		Default
Transformations		
Base Configuration		Absolute
Transformed Configuration		[34, 0, 8,]

Mesh

TABLE 8
Model (A4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
Element Size	Default
Sizing	
Use Adaptive Sizing	Yes

Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	52,773 mm
Average Surface Area	479,88 mm ²
Minimum Edge Length	16, mm
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
Target Element Quality	Default (5,e-002)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
Nodes	14029
Elements	8887

TABLE 9
Model (A4) > Mesh > Mesh Controls

Object Name	Patch Conforming Method	Body Sizing
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Body	
Definition		
Suppressed	No	
Method	Tetrahedrons	
Algorithm	Patch Conforming	
Element Order	Quadratic	
Type		Element Size
Element Size		2, mm
Advanced		
Defeature Size		Default
Behavior		Soft

Static Structural (A5)

TABLE 10

Model (A4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (A5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 11
Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Quasi-Static Solution	Off
Rotordynamics Controls	
Coriolis Effect	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Combine Restart Files	Program Controlled
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Program Controlled
Advanced	
Inverse Option	No
Contact Split (DMP)	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Surface Stress	No
Back Stress	No
Strain	Yes
Contact Data	Yes
Nonlinear Data	No
Nodal Forces	No
Volume and Energy	Yes
Euler Angles	Yes
General Miscellaneous	No

Contact Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Result File Compression	Program Controlled
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\Users\Pédrius\CloudDrive\0. TCC \Previa 4 \Flange_Interna\Flange_Interna_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Contact Summary	Program Controlled
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

TABLE 12
Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads

Object Name	Force	Fixed Support
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	
Definition		
Type	Force	Fixed Support
Define By	Components	
Applied By	Direct	
Coordinate System	M8	
X Component	100, N (ramped)	
Y Component	100, N (ramped)	
Z Component	0, N (ramped)	
Suppressed	No	

FIGURE 1
Model (A4) > Static Structural (A5) > Force



Solution (A6)

TABLE 13
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution

Object Name	Solution (A6)
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
Information	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	4, s
MAPDL Memory Used	132, MB
MAPDL Result File Size	5,625 MB
Post Processing	
Beam Section Results	No
On Demand Stress/Strain	No

TABLE 14
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information

Object Name	Solution Information
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes

Line Color	Connection Type
Visible on Results	Yes
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 15
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results

Object Name	Equivalent Stress	Total Deformation
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	
Results		
Minimum	1,6227e-003 MPa	0, mm
Maximum	5,3127 MPa	1,9552e-003 mm
Average	1,7725 MPa	6,0681e-004 mm
Minimum Occurs On	Flange interna	
Maximum Occurs On	Flange interna	
Information		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	

