



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

GÊNESES IZIDIO DE SOUZA

**ESTUDO DINÂMICO E DIMENSIONAL DE UM NOVO MODELO DE
TIRANTE PARA UM VEÍCULO BAJA**

CARAÚBAS-RN

2021

GÊNESES IZIDIO DE SOUZA

**ESTUDO DINÂMICO E DIMENSIONAL DE UM NOVO MODELO DE
TIRANTE PARA UM VEÍCULO BAJA**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Diego David Silva
Diniz

CARAÚBAS-RN

2021

© 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.

S719e Souza, Gêneses Izidio de.
ESTUDO DINÂMICO E DIMENSIONAL DE UM NOVO
MODELO DE TIRANTE PARA UM VEÍCULO BAJA / Gêneses
Izidio de Souza. - 2021.
54 f. : il.

Orientador: Diego David Silva Diniz.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2021.

1. Tirante. 2. ADAMS CAR. 3. Suspensão Baja
SAE. 4. Dinâmica Baja SAE.. 5. Baja SAE. I. Diniz,
Diego David Silva, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Caraúbas

Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues

CRB: 15/700

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.

GENESES IZIDIO DE SOUZA

**ESTUDO DINÂMICO E DIMENSIONAL DE UM NOVO MODELO DE
TIRANTE PARA UM VEÍCULO BAJA**

Monografia apresentada a
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Ciência e
Tecnologia.

Defendida em: 19 / novembro / 2021

BANCA EXAMINADORA

**DIEGO DAVID
SILVA DINIZ:
07397414460**

Assinado digitalmente por DIEGO DAVID SILVA DINIZ:
07397414460
DN: CN=DIEGO DAVID SILVA DINIZ.07397414460,
OU=UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
O=DPEdu, C=BR
Razão: Eu estou aprovando este documento
Localização: sua localização de assinatura aqui
Data: 2021.11.24 10:59:06-03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 11.1.0

Prof. Dr. Diego David Silva Diniz (UFERSA)

Presidente

**JACKSON DE BRITO
SIMOES:03617148409**

Assinado de forma digital por
JACKSON DEBRITO
SIMOES:03617148409
Dados: 2021.11.24 10:47:12 -03'00'

Prof. Dr. Jackson de Brito Simões (UFERSA)

Membro Examinador

**DORGIVAL ALBERTINO DA
SILVA JUNIOR:05131125456**

Assinado de forma digital por
DORGIVAL ALBERTINO DA SILVA
JUNIOR:05131125456
Dados: 2021.11.24 09:35:12 -03'00'

Prof. Dr. Dorgival Albertino da Silva Júnior (UFERSA)

Membro Examinador

*Dedico este trabalho a minha mãe Maria
da Conceição Izidio de Souza.*

*E ao meu pai e melhor amigo Genivan
Silvino de Souza.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre me iluminar em cada passo e tomada de decisão na minha vida.

Agradeço a minha Família, por sempre estarem comigo nos momentos bons e difíceis. Aos meus pais Genivan e Conceição, por sempre me apoiarem em minhas tomadas de decisões. E a minha irmã Gisele, por sempre estar com meus pais, os dando apoio em momentos onde não pude estar com eles.

Agradeço ao Meu Orientador Dr. Diego David Silva Diniz, por todo apoio e conhecimentos disponibilizados durante o procedimento deste trabalho.

A equipe Caraubaja, por todos os ensinamentos e amizades. E o comprometimento de todos os membros com o projeto, que é fundamental.

A todos os amigos que fiz neste período na UFERSA, em especial, Adriel Batista, Antônio Luís, Nayamma Almeida, Tulio Atson e Tulio Emmanuel. E a todos os outros que conviveram e batalharam comigo até aqui.

A todos um muito obrigado.

“Não importa o que aconteça,
continue a nadar.”

