



CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

DIMENSIONAMENTO DE UMA TRANSMISSÃO PARA UM VEÍCULO BAJA SAE

Keyll Carlos Ribeiro Martins, kmartins@ifma.edu.br¹
Dalmir dos Santos Matos, dalmir.matos.s@gmail.com¹
Renato Conde dos Santos, renato-c.s@hotmail.com¹
André Carlos dos Santos Cantanhede, andrecarlos_cantanhede@hotmail.com¹
Bruno de Alencar Carneiro, brunoalnk@hotmail.com¹
Rômulo Diêgo Marinho Siqueira, romulodiegoms@hotmail.com¹
Ricardo Medeiros Rodrigues, ricardo.medeiros@engmecanico.com¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Av. Getúlio Vargas, 4 - Monte Castelo, São Luís - MA, 65030-005, Brasil.

Resumo: O Presente trabalho descreve as etapas e métodos adotados para a seleção, projeto e dimensionamento do sistema de transmissão a ser adotado pela equipe “Bajah Roots” na competição nacional Baja SAE Brasil.

Palavras-chave: Projeto, Transmissão, Baja, Dimensionamento.

1. INTRODUÇÃO

A competição Baja SAE foi criada nos Estados Unidos em 1976 passando a ser realizada no Brasil em 1995 e desde então cada vez é disseminada principalmente entre os estudantes de engenharia como uma importante atividade extracurricular. O projeto Baja é uma competição entre instituições de ensino superior com estudantes de graduação em engenharia. A competição simula uma situação real de desenvolvimento de um projeto para um fabricante fictício, trabalhando para projetar, construir, testar, promover, competir e obter suporte financeiro.

Durante a competição os veículos tipo BAJA SAE, são expostos há diversos testes em condições adversas que avaliam as capacidades extremas dos protótipos como a segurança, tração e a integridade dos sistemas que compõe o veículo. Incentivando estudos relacionados ao mundo automobilístico, os alunos de engenharia criam conceito e/ou soluções que aliam desempenho e custo para construção do protótipo e seus subsistemas.

Como de praxe, no desenvolvimento dos projetos de engenharia estudos e decisões são importantes para a criação do veículo, para a fundamental escolha de materiais e modelos que garantem a eficiência do mesmo durante toda a competição.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo caracterizar a resposta dinâmica de uma redução fixa. Assim, será incluída a modelagem deste sistema de transmissão para se conhecer o comportamento dinâmico desta redução. Outro objetivo é determinar a geometria de funcionamento. Com os estudos dos projetos e cálculos que foram utilizados e realizados, a visualização dos desenhos feitos através de softwares. A partir desta modelagem, poder-se-á fazer uma simulação, através sistemas computacionais, analisando esforços nos componentes, aperfeiçoar o processar fixação e desmontagem de todo conjunto motor-transmissão e por fim estimar o desempenho deste veículo equipado com esse modelo de transmissão (CVT combinado ao conjunto de transmissão fixa) e eventualmente utilizar tal programa para determinar valores como velocidade, aceleração e deslocamento. Desta forma, futuramente, poder-se-á aperfeiçoar a eficiência desta transmissão, a redução dos custos de produção e o aproveitamento de combustível do veículo.

3. DESENVOLVIMENTO

Uma transmissão é um dispositivo que é usado para fornecer um jogo de saídas discretas de velocidade angular de uma fonte de velocidade, cujo objetivo é permitir que o motor permaneça em seu regime de máximo torque, ou potência em certas circunstâncias, durante o maior intervalo de tempo possível. A necessidade de uma relação de transmissão específica visa atender a demanda instantânea de potência de uma carga com condições particulares de torque e rotação.

As transmissões são elementos intermediários entre a fonte de potência e a carga. Normalmente a relação de transmissão pode ser fixa (escalonada) ou variada de forma contínua.

3.1. Premissas do Projeto

Todos os projetos estão sujeitos a premissas que limitam o alcance deste em determinadas situações, para o presente trabalho o principal componente do sistema de transmissão é sem dúvidas o motor que neste caso é determinado pelas normas da competição como sendo um motor do tipo Briggs&Stratton, 4 tempos, monocilíndrico, com potência de 10HP série 20 código 205432, 205437, 205332 ou 20S232, refrigerado a ar que deverá manter as características originais de fabricação, não aceitando portando mudanças na sua estrutura ou modificações que possam alterar seu desempenho, porem, ajustes poderão ser realizados afim de se obter o melhor rendimento do mesmo. Na Figura 1 temos as curvas de desempenho do motor de na Figura 2 o motor em questão.