FIGURE 2
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Equivalent Stress

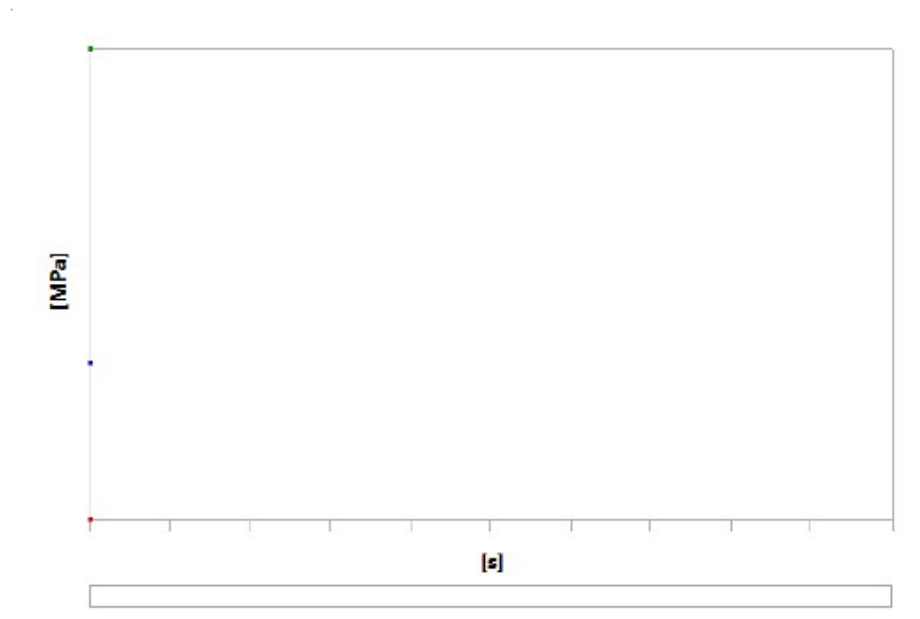


TABLE 16

Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Equivalent Stress

Time [s]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]	Average [MPa]
1,	1,6227e-003	5,3127	1,7725

FIGURE 3

Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Total Deformation

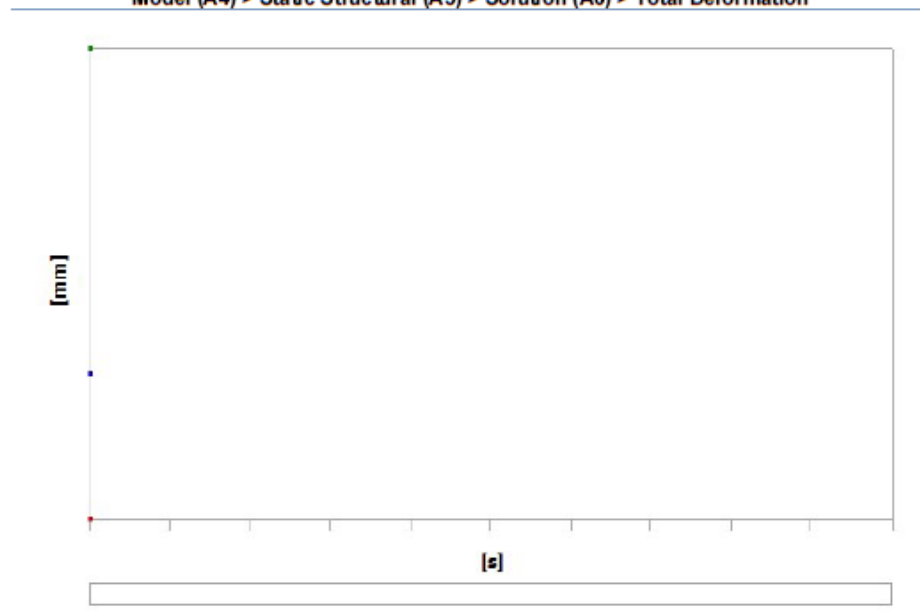


TABLE 17

Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Total Deformation

Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]	Average [mm]
1,	0,	1,9552e-003	6,0681e-004

Material Data**Structural Steel**

TABLE 18
Structural Steel > Constants

Density	7,85e-006 kg mm ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	4,34e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	6,05e-002 W mm ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1,7e-004 ohm mm

TABLE 19
Structural Steel > Color

Red	Green	Blue
132,	139,	179,

TABLE 20
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength MPa
0,

TABLE 21
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength MPa
250,

TABLE 22
Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength MPa
250,

TABLE 23
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength MPa
460,

TABLE 24
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22,

TABLE 25
Structural Steel > S-N Curve

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999,	10,	0,
2827,	20,	0,
1896,	50,	0,
1413,	100,	0,
1069,	200,	0,
441,	2000,	0,
262,	10000	0,

214,	20000	0,
138,	1,e+005	0,
114,	2,e+005	0,
86,2	1,e+006	0,

TABLE 26
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920,	-0,106	0,213	-0,47	1000,	0,2

TABLE 27
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa	Temperature C
2,e+005	0,3	1,6667e+005	76923	