(WALTERS, GRAHAM;

PROCURANDO NEMO, 2003)

RESUMO

Os veículos *off road* baja SAE (Sociedade de Engenheiros de Mobilidade) caracterizam-se por transpor diversos tipos de terrenos, de forma a ter um bom comportamento dinâmico quando são submetidos a adversidades na pista. As equipes que participam das competições Baja SAE Brasil, sempre buscam está melhorando seus protótipos, através de novas implementações. Um protótipo baja SAE se subdivide em subsistemas, onde todos são importantes para o comportamento do veículo. Este trabalho apresenta um estudo voltado para a suspensão traseira do veículo, especificamente o tirante. Através de estudos bibliográficos e simulações em softwares como ADAMS CAR e Autodesk Inventor, foi possível desenvolver um novo modelo de tirante para o baja Severo 2.0 da equipe Carabaja SAE, com o intuito de reduzir a massa do modelo atual, porém, mantendo o comportamento dinâmico do atual protótipo. Realizou-se coleta de dados dos parâmetros da suspensão atual para começar moldar a suspensão do protótipo, para que assim fosse possível verificar a influência total da implementação do novo tirante, e suas variações nos ângulos de *camber* e *toe*. Foi feita Simulações no Software ADAMS CAR com o baja totalmente montado, para que fosse possível verificar a eficácia deste novo modelo de tirante, quando percorre certos obstáculos com diferentes velocidades, em uma pista 3D. Utilizou-se o software Autodesk Inventor para realizar simulações de força no tirante, afim de analisá-las. Através do ADAMS CAR, foi possível obter variações de força no tirante, variações estas que são decorrentes das passagens na pista com velocidades diferentes.

Palavras-chave: Tirante; ADAMS CAR; Baja SAE; Suspensão Baja SAE; Dinâmica Baja SAE.

ABSTRACT

The SAE (Society of Mobility Engineers) baja off-road vehicles are characterized by transposing various types of terrain, in order to have a good dynamic behavior when they are subjected to adversities on the track. The teams that participate in the Baja SAE Brazil competitions always seek to improve their prototypes, through new implementations. A baja prototype is subdivided into subsystems, where all of them are important for the behavior of the vehicle. This work presents a study focused on the vehicle's rear suspension, specifically the trailing rod. Through bibliographic studies and simulations using softwares like ADAMS CAR and Autodesk Inventor, it was possible to develop a new tie rod model for the Severo 2.0 baja of the Caraubaja SAE team, with the intention of reducing the mass of the current model, but keeping the dynamic behavior of the current prototype. A data collection of the current suspension parameters was done to start shaping the prototype suspension, so that it was possible to verify the total influence of the implementation of the new tie rod, and its variations in the camber and toe angles. Simulations were made in ADAMS CAR software with the baja fully assembled, to be able to verify the effectiveness of this new tie rod model, when going over certain obstacles with different speeds, in a 3D track. Autodesk Inventor software was used to perform force simulations on the tie rod in order to analyze them. Through ADAMS CAR, it was possible to obtain force variations in the tie rod, variations that are due to passing through the track at different speeds.