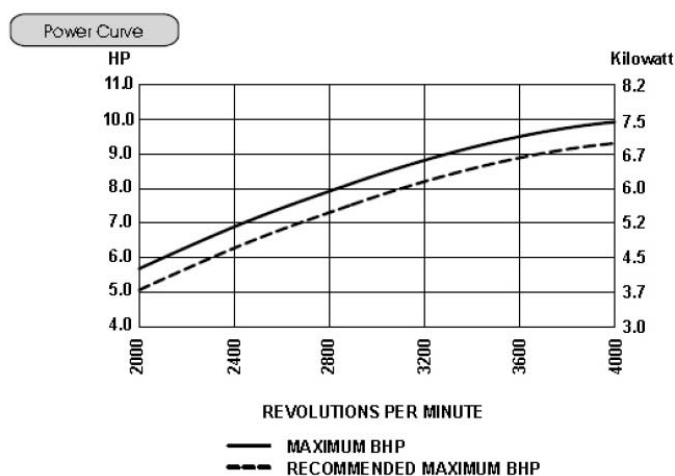


Figura 1. Curva de potência do motor Briggs & Stratton 10HP (BRIGGS & STRATTON, 1999).



Figura 2. Motor Briggs&Stratton 10HP (BRIGGS & STRATTON, 1999).

3.2. Seleção do Tipo de Transmissão a ser Projetado

O sistema de transmissão para o veículo off-Road proposto estará sujeito a bruscas variações de carga e deverá apresentar boas características de resistência, assim como de manutenibilidade. Na Tabela 1 é possível temos a lista de requisitos que o sistema projetado deverá cumprir.

Tabela 1. Requisitos objetivados com o projeto do sistema de transmissão.

Requisitos		Objetivos
1	Fácil de Projetar	Diminuição do tempo de projeto
2	Ocupar Pouco Espaço	Redução das dimensões do veículo
3	Ser Leve	Economia de material e combustível
4	Barato de Fabricar	Redução dos custos de fabricação
5	Facilidade de Manutenção	Redução de Tempo de manutenção
6	Barato de Manuténir	Diminuição dos custos de manutenção

Para se realizar uma melhor análise e seleção do tipo de sistema de transmissão a ser adotado foi realizado uma análise por pontuação de 3 (três) sistemas distintos de transmissão que poderiam ser utilizados como base de projeto. A Tabela 2 mostra a pontuação de cada sistema.

Tabela 2. Seleção do tipo de transmissão por pontuação.

Tipo de Transmissão	Tempo de		Custo de		Eficiência	Espaço Ocupado	Manutenção	Nota Final
	Projeto	Fabricação	Material	Fabricação				
Polias e Correia	5	6	6	6	4	2	3	32
Redutor de Engrenagens	1	1	2	1	9	8	8	30
Corrente, Coroa e Pinhão	8	8	8	8	2	3	4	41

Para a análise em questão utilizamos os critérios já definidos como requisitos para o projeto, assim, adotamos as seguintes pontuações para classificar cada tipo de sistema Tab. 3.

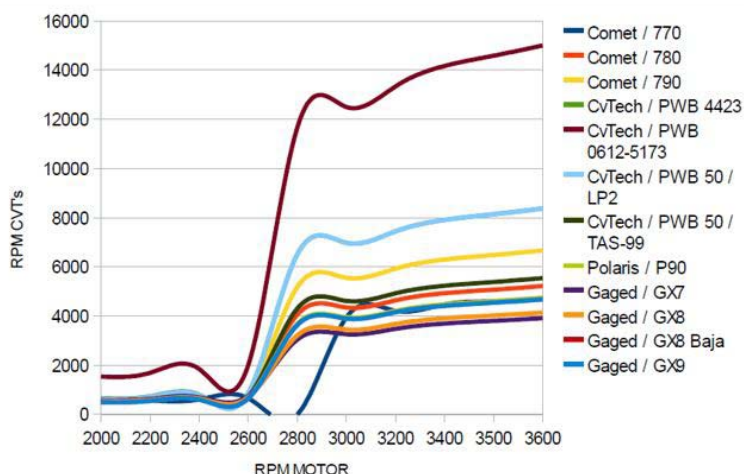
Tabela 3. Método de pontuação.