TABLE 28
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

APÊNDICE B – TENSÃO E DEFORMAÇÃO FLANGE EXTERNO

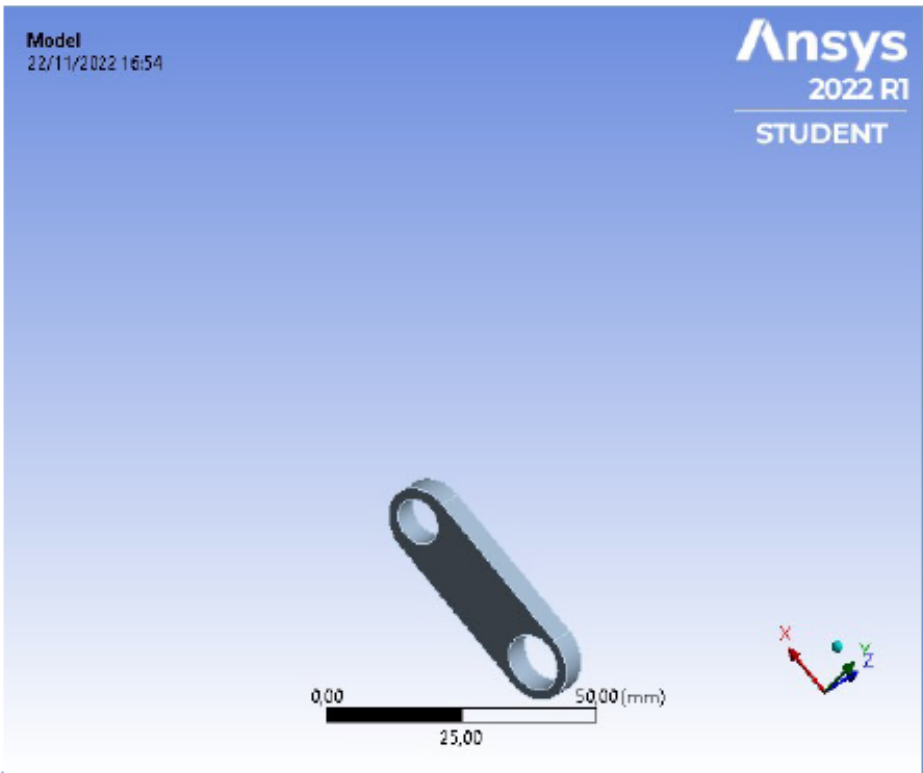
Project*

Page 1 of 13



Project*

First Saved	Sunday, November 20, 2022
Last Saved	Tuesday, November 22, 2022
Product Version	2022 R1
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- [Units](#)
- [Model \(C4\)](#)
 - [Geometry Imports](#)
 - [Geometry Import \(C3, D3\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Flange externa](#)
 - [Materials](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Mesh](#)
 - [Mesh Controls](#)
 - [Static Structural \(C5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(C6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Structural Steel](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (C4)

TABLE 2
Model (C4) > Geometry Imports

Object Name	<i>Geometry Imports</i>
State	Solved

TABLE 3
Model (C4) > Geometry Imports > Geometry Import (C3, D3)

Object Name	<i>Geometry Import (C3, D3)</i>
State	Solved
Definition	
Source	C:\Users\Pédrius\CloudDrive\0. TCC I\Previa 4 Flange_Interna\Flange_Interna_files\dp0\SYS-2\DM\SYS-2.agdb
Type	DesignModeler
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	Yes
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes
Attribute Key	

Project*

Page 3 of 13

Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Compare Parts Tolerance	Tight
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Import Facet Quality	Source
Clean Bodies On Import	No
Stitch Surfaces On Import	None
Stitch Tolerance	0,0000001
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

Geometry

TABLE 4
Model (C4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\Users\Pédrius\CloudDrive\0. TCC I\Previa 4 VFlange_Interna\Flange_Interna_files\dp0\SYS-2\DM\SYS-2.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	48, mm
Length Y	15, mm
Length Z	5, mm
Properties	
Volume	2565,3 mm ³
Mass	2,0138e-002 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	4896
Elements	2837
Mesh Metric	None
Update Options	
Assign Default Material	No
Basic Geometry Options	
Parameters	Independent
Parameter Key	