Keyword: Tie rod; ADAMS CAR; Baja SAE; Baja SAE Suspension; Baja SAE Dynamic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Veículos off-road.....	17
Figura 2: Veículo Baja SAE tradicional.....	18
Figura 3: Sistemas de um Veículo Baja SAE.....	19
Figura 4: Suspensão automotiva Mcpherson	20
Figura 5: Componentes de Suspensão.....	21
Figura 6: Componentes de Suspensão.....	21
Figura 7: Suspensão Dependente	22
Figura 8: Suspensão Independente	23
Figura 9: Suspensão Duplo A	24
Figura 10: Suspensão Semi-trailing arm	25
Figura 11: Ângulo de camber.....	26
Figura 12: Eixo do Pino mestre.....	27
Figura 13: Ângulo de caster	27
Figura 14: Ângulo de toe.....	28
Figura 15: Convergência das rodas	29
Figura 16: Entre eixo.....	29
Figura 17: Bitola	30
Figura 18: Bump e Rebound Travel.....	31
Figura 19: Geometria frontal da suspensão duplo A.....	32
Figura 20: Suspensão traseira com braço guiador.....	33
Figura 21: Suspensão traseira SEVERO 2.0 software Inventor.....	34
Figura 22: Fluxograma para desenvolvimento do trabalho.....	35
Figura 23: Suspensão traseira SEVERO 2.0 software ADAMS/Car	37
Figura 24: Interface de Análise de Suspensão ADAMS/Car	37
Figura 25: Protótipo SEVERO 2.0 ADAMS/Car	38
Figura 26: Protótipo percorrendo por uma pequena elevação na pista	38
Figura 27: Baja percorrendo por valas. (a) vista lateral, (b) vista de cima	39
Figura 28: Protótipo SEVERO 2.0 Autodesk Inventor	39
Figura 29: Suspensão Traseira com o novo modelo de tirante	41
Figura 30: Visão lateral do Momento de Impacto nas Valas	46
Figura 31: Análise de Tensão no Tirante com Força de 3250 N.....	48
Figura 32: Análise de Tensão no Tirante com Força de 4000 N.....	49
Figura 33: Análise de Tensão no Tirante com Força de 1100 N.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros Utilizados.....	36
Tabela 2: Massas dos componentes utilizados	41
Tabela 3: Relação Força e velocidade	47
Tabela 4: Relação Tensão e Velocidade.....	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Variação de camber com o movimento da suspensão.....	42
Gráfico 2: Variação do ângulo de toe com o movimento da suspensão.....	43
Gráfico 3: Variação do ângulo de camber e toe com e sem a implementação.....	44
Gráfico 4: Análise de Forças exercidas no tirante.....	45
Gráfico 5: Variações de velocidade enquanto o protótipo percorre a pista.....	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 VEÍCULOS OFF ROAD	17
2.2 SUSPENSÃO.....	19
2.2.1 Dinâmica Veicular.....	20
2.2.1.1 Componentes de um sistema de suspensão	21
2.2.2 Grupos de suspensão veicular	22
2.2.2.1 Suspensão Dependente.....	22
2.2.2.2 Suspensão Independente.....	23
2.2.2.3 Suspensão Duplo A.....	24
2.2.2.4 Suspensão Semi-trailing arm	25
2.2.3 Parâmetros de Suspensão	25
2.2.4 Bump e Rebound Travel.....	30
2.2.5 Geometria de suspensão	31
2.2.6 Tirante.....	32
2.2.7 Suspensão traseira com barra guiadora	32
3. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	34
3.1 DETERMINAÇÃO DO PROBLEMA.....	34
3.2 PROJETO DE SUSPENSÃO	35
3.3 SIMULAÇÕES CINEMATICAS.....	36
3.3.1 MSC ADAMS	36
3.3.2 AutoDesk Inventor 2021	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1 IMPLEMENTAÇÃO DO TIRANTE	41
4.2 SIMULAÇÕES SOFTWARE ADAMS CAR.....	42
4.2.1 Simulações Comparativas da Suspensão Traseira.....	42
4.2.1.1 Parallel Wheel Travel	42
4.2.1.2 Oppositve Wheel Travel	43
4.2.2 Simulações Veiculo Completo	44
4.3 SIMULAÇÃO ANÁLISE DE TENSÃO	48

5. CONCLUSÃO.....	51
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1. INTRODUÇÃO

A indústria automobilística sempre se encontra em constante evolução, desde seu início em 1885, quando o engenheiro Karl Benz fabricou o primeiro veículo automotivo (DUARTE, 2017). Desde então diversos tipos e modelos de veículos foram produzidos, com variadas finalidades, sempre buscando inovações e melhorias. Com o intuito de produzir um modelo de veículo capaz de superar qualquer adversidade de terreno, foi desenvolvido o veículo tipo *off road*.

Os veículos *off road* são projetados para serem utilizados fora de estrada. Existem diversos tipos de veículos *off road*, o que diferencia entre eles são as características em relação a parâmetros, a geometria, dos subsistemas e sua finalidade, pois, há modelos que são produzidos para passeios recreativos, mas também há modelos elaborados para competições, onde é necessário cumprir determinado número de normas no veículo.

Diversas instituições promovem competições, dentre elas está a SAE Brasil (Sociedade de Engenheiros da Mobilidade) que promove, através de eventos, os mais diversos projetos desde o início de suas atividades no Brasil em 1991. Em 1994 foi lançado o Projeto Baja SAE BRASIL, equipes integradas por alunos de instituições de nível superior são desafiadas a projetar e fabricar veículos *off road* tipo baja, com o intuito de competir entre elas.

