

RILBERSON SILVA BATISTA

Análise e Sensoriamento dos Parâmetros de Funcionamento do Sistema *Powertrain* de Um Veículo Baja SAE

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Carlos Ronyhelthon Santana de Oliveira

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA MONOGRAFIA DEFENDIDA PELO
ALUNO RILBERSON SILVA BATISTA,
E ORIENTADA PELO PROF. RONYHELTHON
SANTANA DE OLIVEIRA

.....
ASSINATURA DO(A) ORIENTADOR(A)

**SÃO LUIS
2018**

Batista, Rilberson Silva.

Análise e sensoriamento dos parâmetros de funcionamento do sistema powertrain de um veículo baja SAE / Rilberson Silva Batista. – São Luís, 2018.

63.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Carlos Ronyhelton Santana de Oliveira.

1. Baja. 2. Transmissão. 3. Powertrain I. Título.

CDU 629.3

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E
PRODUÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Análise e Sensoriamento dos Parâmetros
de Funcionamento do Sistema *Powertrain*
de Um Veículo Baja SAE**

Autor: Rilberson Silva Batista

Orientador: Prof. Carlos Ronyhelthon Santana de Oliveira

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:

Prof. Carlos Ronyhelthon Santana de Oliveira
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. _____
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. _____
Universidade Estadual do Maranhão

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luís/MA, 26 de Junho de 2018.

Dedicatória

Dedico esse trabalho aos meus pais, irmãos, família e namorada, por sempre me apoiarem em tudo que necessário na vida e sem eles nada seria possível.

Agradecimentos

Ao meu amigo de projeto e iniciação científica, José Airton Neiva Alves da Silva Brasil, sou grato pela ajuda em todos os seguimentos desse trabalho, principalmente na programação, sensoriamento, no projeto Bumba Meu Baja. Sem esse auxílio não seria possível a realização deste trabalho.

Ao professor orientador, Carlos Santana de Oliveira, pelo auxílio prestado nesse trabalho, por ser tão prestativo, compreensivo, paciente e amigo. Além da força que é concedida no projeto Bumba Meu Baja.

A equipe Bumba Meu Baja, em especial a professora orientadora Amália de Castro e coordenador de comissão Márcio da Silva Pereira, por me aceitar como membro em 2014.1 nesse incrível projeto que levo para vida. Minha eterna gratidão a cada momento vivido como bajeiro.

Aos meus pais, José de Ribamar Santos Batista e Marivete Silva Batista, por serem exemplos, por darem condições de ensino de qualidade e oportunidade para crescimento profissional e pessoal.

Aos meus irmãos, Rilberth Silva Batista e Robson dos Santos Moreira, por sempre serem dedicados como irmãos mais velhos, me protegendo e ensinando sobre a vida.

A minha namorada, Nínive Gonçalves Miranda Daniel, por ser uma companheira maravilhosa, sempre me arrancar as melhores risadas, os melhores momentos, por ser um porto seguro. Sou grato pelo seu amor.

A minha filha, Ísis Vieira Batista, por ser meu incentivo em dias difíceis e minha válvula de escape.

Ao meu amigo, Yan Gabriel, por sempre se fazer presente com conselhos, conversas e músicas descontraídas, pelas confissões e compartilhamento dessa bela vida.

Aos meus amigos da turma de Engenharia Mecânica, em especial aos meus amigos Hawlinson Raiol, Davi Godinho, Weyder Martins, Fábio Ramalho, Eduardo Vinícius, Heloyane Bezerra, Rosália Andrade, William Souza, Danuey Petman, Gilberto Ramos, Everaldo Lemos, Gustavo Licar, Pedro Diniz, Eduardo Augusto, Flayton Soares e Romulo Costa.

Aos meus amigos do ensino médio do Colégio Educator (Los Manos), Luan Anderson, Luis Reis, Italo Medeiros, Jorge Filho, Lucas Cordeiro, Lucas Holanda, Paulo

Mateus, Thyago Santos, João Luís, João Marcelus, Matheus Gama, Felipe Moraes,
Gregory Kaway.

As minhas amigas do ensino médio do Colégio Educator, Thaís Costa e
Kayanne Moura.

Resumo

Um sistema *powertrain* é integrado por componentes responsáveis em deslocar um veículo. De forma geral este é composto por motor e transmissão. Em um projeto de um veículo é crucial a análise para a validação do mesmo, já que este é de vital importância para o mesmo. Neste trabalho foi realizada a análise do sistema *powertrain* com auxílio de sensores instalados numa bancada de teste confeccionada para receber os componentes do veículo Baja SAE da equipe Bumba Meu Baja, Vitasse. O veículo Baja SAE é um veículo *off-road* projetado, simulado e validado pela equipe composta por alunos acadêmicos de Engenharia Mecânica. O objetivo da realização desse trabalho é realizar um levantamento de dados nos parâmetros de funcionamento do sistema *powertrain* com maior liberdade. Os parâmetros a serem analisados são: a vibração mecânica produzida pelo motor do veículo, a velocidade e rotação do sistema do veículo. Os resultados alcançados através do teste de bancada foram analisados e chegou-se à conclusão que em todos os parâmetros que foram feitos, os testes podem haver melhorias.

Palavras-Chave: Baja, Transmissão, *Powertrain*.

Abstract

A powertrain system is composed of components responsible for moving a vehicle. Generally this is composed of engine and transmission. In a project of a vehicle is crucial the analysis for the validation of the same, since this it's vital for the same. This project was carried out the analysis of the Powertrain system with the help of sensors installed on a test bench made to receive the Baja SAE vehicle components Bumba Meu Baja, Vitasse. The Baja SAE vehicle is an off-road vehicle designed, simulated and validated by the team composed of academic students of Mechanical Engineering. The objective of this work is to carry out a data collection in the operating parameters of the powertrain system with greater freedom. The parameters to be analyzed are: the mechanical vibration produced by the vehicle engine, the speed and rotation of the vehicle system. The results obtained through the bench test were analyzed and it was concluded that in all the parameters that were made, the tests may have improvements.

Keywords: Baja, Transmission, Powertrain.

Lista de Ilustrações

Figura 1.1.	Baja SAE – Prova de conforto	18
Figura 1.2.	Bumba Meu Baja – Prova de tração	19
Figura 1.3.	Prova enduro – Competição internacional Kansas	20
Figura 1.4.	Baja SAE Vitasse – Competição Nacional 2016	21
Figura 1.5.	Baja SAE Tapi'irusu– Competição Nacional 2018	22
Figura 2.1.	Os quatro tempos do motor alternativo	25
Figura 2.2.	Motor Briggs & Stratton 10hp	26
Figura 2.3.	Especificação Motor Briggs & Stratton	26
Figura 2.4.	Continuously Variable Transmission - Comet 780	27
Figura 2.5.	Caixa de dupla redução - SolidWorks	30
Figura 2.6.	Caixa de dupla redução confeccionada	31
Figura 2.7.	Sensor	32
Figura 2.8.	Grandeza física mensurada por sensor digital	33
Figura 2.9.	Temperatura medida por sensor analógico	34
Figura 2.10.	Chaves fim de curso	35
Figura 2.11.	Gráfico aceleração x tempo	36
Figura 2.12.	Gráfico aceleração x frequência	36
Figura 2.13.	Funcionamento do sensor indutivo	37
Figura 2.14.	Diagrama de blocos do sensor indutivo	38
Figura 2.15.	Sensores indutivos	38
Figura 2.16.	Fotocélula	39
Figura 2.17.	Sensor piroelétrico	40
Figura 2.18.	Diagrama esquemático de um sensor capacitivo	40
Figura 3.1.	Arduino uno	43
Figura 3.2.	Sensor indutivo para medição de velocidade e rotação	44
Figura 3.3.	Programação utilizado para levantamento de dados de velocidade e rotação	45
Figura 3.4.	Acelerômetro MMA7361	46
Figura 3.5.	Acelerômetro acoplado no motor	47
Figura 3.6.	Programação para levantamento de dados de vibração	48

Figura 3.7.	Script para Matlab no levantamento de dados de vibração	49
Figura 3.8.	Equações de frequência, formas modais e frequências naturais	50
Figura 3.9.	Primeiro modo de vibrar	51
Figura 4.1.	Bancada de teste para sistema <i>powertrain</i>	52
Figura 4.2.	Eixo do motor Briggs & Stratton Intek™ OHV 10,0 HP	54
Figura 4.3.	Bancada de teste para sistema <i>powertrain</i> - SolidWorks	55
Figura 5.1.	Bancada de teste e o veículo Vitasse	56
Figura 5.2.	Dados obtidos com o acelerômetro acoplado diretamente no motor	58
Figura 6.1.	Mola do governador	59
Figura 6.2.	Coxim do motor	60

Lista de Tabelas

Tabela 2.1.	Rendimento de tipos de transmissão	28
Tabela 2.2.	Matriz de decisão para caixa de redução	29
Tabela 2.3.	Memorial de cálculo	31
Tabela 3.1.	Parâmetros de estudo e simulação	50
Tabela 3.2.	Resultados do estudo de sistema contínuo	50
Tabela 5.1.	Resultados de rotação e velocidade de 0 a 13 segundos	57

Lista de Abreviaturas e Siglas

Letras Latinas

C_1 – Coroa primária

C_2 – Cora secundária

N_c – Rendimento transmissão por correias

N_{cr} – Rendimento transmissão por correntes

N_{ra} – Rendimento transmissão por rodas

N_e – Rendimento transmissão por engrenagens

P_1 – Pinhão primário

P_2 – Pinhão secundário

R_e – Relação final da caixa

R_f – Relação final do veículo

$R_{f_{cvt}}$ – Relação final da *continuously variable transmission*

t – Tempo [s]

T_m – Torque do motor [N.m]

T_{max} – Torque máximo [N.m]

Y – Amplitude [m]

z – Movimento da massa [m]

Letras Gregas

ω_n – Frequência natural [rad/s]

ω – Frequência [rad/s]

φ – Ângulo de fase [rad]