Project*

Page 4 of 13

Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Analysis Type	3-D
Import Facet Quality	Source
Clean Bodies On Import	No
Stitch Surfaces On Import	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 5
Model (C4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>Flange externa</i>
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Treatment	None
Material	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	48, mm
Length Y	15, mm
Length Z	5, mm
Properties	
Volume	2565,3 mm ³
Mass	2,0138e-002 kg
Centroid X	17,382 mm
Centroid Y	-2,3306e-017 mm
Centroid Z	2,5 mm
Moment of Inertia Ip1	0,46235 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	2,6762 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	3,0546 kg·mm ²
Statistics	
Nodes	4896
Elements	2837

Project*

Page 5 of 13

Mesh Metric	None
-------------	------

TABLE 6
Model (C4) > Materials

Object Name	<i>Materials</i>
State	Fully Defined
Statistics	
Materials	3
Material Assignments	0

Coordinate Systems

TABLE 7
Model (C4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System	M8
State	Fully Defined	
Definition		
Type	Cartesian	
Coordinate System ID	0,	
Coordinate System		Program Controlled
APDL Name		
Suppressed		No
Origin		
Origin X	0, mm	34, mm
Origin Y	0, mm	
Origin Z	0, mm	2,5 mm
Define By		Geometry Selection
Geometry		Defined
Directional Vectors		
X Axis Data	[1, 0, 0,]	
Y Axis Data	[0, 1, 0,]	
Z Axis Data	[0, 0, 1,]	
Principal Axis		
Axis		X
Define By		Global X Axis
Orientation About Principal Axis		
Axis		Y
Define By		Default
Transformations		
Base Configuration		Absolute
Transformed Configuration		[34, 0, 2,5]

Mesh

TABLE 8
Model (C4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
Element Size	Default
Sizing	
Use Adaptive Sizing	Yes

Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	50,537 mm
Average Surface Area	238,13 mm ²
Minimum Edge Length	5, mm
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
Target Element Quality	Default (5,e-002)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
Nodes	4896
Elements	2837

TABLE 9
Model (C4) > Mesh > Mesh Controls

Model (C4) > Mesh > Mesh Controls		
Object Name	Patch Conforming Method	Body Sizing
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Body	
Definition		
Suppressed	No	
Method	Tetrahedrons	
Algorithm	Patch Conforming	
Element Order	Quadratic	
Type		Element Size
Element Size		2, mm
Advanced		
Defeature Size		Default
Behavior		Soft

Static Structural (C5)

TABLE 10

Project*

Page 7 of 13

Model (C4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (C5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 11
Model (C4) > Static Structural (C5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Quasi-Static Solution	Off
Rotordynamics Controls	
Coriolis Effect	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Combine Restart Files	Program Controlled
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Program Controlled
Advanced	
Inverse Option	No
Contact Split (DMP)	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Surface Stress	No
Back Stress	No
Strain	Yes
Contact Data	Yes
Nonlinear Data	No
Nodal Forces	No
Volume and Energy	Yes
Euler Angles	Yes

Project*

Page 8 of 13

General Miscellaneous	No
Contact Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Result File Compression	Program Controlled
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\Users\Pédrius\iCloudDrive\0. TCC \I\Previas 4 \Flange_Interna\Flange_Interna_files\dp0\SYS-2\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Contact Summary	Program Controlled
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

TABLE 12
Model (C4) > Static Structural (C5) > Loads

Object Name	Force	Fixed Support
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	
Definition		
Type	Force	Fixed Support
Define By	Components	
Applied By	Direct	
Coordinate System	M8	
X Component	100, N (ramped)	
Y Component	100, N (ramped)	
Z Component	0, N (ramped)	
Suppressed	No	