As competições Baja SAE BRASIL proporcionam aos estudantes de engenharia oportunidades de aplicar o estudo teórico aprendido em sala de aula, discentes que se submetem a participar deste tipo de projeto realizam todo processo que envolve na fabricação de um veículo *off road*, desde a parte de planejamento até a de construção e testes (SAE BRASIL, 2021).

O baja é um veículo que tem como características: o uso em terrenos acidentados, superar obstáculos propostos, grande capacidade trativa, etc. Esses automotores do tipo baja necessitam realizar estudos dinâmicos para comprovar a sua eficiência seus subsistemas quando submetidos a esses terrenos acidentados.

Antes da aplicação prática dos estudos dinâmicos é necessário validar os subsistemas para que não venha ocorrer falhas. Para este processo de validação pode ser através do método virtual, utilizando softwares como o Autodesk Inventor e MSC Adams

Car, pois, estes softwares são capazes de montar peças e outros componentes tanto em ambiente 2D e 3D, e também podem realizar diversos tipos de simulações que replicam de forma fidedigna as condições reais no qual o veículo pode ser submetido, auxiliando assim o estudo da geometria e da dinâmica do veículo.

O subsistema de suspensão é muito importante devido as suas funções serem extremamente relevantes para a dinâmica veicular. Na concepção de Duarte (2017), um ótimo projeto de suspensão é essencial na geração de um veículo, pois é responsável por absorver os impactos que o veículo pode vir a sofrer e também proporcionar uma melhor estabilidade ao automóvel.

Existem diversos parâmetros numa suspensão de um protótipo baja, tais como ângulo de toe camber e caster, que influenciam no comportamento do veículo por completo. O desenvolvimento da suspensão em si é realizado pensando justamente nestes parâmetros, as equipes ajustam os protótipos através destes parâmetros da geometria, para assim conseguir as características desejadas para o seu veículo.

Em um protótipo baja busca-se possuir características sobreesterçantes, pois auxiliam o veículo na realização de uma curva. A equipe Caraubaja SAE utiliza de um modelo de suspensão duplo A híbrido com adição de braço guiador na traseira do seu protótipo, este tipo de suspensão possui um excelente controle em seus parâmetros geométricos, e devido ao braço guiador também possui o comportamento sobreesterçante desejado. Porém uma das desvantagens deste modelo está no peso e na grande ocupação de espaço que é necessário neste tipo.

Este modelo de suspensão traseira é utilizado desde o primeiro protótipo da equipe Caraubaja em 2017. Através de levantamentos bibliográficos notou-se ser possível realizar uma alteração no tirante para reduzir a massa e o espaço ocupado na suspensão traseira, sem diminuir o comportamento sobreesterçante adquirido com a adição do mesmo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Realizar o Estudo dinâmico referente o novo modelo de tirante do veículo baja.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar o levantamento bibliográfico da dinâmica e dimensionamento do veículo e verificar sua influência no modelo de tirante atual;
- Simular a suspensão traseira do atual do protótipo e logo após simular com a implementação;
- Simular o carro completo com passagens em alguns obstáculos para obtenção dos esforços no tirante;
- Realizar uma simulação estrutural do tirante a ser dimensionado;
- Realizar a análise comparativa dos resultados obtidos nas simulações para diferentes condições e parâmetros de projeto;
- Verificar a eficácia da modificação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Veículos *off-road*

A indústria automobilística vem crescendo cada vez mais com o passar dos anos ao redor do mundo. Para Machado (2001) no Brasil a indústria automotiva é uma das principais engrenagens da economia. Devido ao rápido desenvolvimento na indústria automobilística, cada vez mais vem se cobrando no conceito e construção de um veículo, que demonstrem componentes projetados sob altos níveis de detalhismo e preciosismo, de tal forma a proporcionar conforto, desempenho e segurança.

Na concepção de Machado (2001) desde a aparição dos primeiros automóveis, deu-se início a uma crescente evolução na diversidade dos automóveis, surgindo assim distintas categorias. Dentre estes grupos se tem os veículos *off-road*, que são fabricados para transitar em situações de difícil acesso. Segundo Diniz (2014) as principais características destes veículos são: o aumento do vão do carro; suspensão reforçada; sistema de transmissão 4x4 ou 4x2; freios mais eficazes; componentes da massa não suspensa mais robustos; e tendência de sobreesterçamento. A Figura 1 demonstra alguns modelos de veículos *off-road*.