Abreviações

AGMA - American Gear Manufacturers Association

CVT – Continuously variable transmission

OHV – Over head valve

SAE – Society of Automotive Engineers

TIG - Tungsten Inert Gas

Sumário

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Projeto Baja SAE	16
1.1.1 História do projeto Baja SAE	16
1.1.2 Regulamento da competição Baja SAE	17
1.1.3 Relatório do projeto Baja SAE	17
1.1.4 Prova de segurança do projeto Baja SAE	17
1.1.5 Prova de conforto do projeto Baja SAE	18
1.1.6 Prova de tração do projeto Baja SAE	18
1.1.7 Prova de frenagem do projeto Baja SAE	19
1.1.8 Prova de aceleração do projeto Baja SAE	20
1.1.9 Prova de enduro do projeto Baja SAE	20
1.2 Equipe Bumba Meu Baja	21
1.3 Powertrain	22
1.3.1 Vaidação do sistema powertrain	23
1.4 Objetivos	24
2 REVISÃO DA LITERATURA	25
2.1 Motor de Combustão Interna Quatro Tempos Carburado	25
2.1.1 Especificações Técnicas do Motor Briggs & Stratton 10hp	26
2.2 <i>Continuously Variable Transmission</i> (CVT)	27
2.3 Caixa de Redução	28
2.3.1 Rendimento	28
2.3.2 Caixa de Redução da Equipe Bumba Meu Baja	29
2.3.2.1 Engrenagens de dentes reto	30
2.4 Sensores	32
2.4.1 Sensor digital	33
2.4.2 Sensor analógico	34
2.4.3 Sensores mecânicos	34
2.4.3.1 Chaves fim de curso	35
2.4.3.2 Acelerômetro	35
2.4.4 Sensores indutivo	37

2.4.5 Sensores fotoelétricos	38
2.4.6 Sensor térmico	39
2.4.7 Sensor capacitivo	40
2.4.8 Sensor ultrassônico	41
3 MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1 Elaboração do projeto	42
3.2 Sensoriamento	42
3.2.1 Rotação e Velocidade	43
3.2.2 Vibração	45
3.2.2.1 Sistemas contínuos para o suporte do motor	49
4 PROJETO E MODELAGEM DA BANCADA DE TESTE	52
4.1 Estrutura	52
4.2 Dimensionamento	53
4.3 Instalação do sistema powertrain na bancada	53
4.4 Modelagem	54
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
5.1 Confeção da bancada de teste	56
5.2 Resultados de velocidade e rotação	57
5.3 Resultados de vibração	58
6 CONCLUSÕES	59
6.1 Correção da velocidade e rotação	59
6.2 Correção da vibração	60
6.3 Sugestões para futuros trabalhos	60
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 Projeto Baja SAE

O Baja SAE é um veículo *off-road* projetado, simulado, confeccionado e validado por graduandos de universidades que participam de competições regionais e nacionais. Estas competições são promovidas pela SAE (*Society of Automotive Engineers*). A organização tem como objetivo desafiar estudantes de engenharia a aplicar os conhecimentos absorvidos em sala de aula. A SAE Brasil é uma filiada da SAE Internacional que por sua vez promove a competição mundial, no qual as três equipes vencedoras da competição nacional respectiva ao seu país são convidadas a competir.

1.1.1 História do projeto Baja SAE

Segundo a SAE Brasil (2018), o projeto Baja SAE teve início nos Estados Unidos, na Universidade da Carolina do Sul, tendo a primeira competição realizada em 1976. Já a SAE Brasil teve início em 1991 e em 1994 concretizou o Projeto Baja SAE BRASIL.

Os locais onde aconteceram as competições no decorrer do tempo sofreram mudanças. Inicialmente em 1995 era realizada a competição nacional na pista Guido Caloi, localizado em Ibirapuera, na cidade de São Paulo. No ano seguinte já houve a primeira mudança para Interlagos no Autódromo, onde permaneceu até 2002. No ano seguinte a competição nacional foi realizada em Piracicaba e recentemente (em 2015) alterada para São José dos Campos.

1.1.2 Regulamento da competição Baja SAE

Nesta competição as equipes constituídas de estudantes graduandos de engenharia são submetidas a vários testes que põem em prova a qualidade do projeto que é confeccionado pelos mesmos. Primeiramente visando a competitividade e segurança o veículo é projetado e construído mediante um regulamento imposto pela organização SAE. O veículo obrigatoriamente deve ser confeccionado de estrutura tubular, possuindo um motor *Briggs & Stratton Intek™* OHV 10,0 HP e comportar apenas uma pessoa que é o piloto. Estas são apenas algumas restrições básicas impostas pelo regulamento.

1.1.3 Relatório do projeto Baja SAE

Na competição cada prova vencida geram pontos e o não cumprimento de regras, prazos e restrições fazem com que as equipes sofram penalizações com retirada de pontos. A primeira avaliação é a entrega do relatório com o prazo a ser rigorosamente cumprido. Após essa primeira etapa as equipes viajam para os locais que ocorrem as competições e apresentam o seu projeto baseado no conteúdo que foi entregue no relatório.

1.1.4 Prova de segurança do projeto Baja SAE

Além da etapa anterior da competição existe um conjunto de provas de segurança para verificar se o veículo está apto a participar da competição com o mínimo de riscos para o piloto e demais equipes. Após as provas de segurança ocorrem as provas dinâmicas para testar e avaliar sempre com aprovações e consequentemente pontuações baseados em quesitos específicos do veículo projetado pela equipe.

1.1.5 Prova de conforto do projeto Baja SAE

Na figura 1.1 exibe-se a prova de conforto, no qual o piloto da organização SAE realiza voltas com veículo baja da equipe avaliada no momento num determinado circuito fora de estrada (*off road*) com obstáculos e avalia o mesmo de acordo com suas percepções do comportamento do veículo apresentado em tal situações no qual foi submetido.



Figura 1.1. Baja SAE – Prova de conforto

Fonte: Autor (2017).

1.1.6 Prova de tração do projeto Baja SAE

Na sequência dar-se a prova de tração, para o qual seu formato é às vezes modificado dependendo da edição da competição, mas como o próprio nome já diz, o objetivo é realizar a avaliação da capacidade de tração do veículo. O protótipo precisa ter um reboque na traseira no qual muitas vezes é acoplado um sistema de estacas em conjunto no quais vão ser tracionadas simultaneamente de acordo com o potencial do carro ou então é acoplado um veículo maior como um Troller por um sistema de cordas e este é arrastado até um determinado

espaço para a partir disso o mesmo ser avaliado por juízes técnicos da competição como mostra a figura 1.2.



Figura 1.2. Bumba Meu Baja – Prova de tração

Fonte: Autor (2017).

1.1.7 Prova de frenagem do projeto Baja SAE

Outra prova que compõe as avaliações dinâmicas é a de frenagem. Esta é realizada com o piloto da equipe conduzindo o veículo que sai do repouso e percorre uma determinada distância com aceleração máxima. Quando este passar pela marcação composta por quatro cones que formam uma região o veículo deve parar dentro desta travando as quatro rodas simultaneamente.

1.1.8 Prova de aceleração do projeto Baja SAE

A aceleração também é um parâmetro avaliado na competição, havendo uma prova para a mesma. Geralmente, esta ocorre com os carros postos lado a lado e os mesmos após a largada percorrem um trajeto em direção reta e cronometrado. O veículo mais rápido logicamente pontua mais nesta prova.

1.1.9 Prova de enduro projeto Baja SAE

Dentre as provas já citadas anteriormente todas são pontuadas e algumas além de tudo classificatórias também para a prova principal, o enduro. Esta consiste na prova mais desejada por todas as equipes, pois nela além dos competidores possuírem maior oportunidade de somar pontos é onde todas as horas de esforços de cada integrante da equipe é colocado a prova. São 4 horas de uma prova de resistência feitas para levar o veículo a situações extremas. Muitos obstáculos e muita lama (figura 1.3) são apenas ingredientes básicos para esta etapa final onde todas as equipes que conseguiram classificar para esta última prova correm dentro de um circuito simultaneamente. A equipe que concluir mais voltas em menos tempo ganha mais pontos.



Figura 1.3. Prova enduro – Competição internacional Kansas

Fonte: Acelera Ai (2017).

1.2 Equipe Bumba Meu Baja

Em 2000 teve início a primeira equipe do Maranhão a participar do projeto Baja SAE, porém teve um fim rápido por alguns problemas em 2003, a equipe Samara (Pereira, 2016). Em 2011 a equipe Bumba Meu Baja reabriu o projeto com alguns alunos de engenharia mecânica da Universidade Estadual do Maranhão que se uniram para formar a nova equipe de projeto especial Baja SAE. Os integrantes buscaram apoio da universidade e parceiros através de patrocínios para levantar fundos necessários para a confecção do projeto. Visando uma estrutura de organização empresarial a equipe decidiu realizar uma divisão de comissões em: suspensão, eletrônica, *powertrain*, direção, freio e gestão. Assim, visando uma melhor efetividade e em cada parâmetro e uma melhor divisão de tarefas. Através do *beachmarketing* e levantamento bibliográfico a equipe deu o possível início do projetado, o primeiro protótipo da equipe. Bumba Meu Baja a única equipe do estado do Maranhão, buscou um nome que traz referência a cultura do estado, o bumba meu boi, para representar o mesmo a nível nacional. A equipe é formada por graduandos da engenharia de produção e engenharia mecânica. O penúltimo veículo Vitasse (figura 1.4) utilizado na competição nacional de 2016 e 2017 serviu de estudo para o Tapi'irusu (boi, em tupi), carro de 2018 (figura 1.5).



Figura 1.4. Baja SAE Vitasse – Competição Nacional 2016

Fonte: Autor (2016).



Figura 1.5. Baja SAE Tapi'irusu– Competição Nacional 2018

Fonte: Autor (2018).

1.3 Powertrain

Os veículos motorizados, assim como os Bajas SAE, possuem um sistema que é composto de forma geral por motor, embreagem ou *continuously variable transmission* (CVT) e caixa de redução, esse conjunto juntamente com os elementos que realizam a transmissão de energia nesse sistema é denominado *powertrain*.

O *powertrain* é então um conjunto de elementos de vital importância para o veículo Baja SAE e entre outros, pois sem ele não há locomoção. Sendo responsável por produzir e transmitir o torque necessário para vencer a inércia do automóvel, seja no asfalto ou em terrenos acidentados com obstáculos. Para o projeto Baja SAE é realizada uma série de estudos já prevendo que o veículo além de superar sua inércia necessita vencer os obstáculos da competição que possuíram ângulos de até 45° na sua última etapa nacional. Desta forma, através de estudos e validações é escolhida a melhor relação desejada para o sistema de acordo com o projeto prototipado.

A relação de transmissão é definida principalmente pelo sistema de transmissão, ou seja, pelo motor que já é pré-estabelecido pela organização Baja SAE, pela *continuously*

variable transmission que é adquirida no mercado, isto é, já é pré-definida a relação da mesma, e principalmente pela caixa de redução, pois esta é geralmente projetada pela própria equipe.

