



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
CURSO ENGENHARIA MECÂNICA

RUTHENIO SEVERO DE MEDEIROS

**ANÁLISE DE TRANSMISSÃO 4X4 APLICADA EM UM MODELO 4X2 BAJA
SAE**

CARAÚBAS-RN

2018

RUTHENIO SEVERO DE MEDEIROS

**ANÁLISE DE TRANSMISSÃO 4X4 APLICADA EM UM MODELO 4X2 BAJA
SAE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA), como exigência final para
obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Me. Andersson Guimarães
Oliveira - UFERSA

CARAÚBAS-RN

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M488a Medeiros, Ruthenio Severo de.
Análise de transmissão 4x4 aplicada em um
modelo 4x2 Baja SAE / Ruthenio Severo de
Medeiros. - 2018.
38 f. : il.

Orientador: Andersson Guimarães Oliveira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2018.

1. Transmissão 4x4. 2. Caixa de Redução. 3.
Tração. 4. Velocidade. I. Guimarães Oliveira,
Andersson, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RUTHENIO SEVERO DE MEDEIROS

**ANÁLISE DE TRANSMISSÃO 4X4 APLICADA EM UM MODELO 4X2 BAJA
SAE**

Trabalho de conclusão do curso apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Caraúbas como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

APROVADA EM: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Andersson Guimarães Oliveira - UFERSA
Presidente

Prof. Me. Rafael Bezerra Azevedo Mendes - UFERSA
Primeiro Membro

Prof. Me. Carlos Cássio de Alcântara- UFERSA
Segundo Membro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família. Meus filhos Viviane, Vinicius e Renan que são presentes de Deus na minha vida. Souberam passar pela minha ausência todos os dias, meses e anos. “Se não bastava, todos os dias, a viagem de Mossoró até Caraúbas para assistir aula, o senhor ainda entra em um projeto que tem que viajar para outro estado e ficarem outros tantos dias fora de casa” – Palavras da minha filha. Chegou ao fim, agora terei mais tempo para me dedicar a vida de pai, acompanha-los e orientá-los de forma mais presente. Dedico a vocês este trabalho, fruto do meu esforço e dedicação, sempre pensando em dias melhores pra vocês.

Dedico também a minha esposa, Andrea Menezes Severo. Aliás dedico todas as minhas conquistas e vitórias. Dedico porque esta vitória também é vitória sua. Dedico porque foi você quem me levantou quando eu estava caído sem querer fazer uma graduação, você me motivou, procurou, correu atrás, me escreveu e deu certo. Dedico porque você me fortaleceu quando estive fraco e pensei em desistir. Dedico porque você foi forte, mesmo as vezes estando fraca, mas não deixava isso parecer. Dedico porque você além de mãe, foi o pai quando estive ausente. Enfim, dedico mais esta vitória a você porque Deus deu você pra mim como um anjo da guarda.

AGRADECIMENTO

Não poderia deixar de agradecer a Deus, Provedor da minha vida, de toda sabedoria, de todo entendimento, toda honra e toda glória seja dada ao seu nome. Sem a permissão de Deus, não poderia ter chegado até aqui.

Agradeço a minha esposa, por sempre ter me apoiado, me ajudado, me dado forças e palavras de ânimo nos momentos em que estive fraco e desanimado. Minha companheira nas madrugadas, mesmo que fosse só para fazer companhia, ela estava ali sempre ao meu lado.

Agradeço ao meu amigo e companheiro de Baja, Nilson Francisco da Silva, que de boa vontade me ajudou na execução desse trabalho.

Agradeço ao meu professor e orientador Andersson Oliveira, que com muita competência soube me transmitir todo seu conhecimento necessário e soube me conduzir de forma inteligente durante este trabalho.

Agradeço aos meus pais e ao meu irmão, por terem me apoiado e me ajudado durante todo esse período.

Agradeço aos meus professores, mestres e doutores, que horaram o seu compromisso de passar o conhecimento necessário com tanta dedicação.

Agradeço a equipe, Caraubaja SAE. Por três anos na minha vida acadêmica, estive presente neste projeto. Foram dias de muitas lutas, estudos e trabalho, mas também foram dias de glória. Aprendi muito, em todos os aspectos. Enriqueci meus conhecimentos acadêmicos colocando em prática os ensinamentos recebidos em sala de aula. Aprendi o que em 19 anos de vida profissional na área de mecânica, nunca vi. Aprendi que o importante não é ser o melhor, e sim dividir os conhecimentos com seus colegas, o importante não é competir e sim se unir para juntos caminharmos em um só propósito. Por fim, aprendi que uma vez bajeiro, bajeiro para sempre! Obrigado família Caraubaja, sentirei saudades!!

RESUMO

Uma caixa de transmissão se faz necessária em um veículo Baja devido ao objetivo das competições organizadas pela SAE, nas quais os protótipos devem passar por diferentes obstáculos. Um sistema de transmissão tem como principal objetivo a ampliação do torque para o eixo de tração do veículo, quando comparado àquele disponível no eixo de saída do motor. O objetivo deste trabalho é descrever o projeto de um conjunto de transmissão 4x4 para ser aplicado na equipe Caraubaja SAE da UFERSA, Campus Caraúbas. Para a realização do projeto foi utilizado um fluxograma, o qual inclui desde a parte teórica, como definição do problema para as equipes até a definição de concepção do projeto. As equipes participantes das competições Baja SAE buscam por um bom desempenho nas provas de tração e velocidade, isto tem sido um desafio, encontrar uma curva ideal para atender esses quesitos. Tem motivados as equipes a realizar e a idealizar diversos tipos de projetos, alguns até ousados, ficando ao critério dos juízes uma maior atenção e deixando a dúvida da verdadeira viabilidade do projeto. Neste trabalho, o projeto de transmissão 4x4 viabilizará os quesitos tração e velocidade com apenas uma relação da caixa de redução.

Palavras-chave: Transmissão 4x4. Caixa de redução. Tração. Velocidade

ABSTRACT

A transmission box is needed in a Baja vehicle due to the objective of the competitions organized by the SAE, in which the prototypes must undergo different obstacles. A main purpose of a transmission system is to increase the torque for the vehicle's drive axle when compared to that available on the output shaft of the engine. The objective of this work is to describe the design of a 4x4 transmission set to be applied in the Carabaja SAE team of UFERSA, Carabás Campus. For the realization of the project a flow chart was used, which includes from the theoretical part, as definition of the problem for the teams until the definition of design of the project. The search for teams in the Baja SAE competitions for a good score in the traction and speed races has been a challenge. Finding an ideal curve to meet these requirements, has motivated the teams to carry out and idealize several types of projects, some even daring, being at the discretion of the judges a greater attention and leaving the doubt of the true viability of the project. In this work, the 4x4 transmission project will enable the traction and speed requirements with only one reduction gear ratio.

Keywords: 4x4 transmission. Reduction box. Traction. Velocity

”Tudo quanto te vier à mão para fazer, faze-o conforme as tuas forças, porque na sepultura, para onde tu vais, não há obra nem projecto, nem conhecimento, nem sabedoria alguma”.