Figura 1: Veículos *off-road*



Fonte – Adaptado de Diniz (2014)

Dentre os diversos modelos de veículos que fazem parte da categoria dos *off-road* está o veículo tipo *baja*. Os veículos *baja* caracterizam-se pela sua segurança, resistência e por possuir uma projeção que o capacita percorrer terrenos acidentados sem que ocorra falhas. Para Kaffka (2009) o *baja* caracteriza-se como um veículo *off-road* com produção fora de série, possuindo um chassi tubular e suspensão independente nas quatro rodas.

Para Duarte (2017) o baja é um veículo *off-road*, recreativo, desenvolvido para ser resistente e seguro, pois é projetado pra transitar em terrenos irregulares

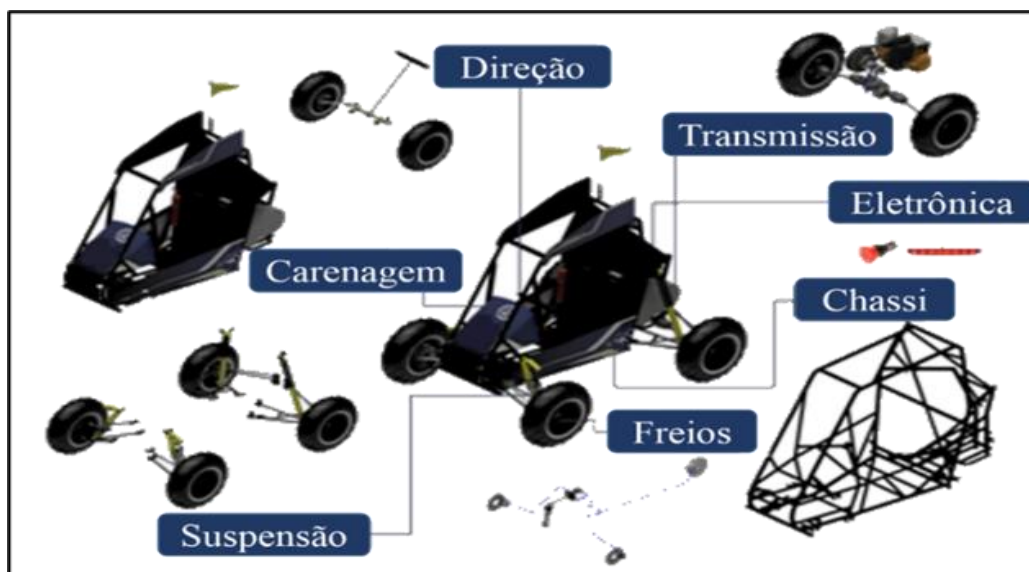
Os protótipos baja SAE tradicionais devem cumprir as normas definidas pela SAE Brasil (Society of Automotive Engineers - Sociedade da Engenharia Automotiva), para que possam vir a participar de suas competições, que se dividem em uma competição regional e nacional, ambas ocorrendo uma vez a cada ano. A Figura 2 apresenta um protótipo baja desenvolvido seguindo o regulamento da SAE Brasil.

Figura 2: Veículo Baja SAE tradicional



Fonte – caraubaja.com Acesso em: 02 de set. 2021

Na construção e projeto de um protótipo baja, tem-se o costume de realizar uma divisão dos subsistemas que compõe o veículo, afim de possibilitar maior eficiência e redução no tempo de execução. Assim, nas competições baja SAE Brasil, se faz necessário que seja apresentado de forma detalhada cada subsistema onde é levado muito em consideração a forma como apresenta-se o projeto e a metodologia que foi utilizada para chegar no modelo atual. A Figura 3 ilustra os principais subsistemas de um veículo baja: transmissão, direção, freios, chassi, elétrico, carenagem e suspensão (MELO, 2019).