Ruim	Bom	Ótimo
1-3	4-7	8-10

A partir desta análise optamos por projetar um sistema de transmissão baseado no sistema composto por coroa, corrente e pinhão.

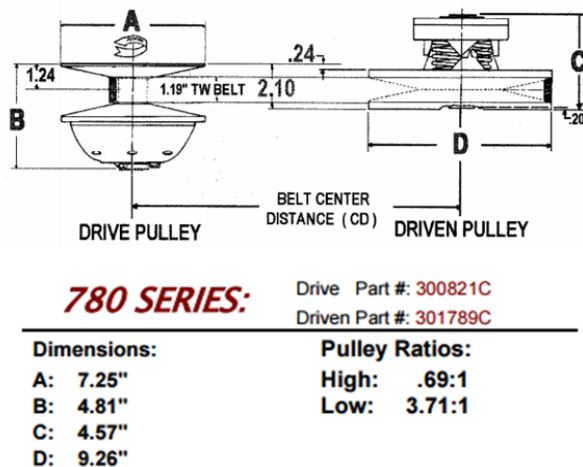
3.3. Seleção do Acoplamento entre Motor e Transmissão

Para ligação do sistema de transmissão com o motor há necessidade da aplicação de um sistema de acoplamento CVT, sendo este um dispositivo, muito usado em veículos, que permite a variação de rotação automática do sistema, permitindo um grande alcance de efetividade na rotação do sistema de transmissão, diferentemente das caixas de transmissão fixa. Esta versatilidade se dá através de um sistema de polias e correias, no qual as polias variam de diâmetro de acordo com a rotação do motor. Na Figura 5 temos os gráficos de relação de transmissão em função da rotação para vários modelos de transmissão CVT disponíveis no mercado.

Figura 3. Relação de velocidades entre o motor Briggs & Stratton 10HP e diferentes modelos de CVT.

Para o projeto em questão foi selecionado o modelo Comet 780 tendo em vista que este cumpre todos os parâmetros desejados, apresentando uma boa vida útil, boa relação de transmissão e facilidade de aquisição, esta por ultima impactando diretamente no tempo de desenvolvimento do projeto.

Figura 4. Dimensões gerais do CVT modelo Comet 780.



3.4. Dimensionamento da Transmissão

Após a escolha do tipo de transmissão a ser projetado e do sistema de acoplamento a ser empregado pode-se determinar os demais componentes do sistema de transmissão. Nesta etapa do projeto há a necessidade de uma série de informações relacionadas as variações de torque no sistema que todavia não se dispõe, assim optamos por dimensionar o sistema a partir da ótica da velocidade final do veículo, que em média deverá alcançar 60km/h como velocidade final adotando rodas com 21" de diâmetro externo. Optando por este tipo de abordagem diminuimos consideravelmente o numero de variáveis a serem analisadas e consequentemente o numero de interações a serem feitas. Na Tabela 4 temos já calculadas as relações de transmissão para que o motor a 3800rpm possibilite o veículo alcançar 60 km/h sob estas condições.

Tabela 4. Relações de transmissão para o sistema

Máxima CVT	.69/1
Mínima CVT	3.71/1
Transmissão Fixa	0.100-0.125

Temos então que selecionar uma relação de transmissão entre 0.100 e 0.125, ou seja, com relações entre 1:10 e 1:8. Devido aos limites técnicos do uso de 1 (um) único "Kit de transmissão" optamos por utilizar 2 (dois) "Kit's de transmissão" idênticos em série, assim, temos a seguinte relação.

B - Relação de transmissão final

A - Relação do "Kit de transmissão"

$$A^2 = B$$

$$A = \sqrt{B}$$

Assim, temos que selecionar um “Kit de transmissão” que apresente uma relação ente 1:2,82 e 1 : 3,16. Partimos agora para a seleção de elementos comerciais existentes no mercado local, preferencialmente na busca de “Kit’s” comerciais que possam ser adquiridos de forma barata e rápida, em conformidade com os requisitos do projeto.

Temos as seguintes relações disponíveis comercialmente Tab. 5.

Tabela 5. Relações de transmissão disponíveis.