Após estabelecido a relação final do veículo, pode-se ter o conhecimento se o veículo vai possuir mais velocidade ou mais torque. Estes parâmetros e outros, como torque, velocidade, rotação e vibração, são de grande importância para que o veículo tenha um bom rendimento na competição e seja competitivo. Assim, é de grande relevância a validação dos mesmos mediante o sistema *powertrain*.

1.3.1 Validação do sistema *powertrain*

Para a validação, análise e manutenção do sistema é ideal que se construa uma bancada para testes. Nessa bancada serão utilizados alguns sensores, tais como sensores indutivos e acelerômetros, para auxiliar na avaliação do funcionamento do sistema confirmando assim se o mesmo está de acordo com o esperado e calculado no projeto. Esses sensores enviarão os dados para o arduino onde por meio de um algoritmo processado pelo seu microcontrolador obteremos os resultados.

O sistema *powertrain* como já citado será alimentado por um motor. Um dos tipos de motores mais utilizados é o de combustão interna com quatro tempos, que através de reação química produz energia mecânica. Os motores de combustão interna são classificados em tipos a partir do seu ciclo termodinâmico, sendo estes, Ciclo Otto, Ciclo Diesel e Ciclo Brayton.

Nos motores Otto a mistura é introduzida, em geral, já homogeneizada e dosada. Nos motores ciclo Diesel-MIE (Motor de Ignição Espontânea) admite-se apenas ar, e o combustível é injetado finamente pulverizado ao final do curso de compressão, pelo qual, em pouquíssimo tempo, deverá se espalhar e encontrar o oxigênio do ar, segundo Brunetti (2012). Ciclo Brayton ideal para turbinas a gás.

1.4 Objetivos

Este trabalho busca validar o projeto do sistema *powertrain* (motor-transmissão) do veículo Baja Vitasse.

1. Projetar bancada de teste;
2. Confeccionar bancada de teste;
3. Realizar levantamentos de dados dos parâmetros: rotação, velocidade e vibração;
4. Analisar os dados levantados dos parâmetros: rotação, velocidade e vibração;
5. Evidenciar correções para possíveis necessidades dos parâmetros: rotação, velocidade e vibração.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Motor de Combustão Interna Quatro Tempos Carburado

Para Brunetti (2012) combustão é um processo químico exotérmico de oxidação de um combustível. Para que o combustível reaja com o oxigênio do ar necessita-se de algum agente que provoque o início da reação. Então, os motores de combustão interna são os que possuem o fluido ativo participando diretamente da combustão.

Em motores alternativos de quatro tempos, isto é, possui trabalho do resultado do movimento do pistão, o mesmo realizara quatro etapas, para completar um ciclo. Como mostrado na figura 2.1, são estes: tempo de admissão, tempo de compressão, tempo de expansão e tempo de escape.

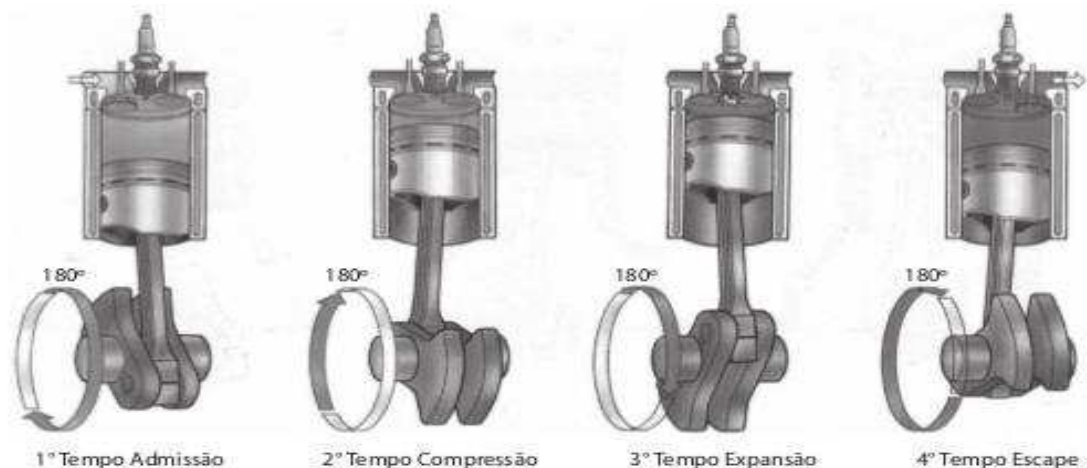


Figura 2.1. Os quatro tempos do motor alternativo

Fonte: Brunetti (2012).

A alimentação é realizada por um carburador que tem a função de dosar o combustível e o ar, sendo assim, sendo responsável pela mistura. Possuindo funcionamento básico totalmente mecânico. Como o motor Briggs & Stratton 10hp (figura 2.2) utilizado pela equipe Bumba Meu Baja.



Figura 2.2. Motor Briggs & Stratton 10hp.

Fonte: Ha-Ko Group (2016).

2.1.1 Especificações Técnicas do Motor Briggs & Stratton 10hp

POTÊNCIA	10,0 HP
CILINDRADA	305 cc
CAPACIDADE DO TANQUE	1,0 (3,8) gal (l)
CAPACIDADE DE ÓLEO	0,21 (0,8) gal (l)
LUBRIFICAÇÃO	Splash
FILTRO DE AR	Dual-Clean™
Nº CILINDRO(S)	1
DIÂMETRO DO CILINDRO	3,11 (79,2) in (mm)
CURSO DO PISTÃO	2,44 (61,9) in (mm)
DIMENSÕES (C x L x A)	15,3x12,3x16,4 (39,0x31,3x41,7) in (cm)
PESO	50,7 (23,0) lb (kg)

Figura 2.3. Especificação Motor Briggs & Stratton.

Fonte: Manual Briggs & Stratton (2011).

Através do manual de fabricante do motor Briggs & Stratton Intek™ OHV 10,0 HP é fornecido dados e variáveis, como mostrado na figura 2.3, que são de grande importância para se realizar um projeto para a confecção do veículo Baja SAE.

2.2 Continuously Variable Transmission (CVT)

A redução primária é estabelecida pela equipe Bumba Meu Baja utilizando uma *continuously variable transmission* (CVT), Comet 780 (figura 2.4). Esta é composta por duas polias variáveis que são interligadas por uma correia, sendo responsável de produzir diferentes relações. A polia principal é acoplada no motor (polia motora) e a secundária na caixa de redução (polia movida). A alteração da relação acontece na mudança de diâmetro das polias quando o motor altera sua rotação, a correia que se encontra entre os discos da polia aprofunda no sulco da mesma.

Segundo o manual fornecido pela Comet Industries da Comet 780, a mesma possui uma relação de 3,71:1 com a polia motora em seu estado inicial e relação de 0,69:1 com a polia motora completamente expandida.

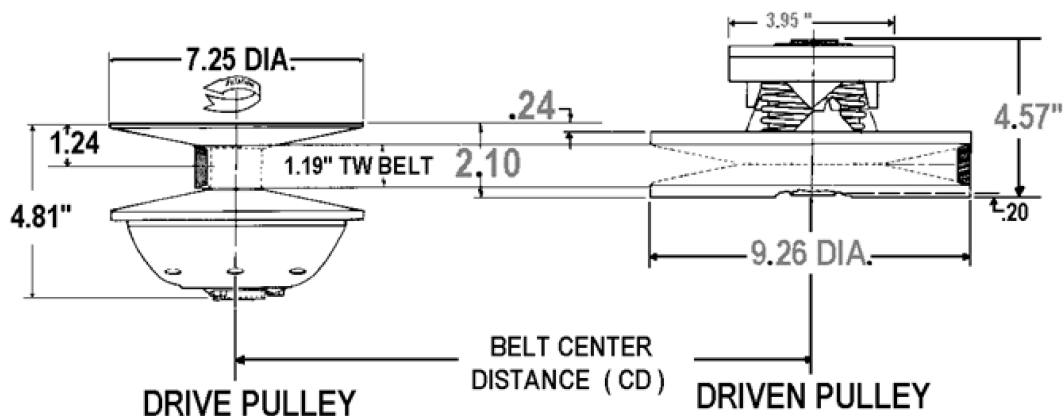


Figura 2.4. *Continuously Variable Transmission* - Comet 780.

Fonte: Manual Comet Industries (1999).

2.3 Caixa de Redução

A caixa de redução tem como objetivo transformar a potência do motor em torque ou velocidade dependendo do que é desejado para o projeto. Em outras palavras ela é responsável pela transmissão de potência.

A transmissão pode ocorrer de modos diferentes, como por correias, por corrente e por engrenagens. Dentre essas possibilidades existe um parâmetro muito importante que é o rendimento do sistema.

2.3.1 Rendimento

Em qualquer tipo de transmissão é inevitável a perda de potência que ocorre nas engrenagens, mancais, polias, correntes, rodas de atrito, originada pelo atrito entre as superfícies, agitação do óleo lubrificante, escorregamento entre correia e polia, (MELCONIAN, 2003).

Além de perda de potência por rendimento, como mostrado na tabela 2.1, existe uma série de outros fatores determinante para um projeto de caixa de redução.

Tabela 2.1. Rendimento de tipos de transmissão.

Fonte: Melconian (2003).

TIPOS DE TRANSMISSÃO	RENDIMENTO
Transmissão por Correias	
Correias Planas	$0,96 \leq N_c \leq 0,97$
Correias em V	$0,96 \leq N_c \leq 0,98$
Transmissão por Correntes	
Correntes Silenciosas	$0,97 \leq N_{cr} \leq 0,99$
Correntes Renold	$0,95 \leq N_{cr} \leq 0,97$
Transmissão por Rodas	
De atrito	$0,95 \leq N_{ra} \leq 0,98$
Transmissão por Engrenagens	
Fundidas	$0,92 \leq N_e \leq 0,93$
Usinadas	$0,96 \leq N_e \leq 0,98$

Além de perda de potência por rendimento, existe uma série de outros fatores determinante para um projeto de caixa de redução.

2.3.2 Caixa de Redução da equipe Bumba Meu Baja

Para a escolha do sistema que compõem a caixa de redução da equipe Bumba Meu Baja, optou-se pela utilização como auxílio para uma tomada de decisão, uma matriz de tomada de decisões. (tabela 2.2).

Tabela 2.2. Matriz de decisão para caixa de redução.

Fonte: Autor (2017).