(Eclesiastes 9:10)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma de transmissão para veículo aéreos, marítimos e terrestres.....	16
Figura 2- Componentes da transmissão veicular	17
Figura 3- Ilustração do conceito de transmissão 4x2	18
Figura 4- Ilustração do conceito de transmissão 4x4	19
Figura 5- Componentes do eixo cardan.....	20
Figura 6- Variação do coeficiente de atrito de rolamento com a pressão, para um pneu diagonal.	22
Figura 7- Fluxograma do projeto Baja SAE.....	23
Figura 8 - Fluxograma da metodologia aplicada.	24
Figura 9 - Protótipo Caraubaja SAE CT-18	28
Figura 10 - Projeto da transmissão 4x4	30
Figura 11 - Representa os parâmetros utilizados para os cálculos da força máxima	32
Figura 12 - Gráfico torque x rotação do motor Briggs & Stratton Intek Pro® 10 hp	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Comparativo de resultados provas de velocidade/aceleração e tração 2018.	26
Quadro 2. Comparativo de resultados provas de velocidade/aceleração e tração 2017.	26
Quadro 3 - Classificação das provas dinâmicas da equipe Caraubaja SAE	27
Quadro 4 - Resultados obtidos de velocidade e força trativa do protótipo CT-18	29
Quadro 5 - Especificações do CT-18 para resoluções matemáticas	31
Quadro 6 - Comparação dos resultados	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes de resistência de rolamento	21
Tabela 2 -Rendimento em função do tipo de transmissão.....	34
Tabela 3- Comparativo das velocidades e relações de transmissão	36
Tabela 4- Comparativo de força trativa nas configurações 4x2 e 4x4	36

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 – OBJETIVO GERAL.....	15
1.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.3 – JUSTIFICATIVA	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 – TIPOS DE TRAÇÃO PARA TRANSMISSÃO.....	17
2.1.1 – Tração 4x2	17
2.1.2 – Tração 4x4	18
2.1.3 – Tração AWD	19
2.2 – EIXO CARDAN.....	19
2.3 – CONSIDERAÇÕES EM UM PROJETO DE TRANSMISSÃO	20
2.4 – TRANSMISSÃO DO PROTÓTIPO BAJA SAE.....	22
3. METODOLOGIA	24
3.1 – DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	25
3.1.1 – Objeto de estudo: Caraubaja SAE CT-18.....	27
3.1.2 – Informações de tração e velocidade obtidas com o protótipo 4x2.....	28
3.2 – ESPECIFICAÇÕES DOS REQUISITOS DO PROJETO.....	29
3.4 – PROJETO DA TRANSMISSÃO 4x4	29
3.4.1– Aplicação do Modelo matemático.....	31
4. RESULTADO E DISCUSSÕES.....	36
5. CONCLUSÃO	38
6. REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

Com o intuito de fazer o estudante de engenharia projetar a sua vida acadêmica, mesmo ele ainda estando na instituição, a SAE (*Society of Automotive Engineers*) criou um projeto chamado Baja SAE. Neste projeto os acadêmicos das diversas áreas de engenharia colocam em prática o conhecimento aprendido em sala de aula. Este projeto teve início nos EUA, mas iniciou suas atividades no Brasil em 1994. O principal objetivo lançado aos estudantes é de construir um protótipo motorizado para uso em fora de estrada.

Atualmente no Brasil, as competições se organizam em quatro etapas: três regionais (Nordeste, Sudeste e Sul) e uma Nacional, nesta são reunidas mais de 80 instituições de todo país totalizando aproximadamente 1900 alunos.

Os projetos devem atender a um conjunto de exigências normativas emitidas e fiscalizadas pela SAE. Assim, o projeto deve ser concebido dentro dos limites estabelecidos pela norma. As regras presentes nas normas definem todas as partes que compõem o protótipo, cuja avaliação é feita pelos próprios engenheiros da SAE como parte da competição. Nas avaliações são verificados os itens de projeto, segurança, freio, tração, velocidade, aceleração e resistência.

Um dos pré-quesitos avaliados é a existência de documentação técnica sobre o projeto completo, incluindo seus subsistemas. Neste sentido, o sistema de transmissão se torna um dos sistemas mais importantes do protótipo, pois este é responsável diretamente pela total dinâmica do veículo, visto que o motor não pode sofrer alterações, uma vez que sua configuração é padrão, definida pela SAE Brasil.

O projeto Caraubaja, desenvolvido na Universidade Federal Rural do Semiárido UFRSA, campus Caraúbas, já participou de competições em nível regional e nacional. A partir dessa experiência e dos resultados anteriores, já é possível elencar algumas limitações do atual projeto de transmissão, o que fomenta novas propostas de melhoria. Neste âmbito, pretende-se apresentar uma proposta de um novo modo de transmissão para o referido protótipo.

1.1 – Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo propor a aplicação de um sistema de transmissão 4x4 num protótipo Baja SAE 4x2 a fim de mostrar que é possível promover aumento de sua força trativa sem que haja prejuízo do seu desempenho de velocidade.

1.2 – Objetivos Específicos

- Fazer levantamento dos dados de força trativa e velocidade do protótipo 4x2 já existente.
- Fazer o levantamento dos dados relativos ao trem de força do protótipo 4x2
- Aplicar o princípio de uma transmissão 4x4 no protótipo 4x2;

1.3 – Justificativa

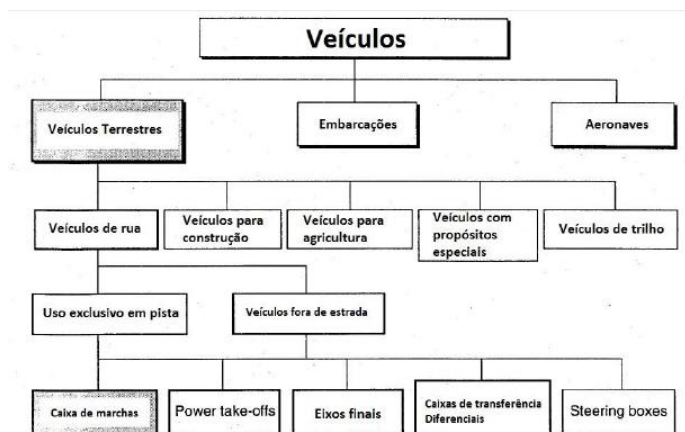
Com o crescente número de equipes inscritas ano após ano, a SAE Brasil veio a perceber a evolução dos projetos por parte das equipes. Isto foi tornando o nível de dificuldade das provas cada vez mais alto, pois os incrementos acrescentados ao projeto davam aos protótipos um excelente desempenho nas provas dinâmicas e de resistência. Diante disso, a SAE Brasil começou a incorporar novos obstáculos nas provas dinâmicas que exigiam cada vez mais dos protótipos tração e resistência. Esses dois quesitos estão diretamente relacionados ao sistema de transmissão, que além de ter que transferir o máximo de potência proveniente do motor para as rodas, tem que apresentar uma alta capacidade trativa para superar os obstáculos. A solução proposta é prover todas as rodas com tração, ou seja, adotar o conceito de transmissão 4x4. Deste modo, este trabalho propõe um projeto de transmissão que transfira o torque do motor para todas as rodas do veículo, tornando-o assim, um veículo 4x4. A escolha do Baja para o desenvolvimento deste trabalho é baseada especialmente pela necessidade de se conseguir a excelência em capacidade trativa para o protótipo. Jamais uma equipe utilizou-se de uma tração 4x4 em seus veículos. Além disso, a escolha deste projeto para o CT-18 serve como base para futuros protótipos.

Posteriormente, neste trabalho, propõe-se verificar a viabilidade do projeto com relação às forças trativas atuantes nas condições de tração: 4x2 e 4x4. Podendo assim, ser observada a capacidade de tração oferecida em cada condição de tração.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para que se converta torque em rotação, todas as formas de transportes motorizados necessitam de um sistema de transmissão. As transmissões são distintas e variam de acordo com sua função e uso. A Figura 1 apresenta um fluxograma geral dos tipos de transmissão para os transportes terrestres, aéreo e marítimo.

Figura 1- Fluxograma de transmissão para veículo aéreos, marítimos e terrestres.