FIGURE 1
Model (C4) > Static Structural (C5) > Force

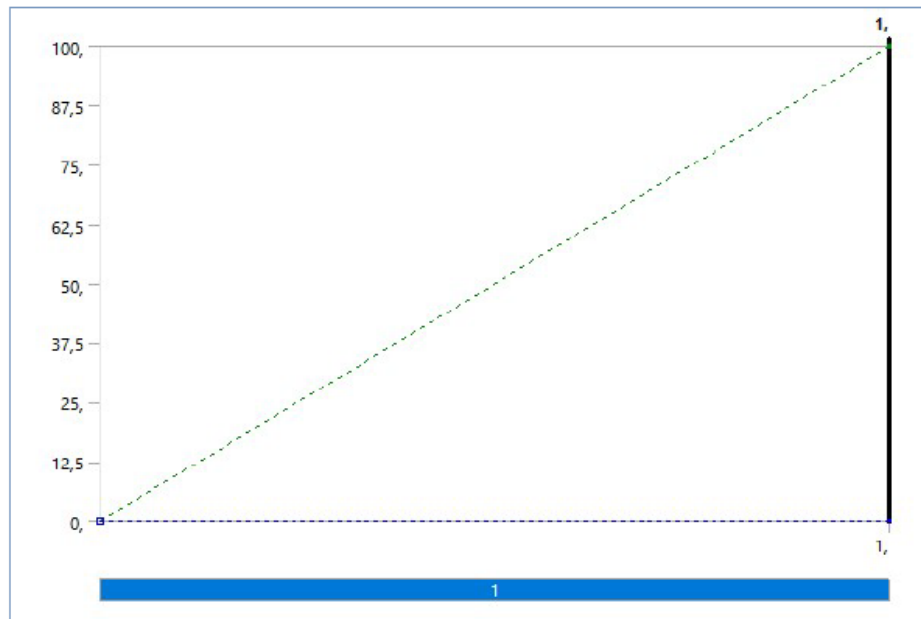
**Solution (C6)**

TABLE 13
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution

Object Name	<i>Solution (C6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
Information	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	3, s
MAPDL Memory Used	91, MB
MAPDL Result File Size	2, MB
Post Processing	
Beam Section Results	No
On Demand Stress/Strain	No

TABLE 14
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes

Project*

Page 10 of 13

Line Color	Connection Type
Visible on Results	Yes
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 15
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Results

Object Name	Total Deformation	Equivalent Stress
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Results		
Minimum	0, mm	1,6714e-003 MPa
Maximum	6,3427e-003 mm	15,959 MPa
Average	1,9583e-003 mm	5,6588 MPa
Minimum Occurs On	Flange externa	
Maximum Occurs On	Flange externa	
Information		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	
Integration Point Results		
Display Option		Averaged
Average Across Bodies		No

FIGURE 2
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Total Deformation

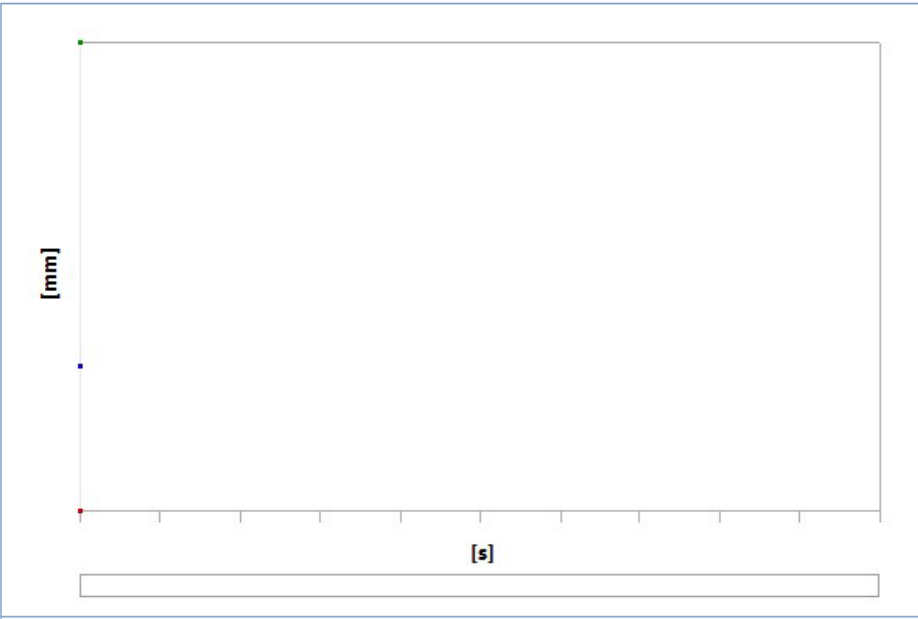


TABLE 16
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Total Deformation

Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]	Average [mm]
1,	0,	6,3427e-003	1,9583e-003