Critérios		Engrenagem Dentes Retos		Engrenagem Dentes Helicoidais		Pinhão, Corrente e Coroa	
Fator	Peso	Nota	Nota x Peso	Nota	Nota x Peso	Nota	Nota x Peso
Custo	2	2	4	1	2	3	6
Peso	3	3	9	3	9	1	3
Manutenção	1	3	3	3	3	1	1
Fabricação	1	1	1	1	1	3	3
Volume Ocupado	3	3	9	3	9	1	3
	Nota:		26		24		16

De acordo com a matriz de tomada de decisão, foi observado que a engrenagem de dentes retos obteve uma nota final superior as demais. Assim, escolheu-se projetar uma caixa por engrenagens de dentes retos de redução composta. O material empregado é o aço SAE 4340 devido ao peso em relação ao volume total ocupado, além da elevada resistência à fadiga e homogeneidade de dureza ao longo da seção. Na carcaça de proteção usou-se o alumínio 6061 T6 com elevada dureza, resistente a corrosão, excelente polimento e brilho. Eixo de material

4130. Foram projetadas para serem lubrificadas a óleo com desempenho API GL-5. Desta forma, a escolha de viscosidade é 85W/140 evitando assim o desgaste e corrosão.

2.3.2.1 Engrenagens de dentes reto

A caixa de redução da equipe Bumba Meu Baja foi projetada para ser composto por engrenagens de dentes retos, como mostrado na figura 2.5 no SolidWorks e figura 2.6 já confeccionada. Possuindo como meta vencer a inércia do carro e passar por obstáculos de até 45° de inclinação, assim possuindo uma relação final 7.1.

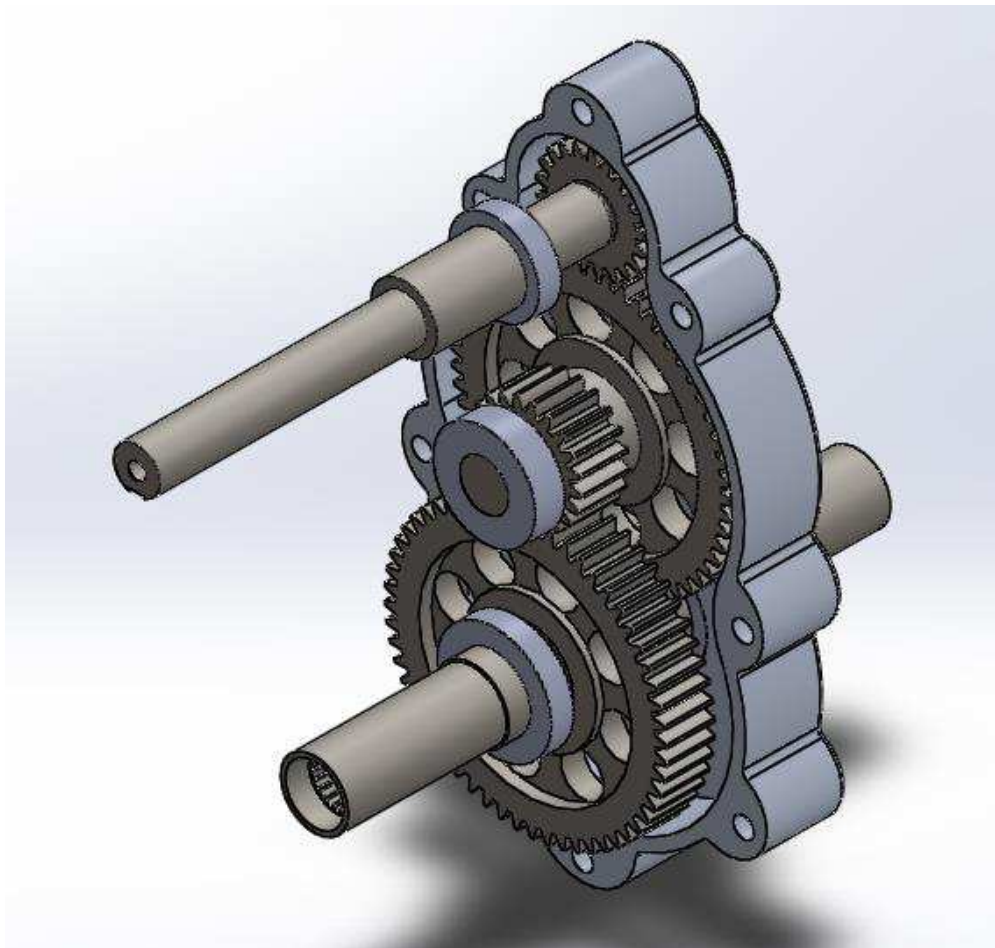


Figura 2.5. Caixa de dupla redução - SolidWorks.

Fonte: Autor (2016).



Figura 2.6. Caixa de dupla redução confeccionada.

Fonte: Autor (2017).

Essa relação foi obtida através do dimensionamento realizado com o método da AGMA (SHIGLEY, 2005). A tabela 2.3 mostra um memorial de cálculo com a relação final da caixa, do veículo e torque máximo.

Tabela 2.3. Memorial de cálculo.

Fonte: Autores (2017).

Memorial de Cálculo		
Indicadores	Equação	Resultado
Relação Final da Caixa	$Re = \frac{C_1 * C_2}{P_1 * P_2}$	7.1
Relação Final do Veículo	$Rf = Re * Rf_{cvt}$	4.9
Torque Máximo	$Tmax = Tm * Rf_{cvt} * Rf$	338 N.m

2.4.1 Sensor digital

O sensor digital é assim determinado pelo tipo de sinal de saída do mesmo que pode ser zero ou um, no decorrer do tempo. Desta forma não há grandezas físicas para assumir tal valores, sua capacidade é de apenas determinar se foi atingido um certo valor já predeterminado referente a grandeza física (figura 2.8). Assim, depois dos mesmos sofrerem conversão mediante de um computador (circuito elétrico) eles são mostrados ao sistema de controle. São bastante utilizados em detectar passagem de objetos, determinar distância e outros parâmetros.

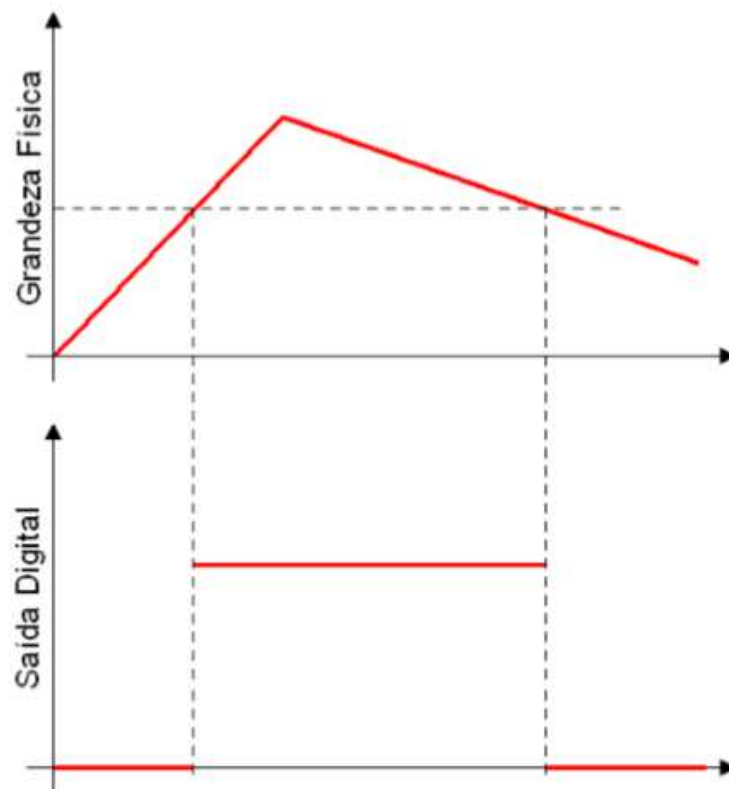


Figura 2.8. Grandeza física mensurada por sensor digital.

Fonte: Wendling (2010).

2.4.2 Sensor analógico

Diferentemente do sensor digital este pode assumir valores diversos no seu sinal de saída, basta que o mesmo esteja dentro de sua própria faixa de operação no decorrer do tempo (figura 2.9). As variáveis que são analisadas possuem valores determinados por elementos sensíveis que não utilizam de circuitos eletrônicos digitais.

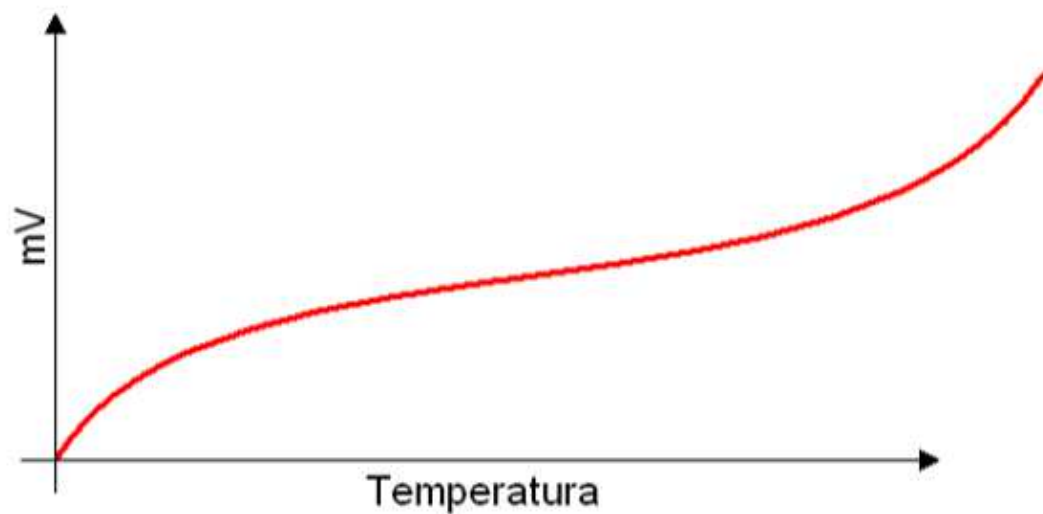


Figura 2.9. Temperatura medida por sensor analógico.

Fonte: Wendling (2010).

2.4.3 Sensores mecânicos

Os sensores mecânicos como o próprio nome sugere são sensores que utilizam de recursos mecânicos para poder realizar o sensoriamento em questão. Como a chave de fim de curso.