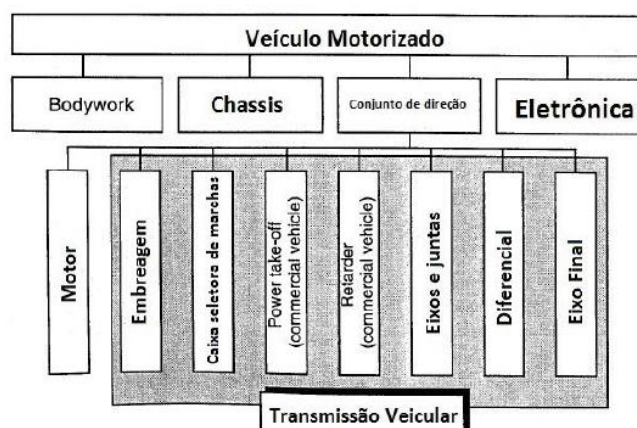


Fonte: Lechner e Naunheimer (1999)

A função de uma transmissão veicular é adaptar a tração disponível da unidade motora para o veículo, superfície, motorista e ambiente envolvidos. A transmissão ainda tem um papel decisivo na confiabilidade, consumo de combustível, facilidade no uso do veículo e desempenho (Lechner e Naunheimer, 1999)

As características desejáveis para um sistema de transmissão são confiabilidade, conforto, baixa frequência de manutenção, facilidade de produzir seus componentes em massa e redução de peso. Como também, fornecer o torque exigido para o uso diário do veículo. Com auxílio da Figura 2 é possível compreender a abrangência da transmissão em um veículo motorizado comercial. Conforme pode ser observado, a transmissão veicular não se restringe a um único elemento de máquina, pelo contrário, ela é formada por um conjunto de subsistemas com funções associadas.

Figura 2- Componentes da transmissão veicular



Fonte: Lechner e Naunheimer (1999)

2.1 – Tipos De Tração Para Transmissão

Quanto à transmissão de torque para as rodas do veículo, é possível classificar em tração 4x2, 4x4 e AWD, detalhadas a seguir. O termo “tração” neste caso serve para designar a quantidade de rodas do veículo o qual vai ser aplicado o torque proveniente da transmissão. Alguns veículos não possuem a opção de transferir o torque para todas as rodas, sendo restrito apenas às rodas que se ligam ao eixo de saída da transmissão.

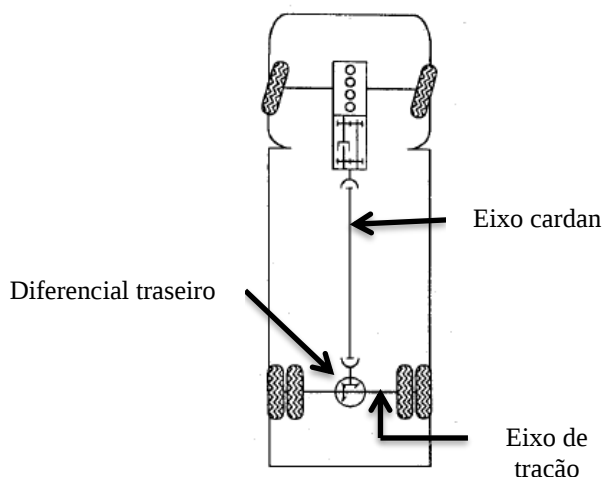
Já para os veículos que permitem a tração em todas as rodas, faz-se necessário a utilização de um conjunto de engrenagens para transferência de movimento da transmissão primária para a transmissão secundária. A transmissão primária recebe o movimento proveniente da caixa de marcha, onde está diretamente acoplada. Através de engrenagens ou corrente realizam a transferência de movimento. A transmissão primária é responsável pelo acionamento da tração, seja mecanicamente ou eletronicamente. Além disso, é necessário um eixo cardan para que esta transferência de torque chegue à transmissão secundária que está localizada no eixo distinto da tração primária.

2.1.1 – Tração 4x2

Refere-se a um veículo com quatro rodas e tração em duas delas. O primeiro valor é o número de rodas. O segundo é o número de rodas motorizadas. Com um 4x2, a potência do motor é transmitida a apenas duas rodas, podendo ser o par de rodas dianteiras (tração dianteira) ou o par traseiro (tração traseira)(Crolla, 2009).

A Figura 3 mostra um desenho de um veículo motorizado com os devidos componentes de uma transmissão 4x2.

Figura 3- Ilustração do conceito de transmissão 4x2



Fonte: adaptado de Lechner e Naunheimer (1999)

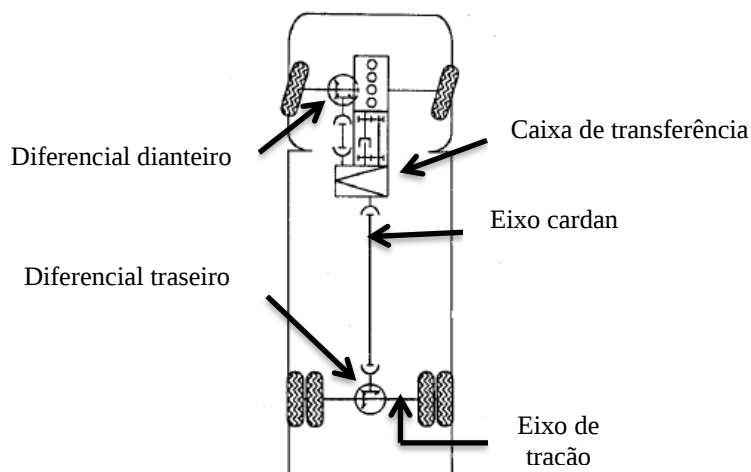
A maioria dos veículos rodoviários usa um layout 4x2, devido ao seu peso leve e simplicidade. Tração na estrada é geralmente suficiente para que a força motriz possa ser transmitida com confiança através de duas rodas (Lechner e Harald, 1999).

2.1.2 – Tração 4x4

Representa termo para apontar que as quatro rodas do veículo possuem capacidade de tracionar. Conforme o modelo pode ser acionado de modo manual ou automático. Possui sistema de transmissão que permite às quatro rodas a receber o torque do motor de maneira simultânea. A tração nas quatro rodas, geralmente leva o senso comum a associar veículos para fora de estradas e utilitários esportivos. A tração permite melhor controle do que carros de rua normais em condições de pistas diferentes superfícies. Importante recurso a ser utilizado em Rally. Tração nas quatro rodas refere-se a veículos que têm uma caixa de transferência (alguns dos quais incluem um diferencial que pode ou não ser bloqueado) entre os eixos dianteiro e traseiro, o que significa que a parte da frente e da retaguarda não pode rodar a diferentes velocidades. Isso permite a transferência de torque máximo para o eixo com mais tração. Todas as rodas se referem a uma unidade de sistema de comboios que inclui um diferencial entre os veios de acionamento dianteiro e traseiro. Eles estão associados com algum tipo de tecnologia antiderrapante que permite às rodas a girar em velocidades

diferentes, mas ainda mantêm a capacidade de transferência de torque de uma roda em caso de perda de tração (Crolla, 2009).

Figura 4- Ilustração do conceito de transmissão 4x4



Fonte: adaptado de Lechner e Naunheimer (1999)

Na figura 4 se percebe a adição de uma caixa de transferência, bem como, mais um diferencial para transmissão de movimento para as rodas dianteiras.

2.1.3 – Tração AWD

Um único sistema de velocidade em tempo integral projetado para fornecer energia para as quatro rodas. O percentual de entrega de potência dianteira/traseira varia de sistema para sistema (Crolla, 2009).