Pinhão	Relação													
18	1,94	2	2,06	2,11	2,17	2,22	2,28	2,33	2,39	2,44	2,5	2,56	2,61	2,67
17	2,06	2,12	2,18	2,24	2,29	2,35	2,41	2,47	2,53	2,59	2,65	2,71	2,76	2,82
16	2,19	2,25	2,31	2,38	2,44	2,50	2,56	2,63	2,69	2,75	2,81	2,88	2,94	3,00
15	2,33	2,40	2,47	2,53	2,60	2,67	2,73	2,80	2,97	2,93	3,00	3,07	3,13	3,20
14	2,50	2,57	2,64	2,71	2,79	2,86	2,93	3,00	3,07	3,14	3,21	3,29	3,36	3,43
Coroa	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48

Partindo das relações comerciais existentes selecionamos as coroas com $Z=50$ e os pinhões com $Z=17$, assim obtemos as seguintes relações de transmissão na Tab. 6:

Tabela 6. Relações de transmissão obtidas.

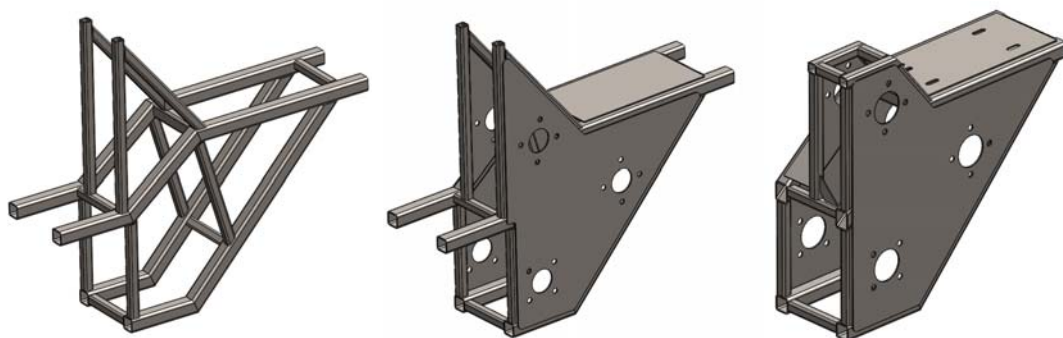
Relação de Transmissão do “Kit”	1 : 2,94
Relação de Transmissão Total	1: 8,95

3.5. Desenho do Conjunto de Transmissão

Partindo do conjunto selecionado, faremos a análise das limitações dos componentes baseados em normas e recomendações técnicas para a seleção da melhor disposição dos conjuntos de transmissão. Nesta etapa, se faz de grande importância uma série de interações para que possamos encontrar a melhor alocação de cada componente.

Também chegamos à conclusão que deveríamos utilizar um “Bloco” a parte para a montagem do conjunto, limitando-se a este todas as regulagens e alinhamentos, facilitando assim a fabricação, montagem e manutenção do conjunto. Na Figura 4 temos uma vista da evolução do desenho do “Bloco” do sistema de transmissão.

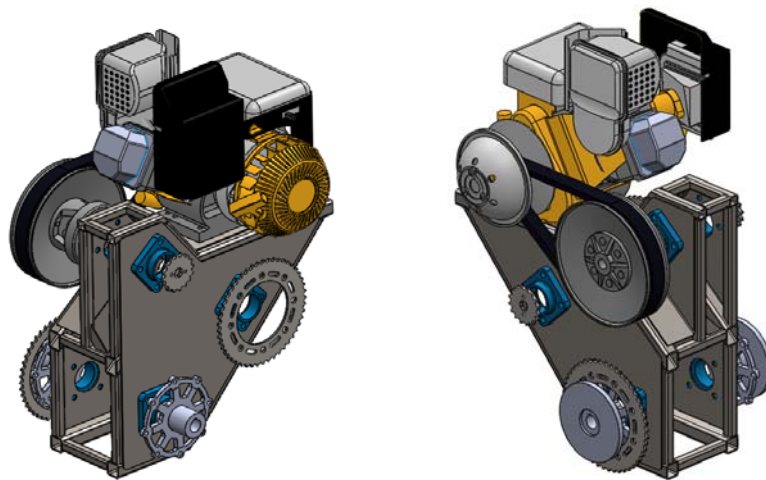
Figura 4. Evolução do desenho do Bloco de transmissão.



Nesta etapa o auxílio de um software de desenho 3D se faz de grande importância, tendo em vista as infinitas possibilidades de disposição dos elementos que constituem o conjunto, evitando-se também possíveis interferências entre os elementos. Para esta fase de projeto também se faz necessário à aquisição de blocos de projeto de cada elemento de produção seriada, como motor, mancais, CVT, rolamentos, etc...