2.4.3.1 Chaves fim de curso

Estes são chaves computadoradas (figura 2.10) que atuam sobre um circuito no modo liga/desliga quando uma ação mecânica acontece no seu elemento atuador. É possível usar esses sensores de diversas formas, como para detectar a abertura ou fechamento de uma porta (WENDLING, 2010).



Figura 2.10. Chaves fim de curso.

Fonte: Wendling (2010).

2.4.3.2 Acelerômetro

O sensor acelerômetro é um dispositivo cuja sua função, através de um material piezoelétrico, é mensurar a vibração e ou aceleração de uma estrutura. O dispositivo transforma a força exercida sobre ele no caso o movimento causador da vibração, a energia mecânica, em energia elétrica.

Segundo Rao (2011), o acelerômetro é um instrumento que mede vibrações. Pelo registro do acelerômetro obtemos a velocidade e os deslocamentos são obtidas por meio de integração, que forma a equação (1):

$$-z(t)\omega_n^2 = -Y\omega^2 \text{sen}(\omega t - \varphi) \quad (1)$$

Onde:

z = movimento da massa
 Y = amplitude
 t = tempo
 ω_n = frequência natural
 ω = frequência
 φ = ângulo de fase

Os dados serão captados podendo gerar um histórico tempo-aceleração da estrutura que está sujeita a vibração é gerado, na forma mostrada na figura 2.11.

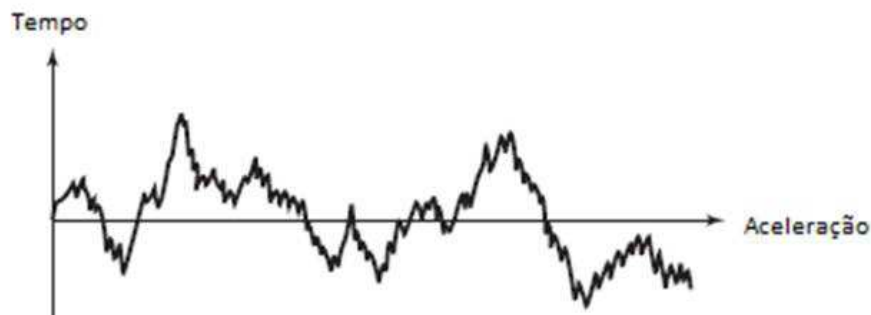


Figura 2.11. Gráfico aceleração x tempo.

Fonte: Rao (2011).

Caso esse histórico for para o domínio da frequência, o gráfico terá a forma mostrada na Figura 2.12.

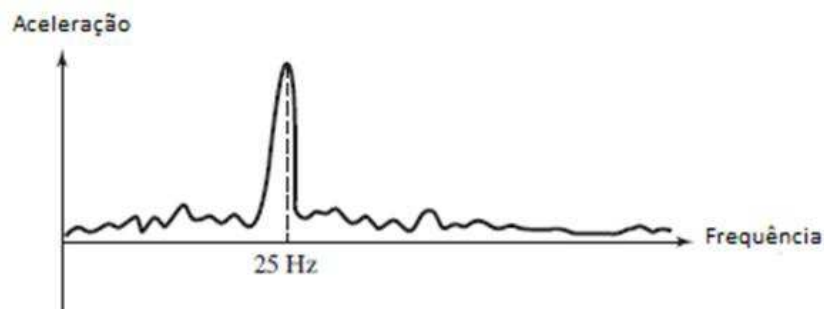


Figura 2.12. Gráfico aceleração x frequência.

Fonte: Rao (2011).

A energia mostrada concentrada ao redor da frequência de maior amplitude de aceleração é a utilizada para o estudo, pois a resposta no domínio da frequência mostra uma

frequência discreta ao redor de onde a energia está concentrada. Tendo em vista que as características dinâmicas do componente de estudo são conhecidas, pode-se relacionar essa frequência ao componente específico.

2.4.4 Sensores indutivo

São elementos ativos capazes de efetuar um fechamento de circuito sem que seja preciso o contato de algum corpo metálico, no caso do sensor indutivo o corpo metálico só precisa estar próximo do sensor, como pode ser visto na figura 2.13.

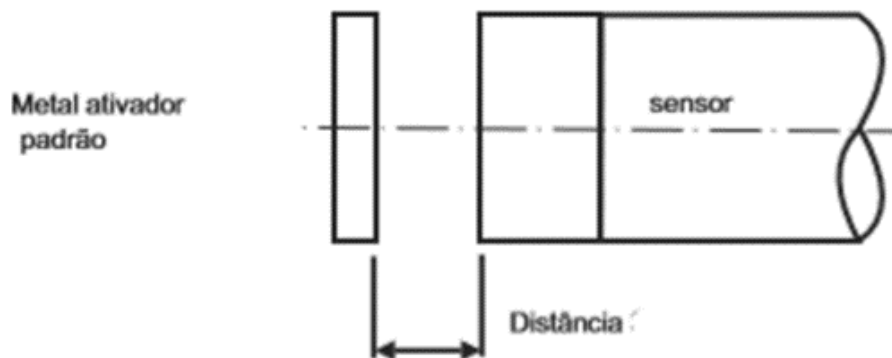


Figura 2.13. Funcionamento do sensor indutivo.

Fonte: WEG – Automação. Sensores e Fontes (2014).

O sensor indutivo tem um oscilador de rádio frequência. Esta oscilação é modificada quando se introduz um objeto metálico dentro do campo magnético da bobina, retornando ao normal quando se retira o objeto. As modificações do comportamento do oscilador são demoduladas e interpretadas pelo trigger de modo a obter-se uma saída de sinais *high-low*, excitando um circuito de potência, no caso um transistor, obtendo assim uma chave liga-desliga, com condições de efetuar um chaveamento sobre bobinas de relés, contadores, ou circuitos lógicos. O diagrama de blocos que representa seu funcionamento pode ser visto na figura 2.14.

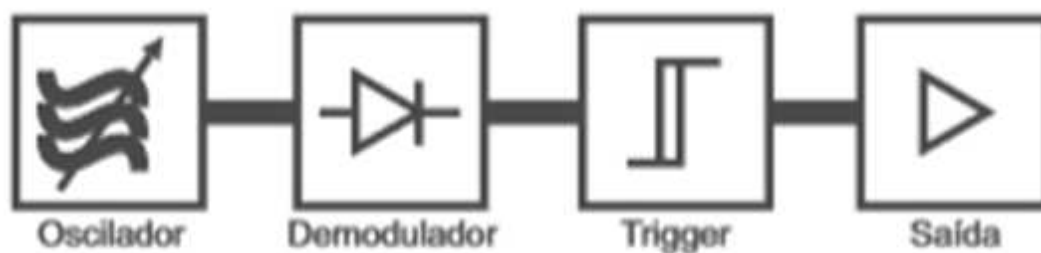


Figura 2.14. Diagrama de blocos do sensor indutivo.

Fonte: WEG – Automação. Sensores e Fontes (2014).

Evidenciando então algumas características dos sensores indutivos (figura 2.15) que são de grande relevância, como a ausência da necessidade de energia mecânica para funcionar, possuir tanto a choques mecânicos quanto a vibrações proteção, o seu funcionamento acontece com mudanças muito rápidas e sem necessidade de entrar em contato com a peça, apenas por aproximação.



Figura 2.15. Sensores indutivos.

Fonte: JNG (2017).

2.4.5 Sensores fotoelétricos

Um sensor fotoelétrico é um sensor de presença que detecta um feixe de luz visível ou invisível, e responde a uma variação na intensidade de luz recebida, segundo Mazzaroppi (2007). A vantagem sobre os sensores fotoelétricos são que eles funcionam através da luz, ou

seja, a sua velocidade é bem superior do que se comparado com os sensores mecânicos, além de não possuírem peças que quebram ou desgastam.

Alguns exemplos são os foto-resistor, fotocélula (figura 2.16), fotodiodo e fototransistor.

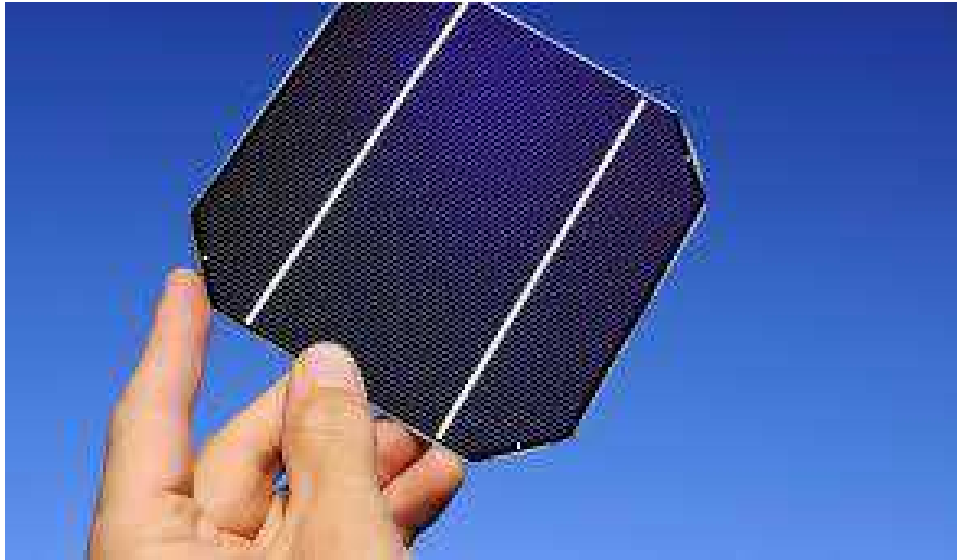


Figura 2.16. Fotocélula.

Fonte: di Souza (2017).

2.4.6 Sensor térmico

Da mesma maneira que no os sensores fotoelétricos, existem diversos tipos de sensores que podem atuar sobre um circuito em função da variação da temperatura do meio em que se encontram, (WENDLING, 2010).

Por exemplo: sensor piroelétrico como mostrado na figura 2.17.



Figura 2.17. Sensor piroelétrico.

Fonte: Fritzen Lab (2016).

2.4.7 Sensor capacitivo

Os sensores de proximidade capacitivos são sensores ativos de presença projetados para operar gerando um campo eletrostático e detectando mudanças neste campo causadas quando um objeto se aproxima do sensor (MAZZAROPPI, 2007). O sensor é constituído, como mostrado da figura 2.18, em seu interior de uma ponta capacitiva, que assim como capacitores depende da distância de suas placas para a capacitância, oscilador, retificador de sinal, circuito de filtragem e circuito de saída.