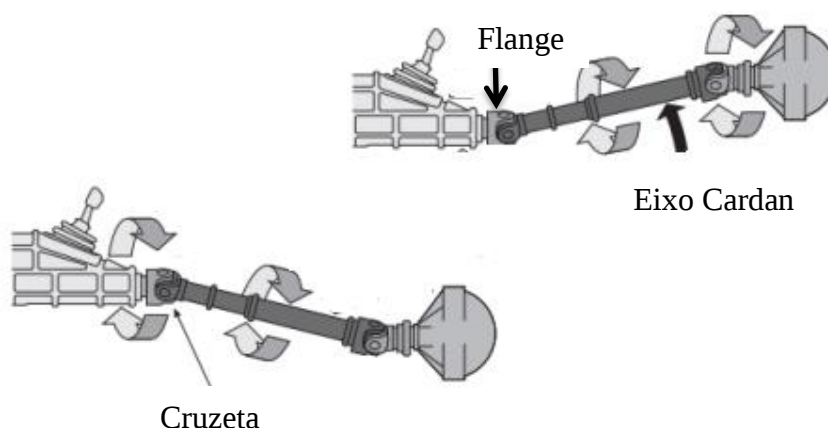
2.2 – Eixo Cardan

A função básica do eixo de transmissão, também conhecido como eixo cardan, é transmitir a energia gerada pelo motor para o eixo diferencial, e, por sua vez, o eixo diferencial irá transferir esta energia recebida do eixo cardan para as rodas. Pode até parecer uma tarefa simples, porém não é nada fácil. Em terrenos irregulares, o eixo traseiro oscila muito, e a força tem que continuar chegando às rodas sem perda de potência. A princípio, parece um tubo comprido, às vezes apoiado num suporte (mancal) e que fica o tempo todo sob as longarinas de caminhões ou o ônibus. Nas extremidades desse tubo existem conexões chamadas de juntas universais, onde estão as cruzetas. São as cruzetas que dão aos cardans a capacidade de transmitir força do motor para o eixo diferencial em diferentes ângulos. Além

de transmitir a força em ângulo, permitido pelas juntas universais, o cardan também precisa ter a capacidade de se encolher e expandir, conforme a oscilação vertical do eixo diferencial. E para isso, o conjunto de luvas e ponteiros localizado no meio do cardan é que permite este movimento (Weihermann, 2015).

É possível observar na Figura 5 como é disposto os componentes do eixo de transmissão (cardan).

Figura 5- Componentes do eixo cardan



Fonte: adaptado de Weihermann (2015).

2.3 – Considerações em um projeto de transmissão

Para um perfeito projeto de transmissão, é necessário levar em consideração as variáveis que fazem parte do processo para obtenção de resultados. O conhecimento em transmissão de força, balanço de potência, resistência ao rolamento, desempenho e aceleração faz-se necessário. Os componentes da transmissão devem está dimensionados a suportar os esforços torcionais exigidos pelas massas girantes, sendo capazes de atingir com precisão os parâmetros calculados no projeto.

Dentre as forças que agem sobre um veículo se deslocando, o maior interesse é naquelas que se opõem ao seu movimento e determinam o nível de potência necessário para manter esse movimento. A força resistente total deve ser equilibrada pela força transmitida por atrito ao solo, através das rodas motrizes, proveniente da potência gerada pelo motor. Para que se tenha ideia de como o veículo se comportará nas diversas situações de uso, é necessário que se conheça o nível de potência que o motor possui, a cada rotação, para várias

posições do acelerador. Dispondo de curvas características do motor, bem como da curva de consumo específico, é possível estimar, com boa precisão, o comportamento do veículo em termos de acelerações possíveis, consumo, velocidade final, bem como o seu desempenho em ultrapassagens e em aclives para as mais diversas situações de carga e terreno (Leal, Rosa e Nicolazzi, 2012)

Para aprimorar a estimativa de desempenho do veículo nas acelerações, é necessário avaliar o sistema mecânico através do qual a potência é transmitida às rodas, denominado trem de força. Começando pelo motor, é necessário ter em mente que o torque é medido em condições estacionárias em um dinamômetro e, portanto, o valor do torque fornecido para o trem de força é reduzido pela energia despendida para acelerar as massas girantes. O torque fornecido através da embreagem para a transmissão pode ser determinado aplicando-se a lei de Newton (Argachoy, 2003)

Nos veículos auto-propelidos, necessita-se de certas características adicionais nos rolamentos de rodas. É necessário transformar um torque originado dentro do veículo, em uma força de tração e, ao mesmo tempo, resistir às grandes forças laterais, permitindo o controle direcional efetivo do veículo de dentro do mesmo. Isto é conseguido com um alto coeficiente de atrito estático (coeficiente de adesão) entre o solo e a roda (Canale, 1989).

Verifica-se experimentalmente que o coeficiente de resistência de rolamento (μ) varia com a velocidade, pressão dos pneus, carga radial e tipo de pneu, além do tipo do piso, temperatura e outras variáveis de menor importância. Na Tabela 1 estão presentes os valores desses coeficientes, obtidos para alguns tipos de terreno.

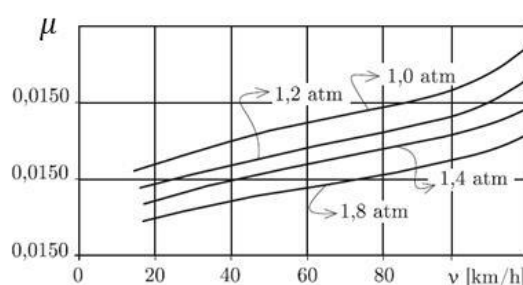
Tabela 1 - Coeficientes de resistência de rolamento

Tipo de piso	Valor de " μ "
Asfalto liso	0,010
Asfalto rugoso	0,011
Cimento rugoso	0,014
Paralelepípedo	0,020
Pedras irregulares	0,032
Pedra britada solta	0,080
Terra batida	0,060
Areia Solta	0,100 a 0,300
Barro	0,100 a 0,400
Neve profunda	0,075 a 0,300

Fonte: adaptado de Nicolazzi (2001)

Vale salientar que os valores apresentados na Tabela 1 são apenas uma orientação geral do coeficiente de resistência ao rolamento para vários tipos de terrenos e que, para desenvolvimentos mais precisos, é necessário levantar estes dados experimentalmente. É importante esclarecer também, que a resistência de rolamento é variável. No gráfico da Figura 6 é apresentado o comportamento do coeficiente de atrito de rolamento com a velocidade, para diferentes pressões que o pneu está inflado.

Figura 6- Variação do coeficiente de atrito de rolamento com a pressão, para um pneu diagonal.



Fonte: adaptado de Nicolazzi (2001)

Pode-se observar que a partir de uma dada velocidade as curvas se inclinam acentuadamente, aumentando o coeficiente de atrito de rolamento " μ ". Isto acontece pelo fato de formarem-se ondas na banda de rodagem, devido à ressonância. Nesta situação o coeficiente de atrito de rolamento, bem como o nível de vibrações e ruído cresce bruscamente. Se o efeito permanecer, o pneu fica em pouco tempo destruído.