Figura 3:Sistemas de um Veículo Baja SAE

Fonte – (Melo, 2019)

2.2 Suspensão

Dentre tantos subsistemas a suspensão enquadra-se entre os mais influentes no desempenho de um veículo. Para Ferreira (2003), a suspensão tem a função de absorver as vibrações e choques das rodas, proporcionando conforto aos ocupantes do veículo e garantindo a manutenção do contato das rodas com o solo. Logo, ela tem uma grande influência na estabilidade e dirigibilidade do veículo.

Por sua vez Diniz (2014) fala que o critério mais importante para um sistema de suspensão é o contato entre os pneus e a estrada, pois, caso não haja contato nas manobras de aceleração, travagem e curva serão impossíveis de serem realizadas.

Em um protótipo baja é fundamental que a suspensão absorva os impactos, mantendo assim sempre o contato pneu e solo, para que dessa forma o piloto consiga realizar as manobras necessárias. Entretanto estas características são contraditórias, pois um veículo que apresenta um alto conforto possui uma suspensão mais suave, o que dificulta para que haja o contato pneu-solo, para que o automóvel possua uma maior aderência com o terreno é recomendado uma suspensão mais rígida, devido a suspensão mais rígida proporcionar variação mínima de cargas nas rodas. Nota-se que, é necessário realizar sempre este encargo com as características apresentadas, as equilibrando, buscando sempre o âmbito da dinâmica veicular (DINIZ, 2014). A Figura 4 mostra um modelo de suspensão automotiva.

Figura 4: Suspensão automotiva Mcpherson



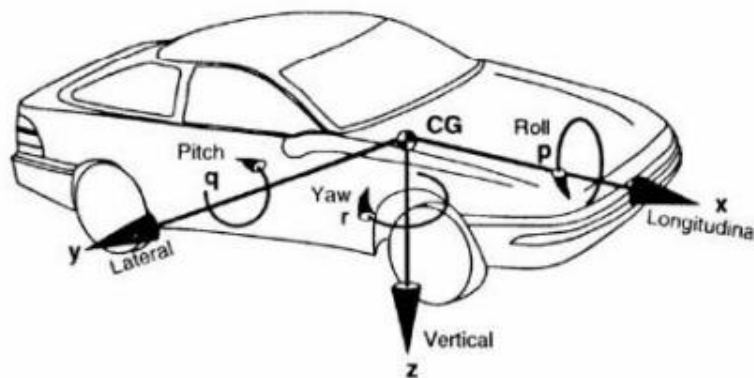
Fonte – educacaoautomotiva.com Acesso em: 03 de set. 2021

2.2.1 Dinâmica Veicular

De acordo com Rezende (2007), o principal foco dos estudos de dinâmica veicular em relação aos sistemas de suspensão visa a escolha adequadas dos parâmetros geométricos e físicos de tais sistemas para que estes possam trabalhar com maior eficiência.

A dinâmica veicular é responsável na avaliação da movimentação dos veículos sobre as consequências da pista, estando assim interligado diretamente ao desempenho dos componentes do sistema de suspensão. A dinâmica veicular se divide em 3 campos: dinâmica lateral, longitudinal e vertical. A dinâmica lateral é a principal responsável na estimativa das forças que são geradas no percorrer das manobras que o veículo realiza, através desta dinâmica é possível saber se o veículo manteve ou perdeu estabilidade no automotor. Já a dinâmica longitudinal examina as forças decorrentes a uma frenagem ou aceleração, buscando relações paramétricas da altura do CG (centro de gravidade) e aumento de guinada. Por fim a dinâmica vertical observa como o veículo e o piloto procedem com oscilações que ocorrem devido as imperfeições do solo ou agitações internas (DINIZ, 2014).

Diniz (2012) ressalta a importância de alguns movimentos que influenciam no comportamento do próprio veículo. A Figura 5 ilustra os sistemas de coordenadas desenvolvido pela SAE (Society of Automotive Engineers) localizado no centro de gravidade do veículo.

Figura 5: Componentes de Suspensão

Fonte – (Gillespie, 1992)

2.2.1.1 Componentes de um sistema de suspensão

Segundo Diniz (2014) Os componentes de um sistema de suspensão se dividem em três grupos: conjunto roda, elementos orientadores e elementos de força. Observa-se na Figura 6 os componentes em uma suspensão do tipo duplo A.