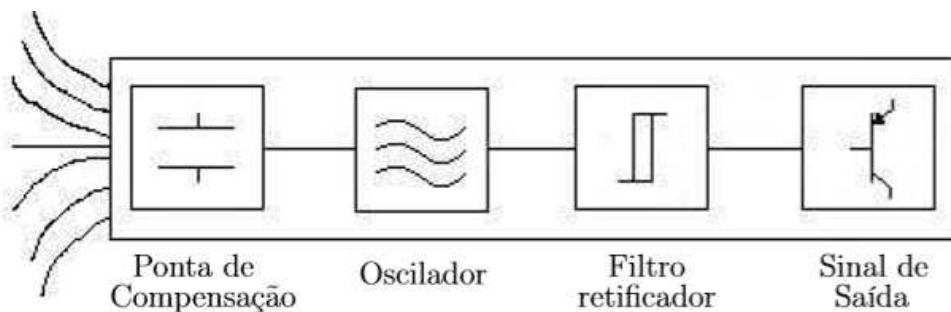


Figura 2.18. Diagrama esquemático de um sensor capacitivo.

Fonte: Mazzaroppi (2007).

O sensor funciona de tal maneira, sem o alvo próximo o oscilador do sensor permanece no estado inativo. Porém com sua aproximação (alvo), sua capacitância vai sendo modificada, até atingir uma determinada grandeza que conseqüentemente aciona o oscilador, este por sua vez ativa o circuito de saída.

2.4.8 Sensor ultrassônico

O sensor ultrassônico possui um oscilador no qual envia ondas sônicas para o ambiente no intuito de entrar em contato com algum objeto. Estas por sua vez formam um comprimento de onda no qual possibilita a identificação do objeto que está no comprimento de onda. As mesmas são refletidas e chegam até os sensores. Assim, o mesmo recebendo os sinais consegue transmitir informações sobre o objeto que está dentro do comprimento de onda.

Essas ondas emitidas são ondas acústicas e que não são possíveis ser captadas pela audição humana devido a sua frequência. Sendo bastante utilizado para detectar corpos ou objetos em uma determinada distância.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será mostrado as ferramentas, métodos e procedimentos para o processo da realização dos levantamentos de dados para que só assim possam ser feitas as análises do sistema.

Basicamente o projeto é composto por 4 etapas, são elas: 1) Elaboração do Projeto; 2) Obtenção dos valores dos parâmetros de rotação; 3) Obtenção dos dados dos parâmetros de velocidade; 4) Obtenção dos dados dos parâmetros da vibração do motor;

3.1 Elaboração do projeto

Fase inicial da montagem da bancada experimental que será utilizada na análise do motor e sistema de transmissão. O processo de obtenção de dados será feito de forma minuciosa, com o intuito de minimizar os erros de medição.

3.2 Sensoriamento

Após a confecção da bancada definiram-se os sensores a serem utilizados levando em conta fatores como: preço e possibilidade de fácil aplicação. As medidas realizadas só foram feitas por meio de sensores digitais, sendo assim seus dados foram obtidos através do Arduino (figura 3.1), servindo como *datalog* e os dados organizados em outros *softwares* como o Matlab e Excel.



Figura 3.1. Arduino uno.

Fonte: Filipe Flop (2018).

3.2.1 Rotação e Velocidade

Para medição da rotação utiliza-se um sensor indutivo próximo a polia menor da CVT, onde paralelamente a essa polia tem uma placa metálica, toda vez que a placa passar pelo sensor será enviado um sinal ao arduino e esse fará o cálculo da frequência.

O mesmo sensoriamento utilizado para rotação será utilizado para cálculo da velocidade do veículo, pois podemos converter a frequência para velocidade linear, mas também será necessário que se faça cálculos de transmissão entre os elementos de transmissão (polias e engrenagens) presentes em todo o sistema até chegar no pneu do veículo em questão.

Para realizar o levantamento de dados neste quesito se faz necessário uma chapa de aço SAE 1020 no qual a mesma é acoplada na polia motora da Comet 780. Essa placa confeccionada tem comprimento igual ao raio da polia motora, para que assim o sensor acoplado próximo a essa chapa possa funcionar com eficiência, como pode ser visto na figura 3.2.



Figura 3.2. Sensor indutivo para medição de velocidade e rotação.

Fonte: Autor (2018).

O código utilizado (figura 3.3) se baseia no tempo entre cada vez que a chapa passa na frente do sensor. Além disso, foi necessário utilizar as relações de transmissão do sistema *powertrain* do veículo Baja SAE da equipe Bumba Meu Baja realizada de acordo com o método AGMA (Shigley, 2005), mostrado na tabela 2.3.

```
// RPM
int half_revolutions = 0;
int rpm = 0;
unsigned long lastmillis = 0;
float v3 = 0;
float v6 = 0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  attachInterrupt(0, rpm_fan, FALLING);
}
```

```

void loop(){if (millis() - lastmillis == 1000){
detachInterrupt(0);
rpm = half_revolutions * 60;
Serial.print("RPM =\t");
Serial.print(rpm);
Serial.print("\t Hz=\t");
Serial.println(half_revolutions);
half_revolutions = 0;
lastmillis = millis();
attachInterrupt(0, rpm_fan, FALLING);
v3 = (rpm/(60))*0.65*3.14*3.6;
v6 = v3/(4.9*7.1);
Serial.print ("VEL =\t");
Serial.print (v6);
}
}
void rpm_fan(){
half_revolutions++;
}

```

Figura 3.3. Programação utilizado para levantamento de dados de velocidade e rotação.

Fonte: Autor (2018).

3.2.2 Vibração

Para o cálculo de vibração utiliza-se o acelerômetro MMA7361 como mostra a figura 3.4, que mede a aceleração de um corpo em vibração. A força causada por uma vibração ou alteração do movimento (aceleração) faz com que a massa "esprema" o material piezoelétrico, produzindo uma carga elétrica proporcional à força exercida sobre ele. Como a carga é proporcional à força e a massa é uma constante, a carga também é proporcional à aceleração.

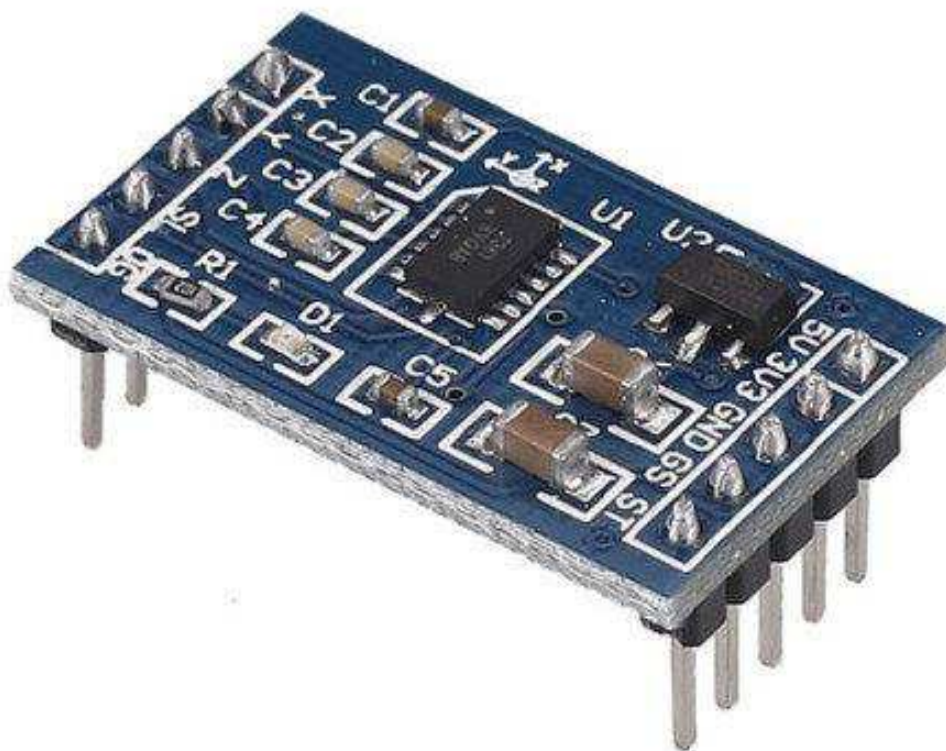


Figura 3.4. Acelerômetro MMA7361.

Fonte: Eletrogate (2018).

Para realizar a análise de vibrações do motor *Briggs & Stratton Intek™* OHV 10,0 HP em um veículo baja foi encontrar as vibrações, com o acelerômetro acoplado diretamente no motor, como pode ser visto na figura 3.5, para obtenção de valores de amplitude de aceleração e frequência do motor.



Figura 3.5. Acelerômetro acoplado no motor.

Fonte: Autor (2018).

Os dados serão obtidos a partir da seguinte programação (figura 3.6) utilizado no Arduino.

```
// Acelerometro
#include <AcceleroMMA7361.h>
AcceleroMMA7361 accelero;
int x;
int y;
int z;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  accelero.begin(13, 12, 11, 10, A0, A1, A2);
  accelero.setARefVoltage(3.3);
}
```

```

accelero.setSensitivity(LOW);
accelero.calibrate();
}
void loop()
{
x = accelero.getXAccel();
y = accelero.getYAccel();
z = accelero.getZAccel();
Serial.print("\n ");
Serial.print(x);
Serial.print(" \t ");
Serial.print(y);
Serial.print(" \t ");
Serial.print(z);
Serial.print("\t");
delay(2.5);
}

```

Figura 3.6. Programação para levantamento de dados de vibração.

Fonte: Autor (2018).

Após o levantamento de dados pela programação com auxílio do Arduino, para se obter resultados nos formatos como mostrado na figura 2.11 e na figura 2.12, é de grande relevância a utilização do *software* Matlab. O *script* desenvolvido para a pesquisa na bancada de teste é mostrado na figura 3.7.

```

% Estudo Na frequencia
%% AMOSTRA ////
dados_fla % pega os dados de outra matriz arquivo com mesmo nome
a=p113; %matriz amostras
N = length(a); %quantidade total de amostras
y = a(:,1); %eixo de interesse
%% TEMPO DO EXPERIMENTO
del = 5; %delay de uma leitura pra outra em milisegundos

```



```

dels = del/1000; %delay de uma leitura pra outra em segundos
N1 = 1/dels; %qnt de amostras em 1 seg
t = [0:dels:dels*(N-1)]; % tempo de experimento
%% TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER
Y=2*abs(fft(y))/N;
f=[0:1:N-N1/N]*N1/N;
%% GRÁFICOS
figure(1)
subplot(2,1,1)
plot(t,y,'-*'); %gráfico do sinal de entrada
title('Gráfico no domínio do Tempo')
xlabel('tempo (t)')
ylabel('Aceleração')
subplot(2,1,2)
plot(f(2:N/2),Y(2:N/2)); %frequencia de resposta
title ('Gráfico no domínio da Frequência')
xlabel('Frequência (Hz)')
ylabel('Aceleração')
% axis([0 100 0 0.20])
Grid

```

Figura 3.7. Script para Matlab no levantamento de dados de vibração.