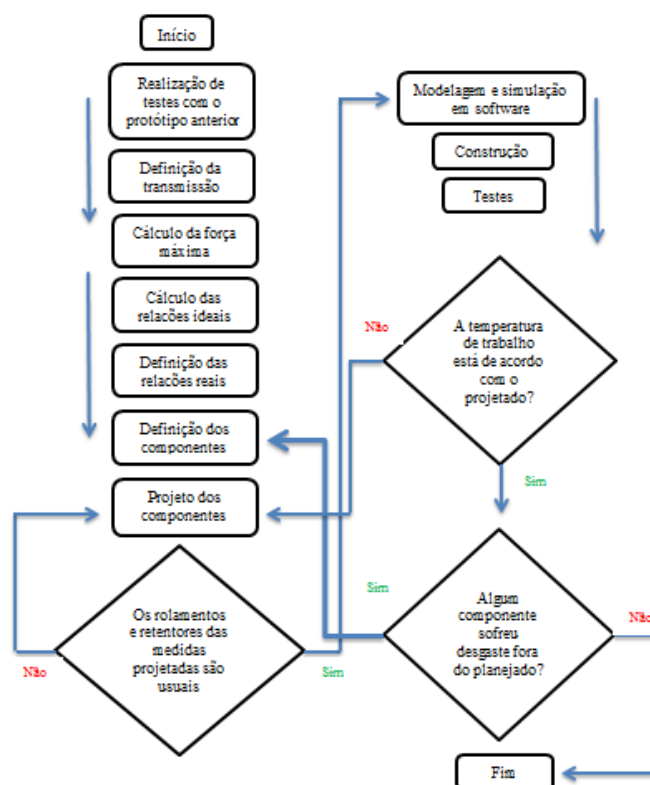
2.4 – Transmissão do Protótipo Baja SAE

O motor monoposto de 10Hp da *Briggs & Stratton* possui 305 cilindradas ao qual acopla-se uma transmissão CVT (*Transmission Variable Continuos*). No caso da equipe Carubaja SAE da UFERSA, utiliza-se um CVT da marca Comet 780 com transmissão de pinhão/correa para fornecer uma redução ainda maior do que a fornecida pelo conjunto motor e CVT. A adoção desta configuração do sistema de transmissão foi motivada pelo seu baixo custo e boa eficiência. Apesar de ser pouco utilizado pelas equipes SAE Baja, o sistema de transmissão pinhão/correa trouxe para equipe bons resultados nos testes e nas competições.

Para os projetos futuros a equipe pretende desenvolver uma caixa de redução por engrenagens de dentes retos. Isto trará melhores benefícios para o sistema de transmissão,

pois acarretará uma considerável diminuição do volume de empacotamento, facilitará a manutenção e diminuirá o peso do conjunto, bem como, configurará aos juízes e comissários da competição a evolução da equipe no conjunto *Powertrain*. Na Figura 7 é apresentado o fluxograma para a construção do sistema de transmissão por engrenagem.

Figura 7- Fluxograma do projeto Baja SAE



Fonte: autoria própria

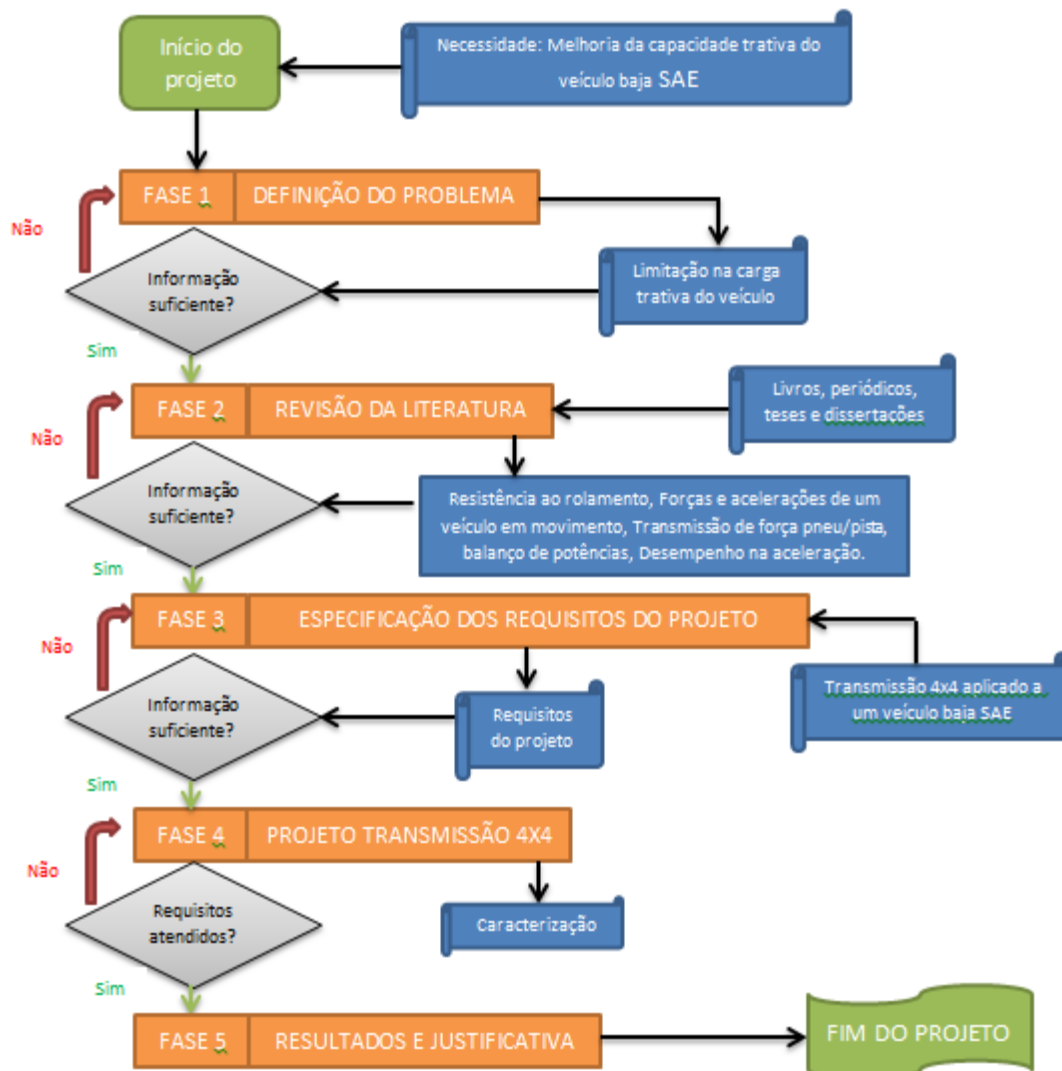
Para a aplicação dos veículos baja SAE, o sistema de transmissão se compõe pelo CVT, caixa de redução, semieixos e juntas articuladas. Visando buscar a excelência em projeto de transmissão, a equipe Caraubaja SAE visa implantar no seu sistema mais uma caixa de redução, tornando assim o protótipo 4x4. Esse projeto será totalmente inovador, visto que nenhuma equipe jamais utilizou esse tipo de incremento nas competições aqui no Brasil.

Cada vez mais as equipes procuram minimizar o peso dos seus protótipos para alcançar um melhor desempenho nas provas, visto que o acréscimo de mais uma caixa de redução no protótipo aumentaria bastante o peso do veículo, este projeto será bem criterioso na escolha do material a ser aplicado, respeitando os esforços de tensão e tração a qual os eixos serão submetidos.

3. METODOLOGIA

Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos para a realização deste trabalho. Para auxiliar no desenvolvimento do trabalho e verificação de componentes a serem inseridos no projeto, utilizou-se o software Autodesk Inventor. O fluxograma da Figura 8 representa o processo metodológico adotado para a construção do novo projeto da transmissão.

Figura 8 - Fluxograma da metodologia aplicada.



Fonte: autoria própria

3.1 – Definição do Problema

O comitê Baja SAE Brasil propõe um veículo de desempenho líder de mercado em termos de velocidade, manobrabilidade, conforto e robustez em terreno acidentado e condições fora-de-estrada (SAE, 2018).