FIGURE 3
Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Equivalent Stress

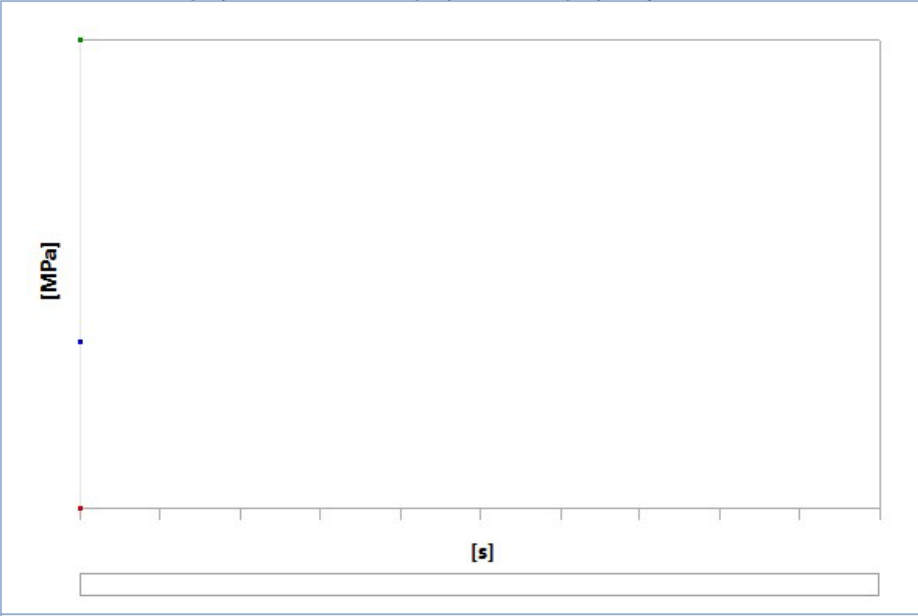


TABLE 17

Project*

Page 12 of 13

Model (C4) > Static Structural (C5) > Solution (C6) > Equivalent Stress

Time [s]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]	Average [MPa]
1,	1,6714e-003	15,959	5,6588

Material Data

Structural Steel

TABLE 18
Structural Steel > Constants

Density	7,85e-006 kg mm ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	4,34e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	6,05e-002 W mm ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1,7e-004 ohm mm

TABLE 19
Structural Steel > Color

Red	Green	Blue
132,	139,	179,

TABLE 20
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength MPa
0,

TABLE 21
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength MPa
250,

TABLE 22
Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength MPa
250,

TABLE 23
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength MPa
460,

TABLE 24
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22,

TABLE 25
Structural Steel > S-N Curve

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999,	10,	0,
2827,	20,	0,
1896,	50,	0,
1413,	100,	0,
1069,	200,	0,
441,	2000,	0,
262,	10000	0,

Project*

Page 13 of 13

214,	20000	0,
138,	1,e+005	0,
114,	2,e+005	0,
86,2	1,e+006	0,

TABLE 26
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920,	-0,106	0,213	-0,47	1000,	0,2