Fonte: Autor (2018).

Com esses dados é possível achar a maior amplitude e a sua frequência, tendo em vista que esses valores são importantes já que saber como essa vibração afeta o suporte do motor é o objetivo.

3.2.2.1 Sistemas contínuos para o suporte do motor

O sistema do suporte do motor pode ser considerado um sistema contínuo, cujo as extremidades são simplesmente apoiadas (pinadas), onde a deflexão e o momento fletor são iguais a zero.

As equações de frequência, as formas modais e as frequências naturais encontradas são para as condições de contorno pinada-pinada, essas são mostradas na figura. 3.8.

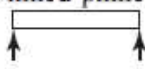
End Conditions of Beam	Frequency Equation	Mode Shape (Normal Function)	Value of $\beta_n l$
Pinned-pinned 	$\sin \beta_n l = 0$	$W_n(x) = C_n [\sin \beta_n x]$	$\beta_1 l = \pi$ $\beta_2 l = 2\pi$ $\beta_3 l = 3\pi$ $\beta_4 l = 4\pi$

Figura 3.8. Equações de frequência, formas modais e frequências naturais.

Fonte: Rao (2011).

Então foi calculado analiticamente a primeira frequência natural, que é a mais baixa, portanto a que chegaria mais próximo da do motor, assim como o primeiro modo de vibrar e sua frequência natural também foram achadas através de simulações utilizando o SolidWorks. Os parâmetros utilizados para estudo são dados na tabela 3.1.

Tabela 3.1. Parâmetros de estudo e simulação.

Fonte: Autor (2017).

Viga Utilizada	Condições de contorno	Malha
Área da seção transversal: 0,23 m ²	Pinada – Pinada	Tamanho global: 13.00256537mm
Comprimento: 0,26 m	$B_1 l = \pi$	Tolerância: 0.65012827mm
Material: Aço 1020		Pontos Jacobianos: 4

Os resultados da análise e simulação encontrados são apresentados na tabela 3.2 e na figura 3.9 respectivamente.

Tabela 3.2. Resultados do estudo de sistema contínuo.

Fonte: Autor (2017).

	Analítica	Simulação
Frequência natural (Hz)	336.9752	342.67

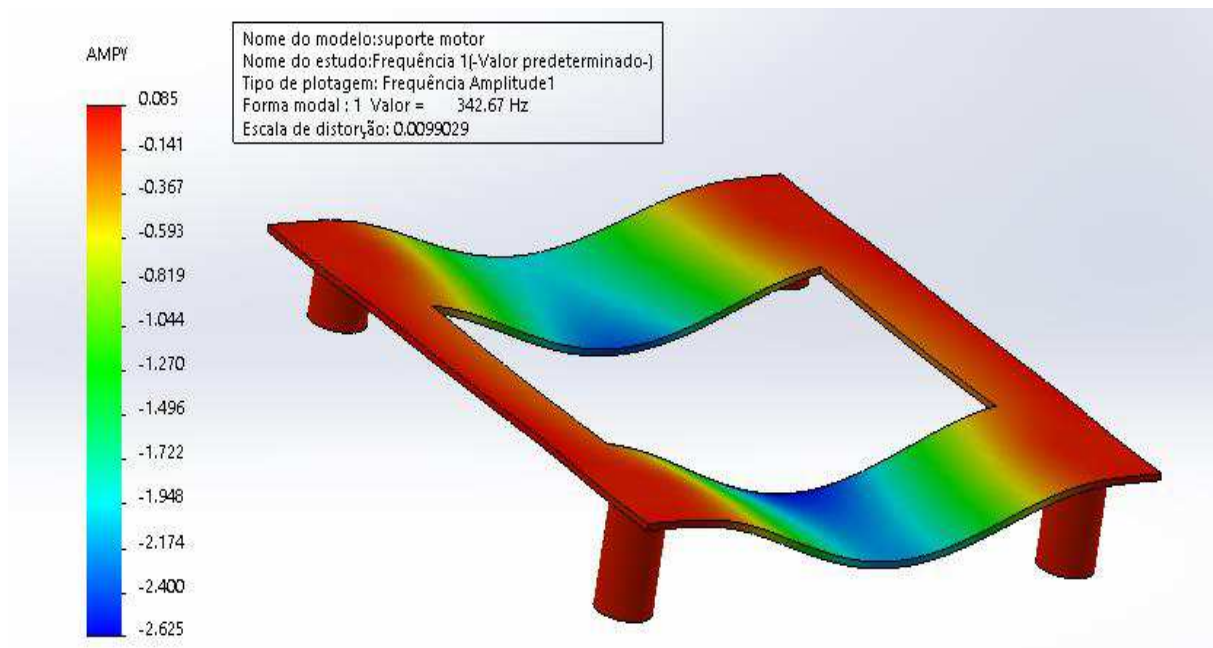


Figura 3.9. Primeiro modo de vibrar.

Fonte: Autor (2017).

4 PROJETO E MODELAGEM DA BANCADA DE TESTE

Neste capítulo, será descrito a melhor escolha para estrutura, dimensão e *design* para a confecção da banca de teste do sistema *powertrain* para um veículo Baja SAE.

4.1 Estrutura

A bancada de teste para o sistema *powertrain* foi projetada para ser semelhante a região traseira tubular do veículo no qual é acoplado o sistema (figura 4.1). A estrutura é tubular assim como no veículo que é confeccionado de aço SAE 1020 e fixado pelo processo de soldagem TIG.



Figura 4.1. Bancada de teste para sistema *powertrain*.

Fonte: Autor (2017).

4.2 Dimensionamento

A região traseira do veículo Vitasse conta com 0,60 metros de comprimento, 0,20 metros de largura e 0,50 metros de altura. Buscando uma validação mais próximo dos resultados reais que vão ser analisados na banca de teste, a mesma conta com 0,80 de comprimento, 0,21 metros de largura e 0,52 metros de altura. Estas são dimensões ideais para que possa comportar o motor Briggs & Stratton Intek™ OHV 10,0 HP, *continuously variable transmission* Comet 780 e a caixa de redução, sendo ainda semelhante a região traseira do veículo. Além disso, os componentes do sistema ficam de fácil acesso existindo uma área agradável para realizar o levantamento de dados com auxílio de sensores instalados na bancada, e ainda realizar reparos se necessário no sistema *powertrain*.

4.3 Instalação do sistema *powertrain* na bancada

O motor é instalado sobre duas chapas aço SAE 4130 no qual é fixado na bancada através de quatro parafusos M10 e porcas auto travantes. O motor é instalado em contato direto com a estrutura, assim como no veículo. O tanque do motor é instalado em uma região superior, para que tenha uma vazão suficiente no qual o combustível chegue ao carburador, e fora da área de acesso com os componentes para que o mesmo não atrapalhe na instalação dos componentes, no levantamento de dados ou no reparo do sistema.

A Comet 780 por sua vez acopla-se através da polia motora no eixo do motor Briggs & Stratton Intek™ OHV 10,0 HP (figura 4.2), assim como a polia movida que é acoplada no eixo de entrada da caixa de redução.



Figura 4.2. Eixo do motor Briggs & Stratton Intek™ OHV 10,0 HP.

Fonte: Autor (2015).

4.4 Modelagem

A partir dos pontos e dados estabelecidos anteriormente é realizado o desenho 3D na plataforma SolidWorks com dimensões baseadas tanto no veículo quanto nos componentes do sistema, como mostra a figura 4.3.

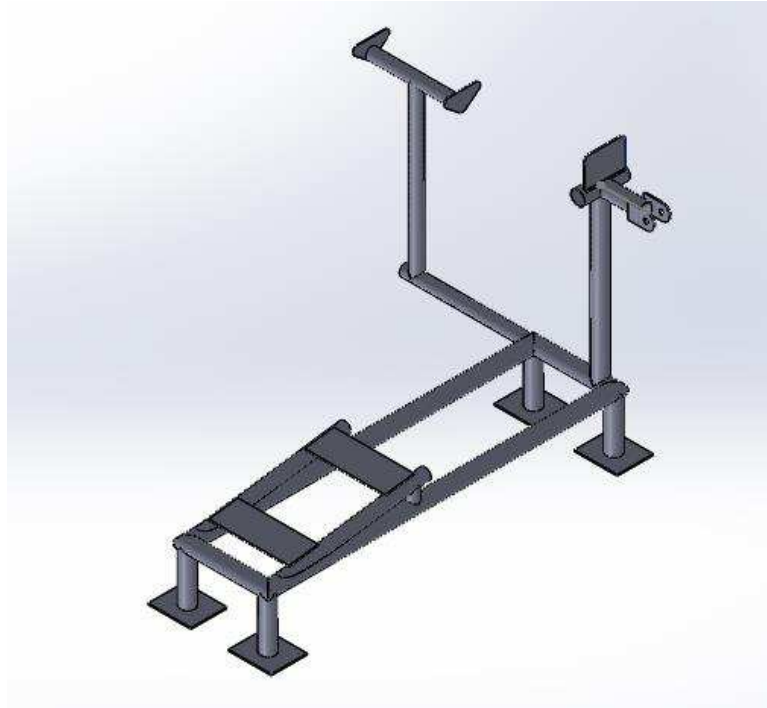


Figura 4.3. Bancada de teste para sistema *powertrain* - SolidWorks.

Fonte: Autor (2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Confeção da bancada de teste

A bancada de teste ficou como o esperado, similar ao suporte traseiro do veículo. A mesma constituída de tubos iguais ao utilizado no veículo, tubos de aço SAE 1020, com estrutura preparada para receber o motor, CVT e caixa de redução do veículo. Assim, há espaço e mobilidade para a instalação de sensores e outros aparatos necessários para a pesquisa, como mostrado na figura 5.1.



Figura 5.1. Bancada de teste e o veículo Vitasse.

Fonte: Autor (2018).

5.2 Resultados de velocidade e rotação

O projeto do veículo baja SAE da equipe Bumba Meu baja foi projetado para atingir a velocidade máxima a 56 km/h quando atingir a rotação máxima do motor Briggs & Stratton Intek™ OHV 10,0 HP que segundo o fabricante é de 3800 RPM.