O sistema de transmissão deve está projetado para atender as necessidades exigidas pela SAE Brasil, já que os itens de desempenho proposto pelo regulamento estão diretamente ligados ao sistema de transmissão. Com relação à influência do sistema de transmissão na velocidade verifica-se que o tempo de saída da inércia das partes girantes até a sua velocidade final no menor tempo possível, faz com que o sistema de transmissão se torne um diferencial nesse projeto. Mas, só isso não é o suficiente. Muitas equipes apresentam um excelente desempenho nas provas de velocidade e aceleração, mas deixam a desejar nas provas de tração, piscina de lama, morros, rampas e etc. Chegar a uma relação de transmissão que atenda a necessidade de uma boa velocidade e uma boa capacidade trativa é um desafio, pois os protótipos projetados pelas equipes não possuem seleção de marchas sequenciais para selecionar as relações ideais para cada tipo de prova.

O critério de robustez é afetado devido à necessidade da transmissão ser suficientemente resistente aos impactos, esforços de torções e aproveitar o máximo de potência gerado pelo motor, já que este é limitado pelo regulamento Baja SAE Brasil.

Para atender aos critérios de conforto, a transmissão deve apresentar poucos ruídos e suavidade nas respostas de acelerações. Para prova de manobrabilidade se exige muito de retomadas de velocidades, já que a frequência de acelerações e desacelerações são constantes para o contorno dos cones. Isso exige da transmissão uma boa relação para inércia inicial acontecer, promovendo ao protótipo uma boa resposta de retomada de velocidades.

Na prova de tração, os esforços de torção exigidos fazem com que todo o sistema *Powertrain* funcione de forma ordenada, obedecendo a todos os cálculos realizados no projeto. É necessário nesta prova, uma boa inércia das massas girantes, uma relação bem reduzida para sustentar o máximo de tempo o torque oferecido pelo motor, robustez dos seus componentes para suportar os impactos sofridos pelos trancos no cabo que sustenta a carga a ser puxada e por fim, uma boa relação de velocidade para quando o veículo sair da inércia consiga arrastar a carga o mais longe possível.

Equilibrar o sistema de transmissão para atender os requisitos do regulamento tem sido um desafio difícil, já que os bons resultados obtidos nas provas de aceleração e velocidade não são observados nas provas de tração, lama e obstáculos. Nos Quadros 1 e 2, são apresentados os resultados das equipes campeãs nas provas de velocidade/aceleração e tração, nos anos de 2017 e 2018 na competição Baja SAE Brasil. Verifica-se que numa mesma competição, a que alcança boa pontuação em velocidade/aceleração, não consegue o mesmo desempenho na prova de tração. De forma inversa, os bons resultados obtidos nas provas de tração não refletem sucesso nas provas de velocidade/aceleração.

Quadro 1. Comparativo de resultados provas de velocidade/aceleração e tração 2018.

EQUIPES	PROVAS DINÂMICAS 2018		
	ACELERAÇÃO	VELOCIDADE	TRAÇÃO
	CLASSIFICAÇÃO		
EESC USP - BAJA	1º	1º	15º
PATO BAJA	24º	25º	1º

Fonte: Baja SAE Brasil (2018).

Quadro 2. Comparativo de resultados provas de velocidade/aceleração e tração 2017.

EQUIPES	PROVAS DINÂMICAS 2017		
	ACELERAÇÃO	VELOCIDADE	TRAÇÃO
	CLASSIFICAÇÃO		
PATO BAJA	24º	18º	1º
CAR-KARÁ	1º	1º	8º

Fonte: Baja SAE Brasil (2018).

Com base nos Quadros 1 e 2, verifica-se as divergências dos resultados quando são relacionados velocidade/aceleração e capacidade trativa. A utilização da transmissão adequada deve atender toda a demanda do veículo, desde o início do seu movimento até sua velocidade final, vencendo a resistência a rolagem, resistência de aclave, resistência aerodinâmica, resistência de inércia e a resistência mecânica (Canale, 1989).

Para velocidade constante, a força resistente total (que é a soma de todas as parcelas) deve ser equilibrada pela força transmitida ao solo, através das rodas motrizes, proveniente da potência gerada pelo motor. Para que se tenha ideia de como o veículo se comportará nas diversas situações de uso, é necessário conhecer o nível de potência que o motor possui a cada

rotação. Dispondo de curvas características, é possível estimar, com razoável precisão, o comportamento do veículo em termos de acelerações possíveis, consumo, velocidade final, bem como o seu desempenho em ultrapassagens e em aclives para diversas situações de carga e terreno. Para tanto, é importante o levantamento da potência líquida, que representa a potência total disponível menos a potência gasta para manter a condição de deslocamento do veículo (Nicolazzi, 2001)

A transmissão do protótipo Caraubaja SAE CT-18 possui uma boa carga trativa e um alto peso do veículo agregado. Devido ao baixo custo e a facilidade comercial das peças, foi utilizado o sistema pinhão/corona para compor o *Powertrain* do protótipo. Utilizando materiais de alta resistência a torção, os resultados obtidos nas provas de tração e lama foram significativos. Porém nas provas de velocidade e aceleração a pontuação foram as piores. Na prova do enduro, que é o misto de todas as avaliações dinâmicas, foi obtido um resultado razoável. Visto que das 50 equipes que conseguiram participar da prova de enduro, ficamos na 16ª colocação, concluindo às quatro horas de prova. No Quadro 3 mostra a classificação nas provas de velocidade, aceleração, tração e lama da equipe Caraubaja SAE no nacional de 2018.

Quadro 3 - Classificação das provas dinâmicas da equipe Caraubaja SAE

COMPETIÇÃO BAJA SAE NACIONAL 2018				
EQUIPE	CLASSIFICAÇÃO GERAL			
	VELOCIDADE	ACELERAÇÃO	TRAÇÃO	LAMA
CARAUBAJA SAE	24º	25º	13º	8º

Fonte: Baja SAE Brasil (2018).

O resultado mostra melhores resultados nas provas de tração e lama. Enquanto que nas provas de velocidade e aceleração os resultados não são satisfatórios. Necessitando assim, uma melhora no projeto que atenda aos quesitos em deficiência.

3.1.1 – Objeto de estudo: Caraubaja SAE CT-18

O modelo experimental para referência deste trabalho é o veículo *off-road* de competição Baja, projetado e construído pelos estudantes do curso de engenharia mecânica da Universidade Federal Rural do Semi Árido (UFERSA), Campus Caraúbas. A principal função do projeto é avaliar o conhecimento dos alunos obtidos em sala de aula, propondo-lhes a participação das competições realizadas pela a SAE Brasil, no qual o protótipo é submetido a uma série de rigorosos testes estáticos e dinâmicos.

O Baja é um veículo basicamente construído por uma estrutura tubular (chassi), suspensão traseira e dianteira, direção, transmissão, freios. Na Figura 9 é apresentado o modelo CT-18 em uma imagem renderizada.

Conforme norma regulamentadora das competições SAE Baja, o protótipo usa um motor monoposto de 10Hp, a gasolina. A transmissão é automática, utilizando para isso variador contínuo de polias cônicas e correias de deslizamento (CVT - *Continuous Variable Transmission*).

Figura 9 - Protótipo Caraubaja SAE CT-18



Fonte: autoria própria

O protótipo CT-18 é composto por uma carenagem de polipropileno de alta intensidade, sistema de freios a disco com pinças de freio com duplo pistão, direção mecânica do tipo pinhão cremalheira, pneus de *off-road* com denominações 23"x7"x10", suspensões dianteira do tipo duplo A convencional e suspensão traseira duplo A com duas barras guidoras, sendo que ambas as suspensões utilizam poliuretano como buchas para alocação deste sistema com o chassi. Na sua estrutura (chassi), alguns tubos tem o diâmetro reduzido mas mantém as propriedades mecânicas suficientes para suportar os impactos e capotamentos.