A seguir na Figura 5 temos a oportunidade de visualizar a montagem do conjunto.

Figura 5. Vistas prévias do sistema de transmissão montado junto ao Bloco, motor e CVT.



3.6. Dimensionamento dos Demais Componentes

Após a determinação da transmissão fixa e da disposição física dos componentes partimos para calcular o próximo elemento de máquina onde irá ser acoplados o CVT e os mancais para as coroas e pinhões, os eixos. Em nossa caixa de transmissão serão utilizados três eixos, o eixo primário que suportará a saída do CVT e o primeiro pinhão, o eixo intermediário que suportará a primeira coroa e o segundo pinhão, e o eixo da roda que ficará com a segunda coroa e o disco de freio.

O método para o cálculo do diâmetro dos três eixos serão iguais utilizando a fórmula abaixo:

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{\sigma_{lim}} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{\sigma_{ult}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Onde:

d - diâmetro do eixo

n - fator de segurança

σ_{lim} - tensão de escoamento do material

σ_{ult} - tensão de ruptura do material

K_f - concentrador de tensões

K_{fs} - concentrador de tensões angular

M_a - Momento fletor alternado na área crítica

T_a - Torque alternado

M_m - Momento fletor na área crítica

T_m - Torque

Durante o calculo foram feitas várias suposições, a primeiras delas foi desprezar o momento fletor alternado e o torque alternado por estas forças serem difíceis de ser detectadas. Em seguida foram feitas as simulações de distribuição de rotação, torque e força através do princípio de conservação de energia nos pinhões e coroas para identificarmos o momento no qual os eixos sofreram o maior torque, e foi encontrado que este se encontra quando o motor atingir 2500RPM. Em seguida, foi determinada a geometria dos eixos e o material a ser utilizado, então por ser utilizados mancais, chavetas, ranhuras e parafusos foram encontrados os concentradores de tensão (K), no qual através de uma pesquisa rápida determinamos que esta concentração terá um valor de 3,5 e o material utilizado será o aço SAE 1045. Por fim bastava encontrar o momento fletor na seção crítica em cada eixo utilizando o diagrama de corpo livre.

Então utilizando um fator de segurança de dois e substituindo os valores encontrados na equação temos que o diâmetro para o eixo primário terá 33,5 milímetros, para o eixo intermediário será 33,7 milímetros e o eixo da roda será de 46,9 milímetros.

4. RESULTADOS

A partir da seleção e dimensionamento dos componentes e das interações realizadas, chegamos a uma análise da velocidade do veículo em função da rotação do motor e da relação variável do sistema de CVT selecionado, Tab. 7. Esta análise nos permite verificar a velocidade final do conjunto no range de operação do motor entre 2000rpm e 3800rpm e

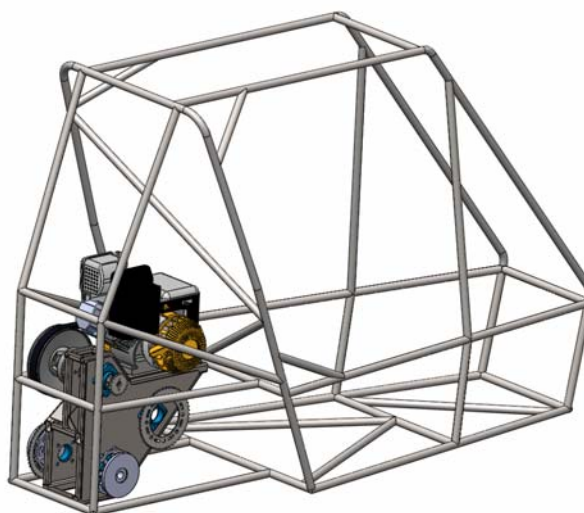
com as relações de CVT para cada ponto da rotação, nesta análise desconsideramos as perdas de velocidade entre o sistema CVT e motor e das rodas com o solo.

Tabela 6. Analise da expectativa de velocidades a serem desenvolvidas pelo veículo.