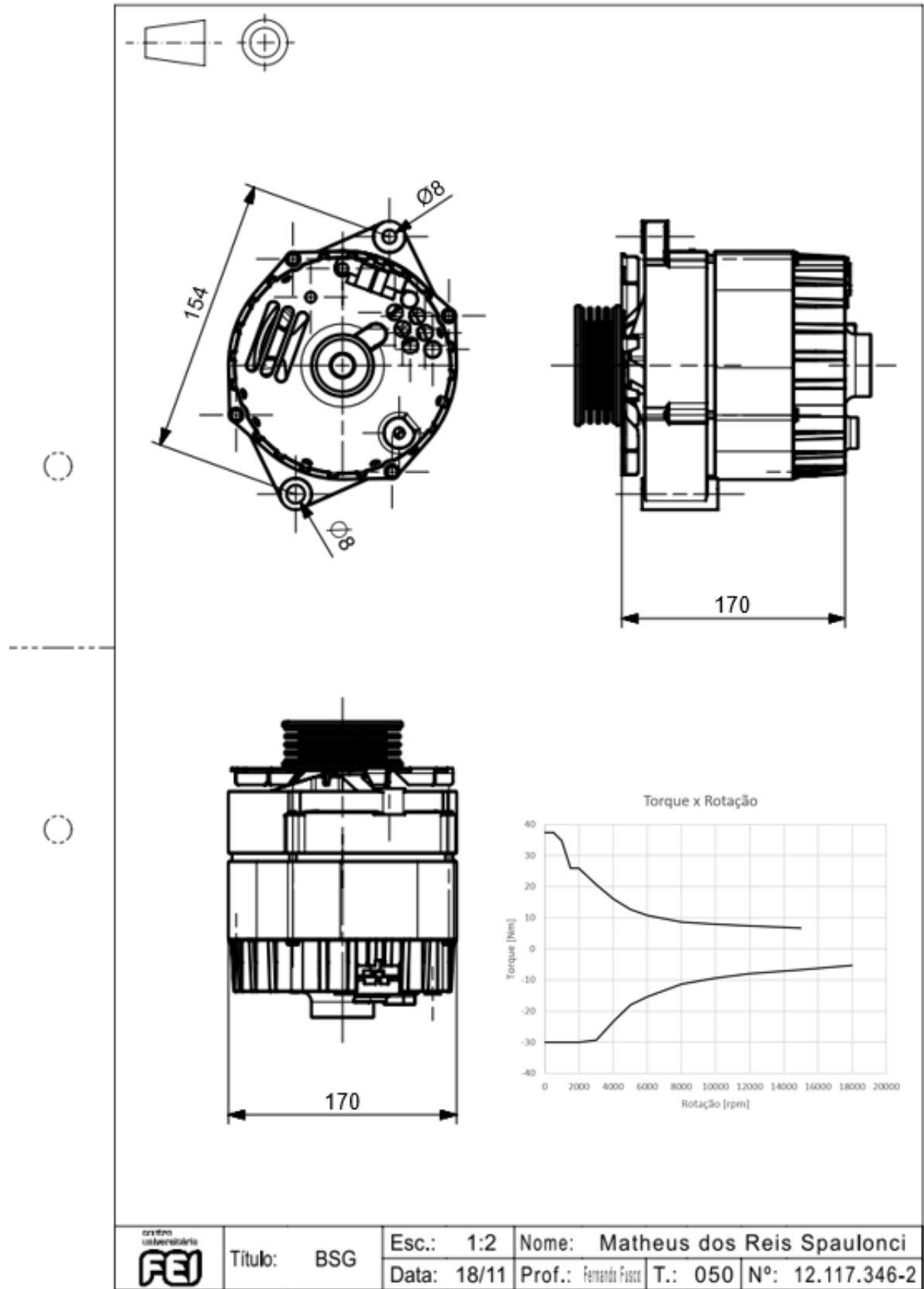
TABLE 27
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa	Temperature C
2,e+005	0,3	1,6667e+005	76923	

TABLE 28
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

APÊNDICE C – DESENHO 2D DO BSG



FEI Faculdade de Engenharia Industrial	Título: BSG	Esc.: 1:2	Nome: Matheus dos Reis Spaulonci		
		Data: 18/11	Prof.: Fernando Fuzco	T.: 050	Nº: 12.117.346-2

APÊNDICE D – DESENHO 2D DO SUPORTE DE FIXAÇÃO