3.1.2 – Informações de tração e velocidade obtidas com o protótipo 4x2

O sistema de transmissão do protótipo atual, previamente descrito no item 3.1.1, foi concebido para priorizar maior torque cuja finalidade foi extrair a maior força trativa possível. No Quadro 4 são apresentados os resultados obtidos para velocidade e força trativa do protótipo 4x2, atual.

Quadro 4 - Resultados obtidos de velocidade e força trativa do protótipo CT-18

CARAUBAJA SAE 4X2		
	VELOCIDADE	FORÇA TRATIVA
CT - 18	48,71 Km/h	1454 N

Fonte: autoria própria.

O resultado apresentado no Quadro 4 contribuiu positivamente para a colocação obtida na competição 2018 (Quadro 3). Caracterizando assim, uma transmissão com uma força trativa mais competitiva do que velocidade, em relação às demais equipes.

3.2 – Especificações Dos Requisitos Do Projeto

Visando o bom desempenho dos quesitos velocidade e aceleração de uma transmissão 4x2 ao aporte de torque obtido com uma transmissão 4x4, propõe-se uma solução que permita agregar esses dois conceitos, recorrendo a cada um, no momento oportuno. Assim, o caminho adotado é implantar um sistema de transmissão que só seja ativado quando necessário. Ou seja, o protótipo não trafega com a tração transmitida às quatro rodas de maneira constante.

Na condição 4x2 o veículo apresenta menor atrito em duas de suas rodas e uma menor massa girante, sendo assim a velocidade desejada no projeto é alcançada. Logo, é possível obter melhores resultados no quesito velocidade. A nova relação passa de 6,5:1 para 5,4:1.

Para a condição 4x4, o protótipo tem um acionamento elétrico para acoplar a caixa de transferência e, por conseguinte, transmitir o movimento para as rodas dianteiras. Isso aumenta a carga trativa do veículo para os obstáculos como piscina de lama e morros, como também, aumenta sua força de empuxo no arrasto das estacas e troncos. Para que o acréscimo de componentes não seja de tão alta adição de volume no sistema, o dimensionamento dos eixos, carcaças e engrenagens será de forma reduzida para que o volume de empacotamento não prejudique os demais subsistemas do protótipo.

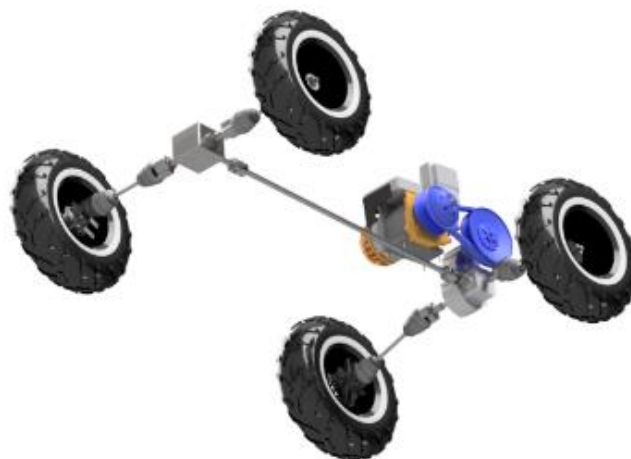
3.4 – Projeto da transmissão 4x4

O projeto tem como objetivo principal aumentar a carga trativa do protótipo sem haver grandes prejuízos na velocidade e aceleração. Desta forma o sistema *powertrain* do projeto está subdividido pelos seguintes componentes: Motor, CVT Comet 780, uma caixa de redução

principal, uma caixa de transferência, um eixo cardan e um diferencial dianteiro. Visto que, o sistema de tração principal do protótipo se localiza na parte traseira do veículo, o sistema de acoplamento para a tração 4x4 decorrerá da traseira para dianteira através dos componentes de transferência de movimento.

A caixa de redução principal possui relação final de 5,40:1. Para minimizar o acréscimo do volume de empacotamento do sistema, a caixa de transferência e o diferencial dianteiro terão relação de 1:1. Desta forma, também, será possível que a mesma carga trativa para as rodas traseiras sejam nas dianteiras. Para minimizar o peso do conjunto adicionado será utilizada na carcaça da caixa de redução, transferência e diferencial dianteiro o alumínio T8680. As engrenagens inseridas nos componentes serão vazadas para redução de sua massa e fabricadas de aço 4340, da mesma forma os eixos de rotação das caixas. O eixo cardan, as ponteiras, os flanges serão de aço 1020, sendo a maior parte do eixo cardan de forma tubular. Dois rolamentos de centro serão posicionados na parte inferior do chassi para sustentação e alinhamento do eixo cardan. Serão utilizadas duas juntas universais (cruzetas), para a união do conjunto. A Figura 10 retrata o desenho do projeto realizado no software Autodesk Inventor.

Figura 10 - Projeto da transmissão 4x4



Fonte: Autoria Própria

3.4.1– Aplicação do Modelo matemático

É possível através de uma modelagem matemática caracterizar os comportamentos de algumas variáveis referentes ao sistema mecânico responsável pela capacidade de movimentar o veículo. Esta modelagem é feita para cada componente do sistema, avaliando o seu efeito nas variáveis.

A análise tem início no levantamento dos parâmetros de torque e potência do motor, seguindo pelos demais componentes da transmissão, finalizando no pneu.

Para inserir alguns valores nas formulações, é necessário conhecer alguns parâmetros do projeto. No Quadro 5 estão os valores de entrada para se encontrar os resultados referentes as condições de comportamento inercial e trativo do sistema de transmissão.

Quadro 5 - Especificações do CT-18 para resoluções matemáticas

ESPECIFICAÇÕES DO CT - 18	DIMENSÃO
Rotação de trabalho do motor	3000 RPM
Potência do motor	10 Hp
Torque do motor (3000RPM)	18,3 N.m
Relação do CVT Comet 780	0,69:1
Distância do CG para traseira do veículo	658,57mm
Distância do CG para dianteira do veículo	791,43mm
Distância do CG para o piso do veículo	249,14mm
Distância do CG para o solo	549,14mm
Rendimento da transmissão	0,95
Relação da caixa de redução	6,5:1
Distância entre eixo	1450mm
Raio dinâmico do pneu	293,79mm
Peso do veículo com o piloto	246 Kg

Fonte: autoria própria

Com os valores no Quadro 5 pode-se encontrar as variáveis necessárias para o desenvolvimento do projeto. O cálculo da redução ideal para o protótipo foi determinado, segundo a equação 1:

$$F_{max} = \frac{\left(\frac{\mu w b}{l}\right)}{1 - \left(\frac{h}{l} \mu\right)} \quad (1)$$

Sendo:

w = Parcela de carga sobre o eixo de tração (%);

h = Altura do centro de gravidade em relação ao solo (m);

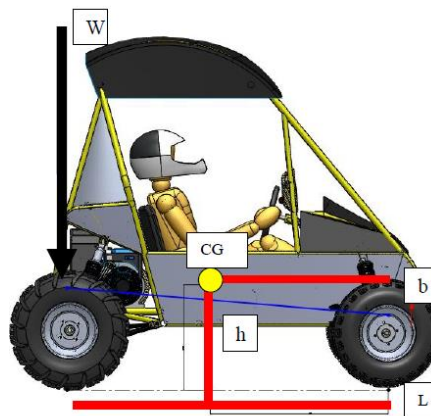
l = Distância entre os eixos (m);

μ = Coeficiente de atrito entre o pneu e a pista ($\mu = 0,4$);

b = Distância do CG para o eixo dianteiro (m)

Na Figura 11 é apresentada a localização das variáveis atuantes no protótipo CT – 18.