A tabela 5.1 mostra os resultados obtidos de 0 a 13 segundos em uma passagem única, com a rotação do motor e a velocidade final correspondente. Estes dados são essenciais para a análise e possível identificação de problemas e correções do mesmo.

Tabela 5.1. Resultados de rotação e velocidade de 0 a 13 segundos.

Fonte: Autor (2017).

Tempo (s)	RPM Motor	RPM Veículo	Hz	Velocidade (km/h)
1	660	92,94	11	9,32
2	660	92,94	11	9,32
3	840	118,28	14	11,86
4	1260	177,80	21	17,80
5	1740	245,02	29	24,57
6	2220	312,61	37	31,35
7	2580	363,30	43	36,43
8	2880	405,55	48	40,67
9	3060	430,90	51	43,66
10	3330	447,80	53	44,90
11	3600	506,94	60	50,83
12	3600	506,94	60	50,83
13	3600	506,94	60	50,83

Assim, percebe-se que em 10 segundos o valor da velocidade máxima é atingido no qual a mesma é de 50,83 km/h a 3600 RPM. Um resultado abaixo do esperado já que o mesmo foi projetado para atingir 56 km/h. logo, a partir do levantamento de dados também pode-se constatar que o motor não estava trabalhando em sua rotação máxima pois o mesmo era para atingir 3800 RPM.

5.3 Resultados de vibração

O teste de vibrações foi realizado para validar o suporte do motor, pois caso a frequência natural do suporte fosse a mesma, ou estivesse muito próxima da do motor (frequência induzida) o suporte passaria por falhas estruturais e mecânicas, nesse caso usara-se os resultados obtidos nas medições feitas diretamente no motor, os resultados são mostrados na figura 5.2.

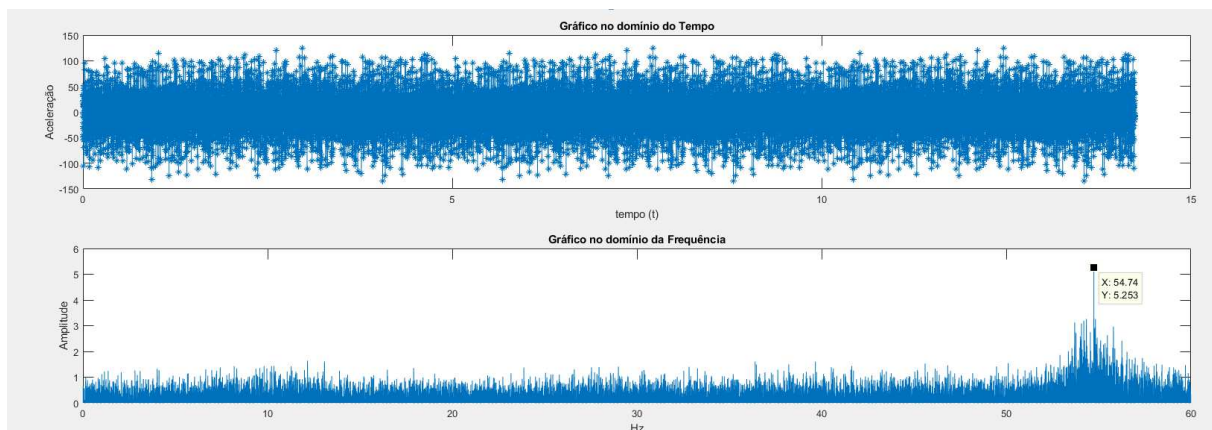


Figura 5.2. Dados obtidos com o acelerômetro acoplado diretamente no motor.

Fonte: Autor (2018).

A energia mostrada concentrada ao redor da frequência de maior amplitude de aceleração é a utilizada para o estudo, pois a resposta no domínio da frequência mostra uma frequência discreta ao redor de onde a energia está concentrada. Tendo em vista que as características dinâmicas do componente de estudo são conhecidas, pode-se relacionar essa frequência ao componente específico. Neste caso a frequência de maior amplitude é a de 54,74 Hz.

6 CONCLUSÕES

Verificou-se com os resultados a validação do projeto do sistema *powertrain*, tendo, portanto, a necessidade de melhorias nos parâmetros de velocidade, rotação e vibração.

6.1 Correção da velocidade e rotação

A partir dos dados levantados com auxílio do sensor indutivo pode-se perceber que a velocidade alcançada no teste foi de aproximadamente 51 km/h. Porém, no projeto a velocidade máxima é de 56 km/h quando o motor estiver em sua rotação máxima segundo o fabricante que é de 3800 RPM. O valor da velocidade máxima obtido no teste foi a 3600 RPM. Ou seja, o motor ainda não estava em sua rotação máxima. Isto se deve pelo mecanismo do governador que é constituído por uma mola, como mostrado na figura 6.1, para limitar e estabelecer a rotação máxima do motor. Esta mola do governador necessita de substituição para que o motor chegue a sua rotação máxima.



Figura 6.1. Mola do governador.

Fonte: eBay (2018).

6.2 Correção da vibração

No resultado com o acelerômetro presente no motor mesmo não apresentando ressonância, que seria o pior caso para o projeto, ou desconforto intenso ainda assim, pode-se utilizar um material resiliente, isto é, um material que possui maior capacidade de receber energia com maior dificuldade de ruptura, entre a fonte de vibração (motor) e o suporte. Como na maioria dos veículos, como mostra a figura 6.2, que utilizam de coxins para isolar a vibração.



Figura 6.2. Coxim do motor.

Fonte: Canal da Peça (2018).

6.3 Sugestões para futuros trabalhos

Como sugestão para futuros trabalhos tem-se a necessidade das correções dos parâmetros com as possíveis soluções mencionado anteriormente no trabalho, realizar os levantamentos de dados novamente para certificar se houve melhoramento nos parâmetros analisados e verificar se ainda há a necessidade de reparos.

Referências

ACELERA AI. **BRAZUKAS DE BAJA NOS EUA.** Disponível em: <www.acerai.com.br/2017/05/brazukas-de-baja-nos-eua/>. Acesso em: 11 jun. 2018.

ARGOLO, Ingrid, **Sensores e Aquisição de dados.** 9f. Artigo – Universidade Salvador, Bahia.

BRIGGS & STRATTON CORPORATION. **Manual do Operador.** Milwaukee: 2011.

BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna.** Vol. 1. São Paulo, SP: Blucher, 2012. p.34-42. ISBN 9788521207085

CANAL DA PEÇA. **COXIM DO MOTOR - MOBENSANI - MB 115 - UNITÁRIO.** Disponível em: <www.canaldapeca.com.br/p/1034548/coxim-do-motor-mobensani-mb-115-unitario>. Acesso em: 11 jun. 2018.

CITISYSTEMS. **SENSOR: VOCÊ SABE O QUE É QUAIS OS TIPOS?** Disponível em: <www.citisystems.com.br/sensor-voce-sabe-que-quais-tipos/>. Acesso em: 11 jun. 2018.

COMET INDUSTRIES. **Manual Model 780 Automatic Torque Converter.** California: 1999.

DI SOUZA, Ronilson. **CÉLULA FOTOVOLTAICA – O GUIA TÉCNICO ABSOLUTAMENTE COMPLETO.** Disponível em: <www.blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>. Acesso em: 11 jun. 2018.

EBAY. **GENUINE BRIGGS & STRATTON 691297 GOVERNOR PRIMAVERA.** Disponível em: <https://www.ebay.com/sch/Parts-Accessories/82248/i.html?_ul=BR&Type=Spring&_mPrRngCbx=1&_dcat=82248&Brand=Briggs%2520%2526%2520Stratton&_sop=10&_pgn=3&_skc=100&_fosrp=1>. Acesso em: 11 jun. 2018.

ELETROGATE. **MÓDULO ACELERÔMETRO DE 3 EIXOS - MMA7361.** Disponível em: <www.eletrogate.com/modulo-acelerometro-de-3-eixos-mma7361>. Acesso em: 11 jun. 2018.

FILIFELOP. **O QUE É ARDUINO?** Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

FLEXQUEST. **O QUE SÃO SENSORES?** Disponível em: <www.flexquest.ufrpe.br/projeto/2525/caso/2526/minicaso/2529>. Acesso em: 11 jun. 2018.

FRITZENLAB. **SENSOR DE PRESENÇA PIROELÉTRICO – PIR MOTION SENSOR.** Disponível em: <<https://fritzenlab.com.br/2016/01/sensor-de-presenca-piroeletrico-pir-motion-sensor/>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

HA-KO GROUP. **RACING ENGINES.** Disponível em: <<http://www.petrolengines.in/racing-engines-1450-series.php>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

JNG. **SENSOR INDUTIVO LM.** Disponível em: <www.jng.com.br/produtos-detalhes.asp?idprod=110>. Acesso em: 11 jun. 2018.

MAZZAROPPI, Marcelo. **Sensores de Movimento e Presença.** 2007. 6f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MELCONIAN, SARKIS. **Elementos de Máquinas.** São Paulo: Érica, 2003. 27p.

OMEGA GLOBAL. **ACCELERÔMETROS.** Disponível em: <www.br.omega.com/prodinfo/acelerometros.html>. Acesso em: 11 jun. 2018.

PEREIRA, Marcio. **Projeto de uma Caixa de Redução Fixa para um Veículo Mini Baja SAE da Equipe Bumba Meu Baja.** 2016. 73f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís.

RAO, SINGIRESU. **Vibrações Mecânicas.** São Paulo: Renata, 2011. 272p.

SAE BRASIL. **BAJA SAE BRASIL.** Disponível em: <www.portal.saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil>. Acesso em: 11 jun. 2018.

SHIGLEY, JOSEPH E., MISCHKE, C. R. E BUDYNAS, R. G., **Projeto de Engenharia Mecânica,** Porto Alegre: Bookman, 2005.

SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. **SICK SENSORES.** Disponível em: <http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/eletricidade-e-eletronica/elemag/produtos/automacao_industrial/sick-sensores>. Acesso em: 11 jun. 2018.

TECMUNDO. **O QUE É UM ACELERÔMETRO?** Disponível em: <www.tecmundo.com.br/curiosidade/2652-o-que-e-um-acelerometro-.htm>. Acesso em: 11 jun. 2018.

WEG S.A. **Automação Sensores & Fontes**. São Paulo: 2014.

WENDLING, Marcelo. **Sensores**. 2010. 19f. Apostila – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2010.