Motor (rpm)	CVT (rpm)	Relação (CVT)	Redução (Fixa)	Rodas (RPM)	Vel. (km/h)
2000	600	3,33	0,1019	61	6,14
2100	600	3,50	0,1019	61	6,14
2200	600	3,67	0,1019	61	6,14
2300	600	3,83	0,1019	61	6,14
2400	600	4,00	0,1019	61	6,14
2500	500	5,00	0,1019	51	5,12
2600	1000	2,60	0,1019	102	10,24
2700	2000	1,35	0,1019	204	20,47
2800	4000	0,70	0,1019	407	40,94
2900	4500	0,64	0,1019	458	46,06
3000	4500	0,67	0,1019	458	46,06
3100	4500	0,69	0,1019	458	46,06
3200	4800	0,67	0,1019	489	49,13
3300	4900	0,67	0,1019	499	50,16
3400	5000	0,68	0,1019	509	51,18
3500	5100	0,69	0,1019	519	52,20
3600	5200	0,69	0,1019	530	53,23
3700	5300	0,70	0,1019	540	54,25
3800	5400	0,70	0,1019	550	55,27

Também podemos obter a geometria final do sistema de transmissão Fig. (6) e sua disposição no *chassis* do veículo, assim podemos obter os pontos de fixação para a *Bloco* que suporta todo o conjunto de transmissão.

Figura 6. Montagem do sistema de transmissão junto ao chassis.



5. CONCLUSÕES

A partir da seleção e conclusões dimensionamento dos componentes e das interações realizadas, chegamos a uma análise da velocidade do veículo em função da rotação do motor e da relação variável do sistema de CVT selecionado, Tab. 7. Esta análise nos permite verificar a velocidade final do conjunto no range de operação do motor entre 2000rpm e 3800rpm e com as relações de CVT para cada ponto da rotação, nesta análise desconsideramos as perdas de velocidade entre o sistema CVT e motor e das rodas com o solo. Ressaltamos que um grande acervo de informações relativos a projetos do tipo se fazem indispensáveis e que estes facilitam o desenvolvimento de novos projetos, também se mostra indispensável o modelo físico (*protótipo*) para que se possa avaliar na prática as interações existentes no sistema. O projeto em questão ainda segue em fase de desenvolvimento.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao professor Dr. Keyll Carlos Ribeiro Martins pelo apoio ao projeto desenvolvido, assim como o auxílio e instruções prestadas durante o período de projeto deste sistema, além da disponibilização do Laboratório de Motores a Combustão Interna para o desenvolvimento do mesmo. Agradecemos também ao Departamento de Mecânica e Materiais – DMM do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão pelo apoio.

7. REFERÊNCIAS

Norton, Robert L. Projeto de máquinas [recurso eletrônico] : Uma abordagem integrada / Robert L. Norton– 4. ed. – Porto Alegre : Bookman, 2013.
Jvinall, Robert C. Fundamentos do projeto de componentes de máquinas I Robert C. Jvinall, Kart M. Marshek; tradução e revisão técnica Fernando Ribeiro da Silva.- [Reimpr.]. -Rio de Janeiro : LTC, 2013.
SAE International ; Manual Design Gearbox; Butterworth-Heinemann Ltd, 1992.
Projeto de engenharia mecânica / Joseph E., Shigley, Charles R. Mischke, Richard G. Budynas : tradução João Batista de Aguiar, Jose' Manoel de Aguiar. - 7. ed. - Porto Alegre : Bookman, 2005.
Sousa, Harlan Ellison Araújo de. Projeto de uma caixa de redução fixa para veículo mini baja do IFPB / Harlan Ellison Araújo de Sousa. –João Pessoa: IFPB, 2011.

8. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DESIGN OF A TRANSMISSION FOR A VEHICLE BAJA SAE

Dalmir dos Santos Matos, dalmir.matos.s@gmail.com¹

Renato Conde dos Santos, renato-c.s@hotmail.com¹

André Carlos dos Santos Cantanhede, andreCarlos_cantanhede@hotmail.com¹

Bruno de Alencar Carneiro, brunoalnk@hotmail.com¹

Rômulo Diêgo Marinho Siqueira, romulodiegoms@hotmail.com¹

Ricardo Medeiros Rodrigues, ricardo.medeiros@engmecanico.com¹

¹Federal Institute of Education, Science and Technology of Maranhão, Av. Getúlio Vargas, 4 - Monte Castelo, São Luís - MA, 65030-005, Brazil.

Abstract. *The present work describes the steps and methods adopted for the selection, design and dimensioning of the transmission system be adopted by the team "Bajah Roots" in the national competition Baja SAE Brazil.*

Keywords: *Design, Transmission, Baja, Dimensioning.*