Figura 11 - Representa os parâmetros utilizados para os cálculos da força máxima



Fonte: adaptado de Cipolla (2015)

A equação 1 define o máximo esforço que um veículo pode transmitir ao solo. Sendo válida para veículos de tração traseira, com suspensão independente. Considerando que a caixa de redução fornecerá apenas uma relação para o movimento comum do protótipo, é de grande importância, que esta relação forneça o máximo torque possível ao eixo traseiro, mesmo com perda de velocidade final.

Na Figura 12, os dados do motor *Briggs & Stratton Intek Pro®* 10 hp de 305 cilindradas são teóricos e retirados do gráfico fornecido pelo próprio fabricante:

Figura 12 - Gráfico torque x rotação do motor Briggs & Stratton Intek Pro® 10 hp



Fonte: adaptado de Cipolla (2015).

Pode-se perceber que o torque máximo é atingido aos 2600 rpm e tem o módulo de aproximadamente 18,7 N.m. Partindo da equação 2, que define torque como função de força e raio, tem-se:

$$T = F * r \quad (2)$$

Utilizando os valores conhecidos do raio do pneu utilizado no eixo de tração e a força máxima possível a ser transferida ao solo, encontrados o valor máximo para o torque no eixo traseiro. Com os dados anteriormente citados é possível saber qual o máximo torque de entrada na caixa de redução e qual o máximo torque possível de saída.

É conveniente salientar que devido à elasticidade, do pneu, o diâmetro da roda varia em função da velocidade pelo efeito da força centrífuga. Desta forma é conveniente definir o raio estático e o raio dinâmico dos pneus.

- Raio Estático - r_e : É definido como a distância do centro da roda ao plano de contato do pneu com a pista, para a condição de carga máxima admissível e veículo parado.

$$r_e = 0,47D \quad (3)$$

D = Diâmetro externo do pneu

- Raio Dinâmico - r_d : É definido a partir da distância percorrida em um giro do pneu, na condição de carga máxima admissível.

$$r_d = 1,02r_e \quad (4)$$

A partir da relação de transmissão pode-se calcular a velocidade do veículo na rotação de trabalho do motor. Para este cálculo utilizamos a equação 5.

$$V = \frac{2\pi N R_d}{60 i_c i_d} \quad (5)$$

Sendo:

V = Velocidade do veículo (m/s)

r_d = Raio Dinâmico (m)

i_c = Relação de transmissão na caixa de redução

i_d = Relação de transmissão do diferencial

N = Rotações do motor (RPM)

Por fim, encontra-se a força trativa do veículo. Para isso, obtém-se da literatura a constante η que corresponde ao rendimento do câmbio (Tabela 2).

Tabela 2 -Rendimento em função do tipo de transmissão

Tipo	η
Correias planas	0,96-0,97
Correias em V	0,97-0,98
Correntes silenciosas	0,97-0,99
Correntes Renold	0,95-0,97
Rodas de atrito	0,95-0,98
Engrenagens fundidas	0,92-0,93
Engrenagens usinadas	0,96-0,98
Rosca sem fim 1 entrada	0,45-0,60
Rosca sem fim 2 entrada	0,70-0,80
Rosca sem fim 3 entrada	0,85-0,80
Mancais – Rolamento	0,98-0,99
Mancais - Deslizamento	0,96-0,98

Fonte: Melconian (2009)

Considerando o fato que engrenagens de transmissões automotivas são usualmente fabricadas por usinagem, o parâmetro η adotado foi 0,96.

A força trativa é calculada pela seguinte fórmula:

$$F_t = \frac{P}{V} * \eta \quad (6)$$

Sendo:

F_t = Força trativa (N);

P = Potência do motor (Kw);

V = Velocidade do veículo (Km/h)

η = *Rendimento*

4. RESULTADO E DISCUSSÕES

Com base no dado de velocidade do protótipo 4x2 (Quadro 4) e da velocidade calculada para transmissão 4x4 (Equação 5), assumindo-se os parâmetros de projeto (Quadro 5), tem-se o comparativo presente na Tabela 3.

Tabela 3- Comparativo das velocidades e relações de transmissão

	TRANSMISSÃO 4X2	TRANSMISSÃO 4X4 (proposta)
RELAÇÃO DE TRANSMISSÃO	6,5:1	5,4:1
VELOCIDADE (Km/H)	48,7	58,64

Fonte: autoria própria

A partir dos resultados de velocidade obtidos verifica-se que é possível obter maior velocidade com a transmissão proposta. Isto se deu a uma melhor análise de combinações entre as relações de engrenagens.

Com relação a força trativa, tem-se o dado de força do protótipo 4x2 (Quadro 4) que pode ser comparado à força calculada para o protótipo 4x4 (Equação 6), assumindo-se os parâmetros de projeto (Quadro 5). Logo, na Tabela 4 apresenta-se o comparativo de forças.

Tabela 4- Comparativo de força trativa nas configurações 4x2 e 4x4

	TRANSMISSÃO 4X2	TRANSMISSÃO 4X4 (proposta)
FORÇA TRATIVA (N)	1454	2416

Fonte: Autoria própria

Com base nos valores apresentados na Tabela 4 é possível constatar que houve incremento significativo na carga trativa do veículo, aumento este, fruto do uso da configuração 4x4 que distribui a força em todas as rodas.

No Quadro 6 apresentam-se os valores de uma forma geral, comparando todos os resultados da transmissão 4x2 e 4x4.

Quadro 6 - Comparação dos resultados

COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS		
	TRANSMISSÃO 4X2	TRANSMISSÃO 4X4
VELOCIDADE	48,71 Km/h	58,64 Km/h
FORÇA MÁXIMA TRANSMITIDA AO SOLO	23,65 N	79,83 N
TORQUE NO EIXO DE TRAÇÃO	6,62 N.m	9,73 N.m
FORÇA TRATIVA	1464 N	2416 N

Fonte: Autoria própria

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos é possível concluir que a adoção do esquema de transmissão 4x4 permite atingir maiores valores de força trativa.

Ao mesmo tempo que houve o aumento da força trativa, não se verificou prejuízo no quesito velocidade. Isso é possível desde que haja a possibilidade de emprego da transmissão 4x4 apenas nos casos que for solicitada, desacoplando-se a tração do segundo eixo quando esta não for necessária. Na prática o sistema deve operar apenas durante as provas que exigem maior carga trativa.

Verifica-se também que houve um sensível aumento na velocidade do sistema proposto devido a alteração na relação de transmissão.

Diante do exposto, conclui-se que a aplicação da transmissão 4x4 agrega ao protótipo duas possibilidades de carga trativa, mantendo-se uma velocidade competitiva. Desta forma, verifica-se o ganho a ser alcançado no aspecto dinâmico.

6. REFERÊNCIAS

ARGACHOY, C. **Princípios de dinâmica Veicular - material didático instrucional**. São Paulo, 2003.

CANALE, A. C. **Automobilística - Dinâmica e Desempenho**. São Paulo: Erica, 1989.

CIPOLLA, G. **Desenvolvimento de caixa de redução para veículo Baja SAE**. Universidade Estadual Paulista, 2015.

CROLLA, D. A. **Automotive engineering: powertrain, chasis system and vehicle body**. Oxford: Elsevier, 2009.

LEAL, L. DA C. M.; ROSA, E. DA; NICOLAZZI, L. C. **Uma introdução à modelagem quase-estática de automóveis**. Florianópolis, 2012.

LECHNER, G.; NAUNHEIMER, H. **Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application**. Berlin, Heidelberg, 1998.

SAE. **Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil**. São Paulo, Brasil, 2018.

WEIHERMANN, H. W. **Estudo sobre aplicação de transmissão continuamente variável para veículos de pequeno porte**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.