Figura 6: Componentes de Suspensão

Fonte – (Diniz, 2014)

O conjunto de roda é composto por componentes que estão próximos a roda, como exemplo: manga de eixo, cubo de roda, pinça de freio, pneu, entre outros. Os elementos orientadores interligam a roda ao chassi do veículo, são responsáveis pela cinemática da suspensão, compostos por: bandeja de suspensão, tirantes e qualquer outro componente de ligação envolvido. Os elementos de força tais como molas e amortecedores, tem o dever de suportar as cargas estáticas e dinâmicas que o veículo é submetido (DINIZ, 2014).

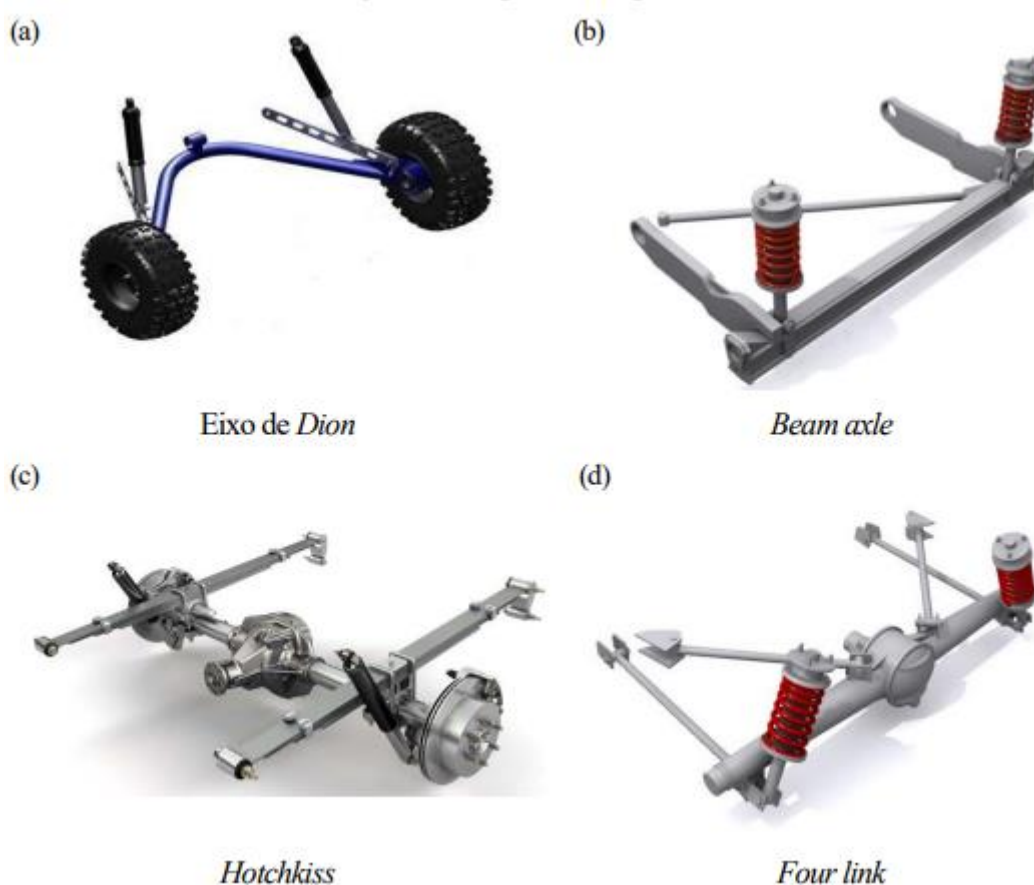
2.2.2 Grupos de suspensão veicular

De acordo com Kaffka (2009), os principais grupos de suspensão para veículos *off-road* são as suspensões dependentes e independentes. Dentro destes grupos existem diversos tipos de suspensões, com cada modelo possuindo vantagens e desvantagens, variando de acordo com o que o veículo necessita proporcionar.

2.2.2.1 Suspensão Dependente

A suspensão dependente ou suspensão de eixo rígido é um grupo de suspensão que se caracteriza por ocasionar o movimento roda do mesmo eixo. Ou seja, se uma roda passar por um buraco vai influenciar na outra roda do mesmo eixo, mesmo que a outra roda não tenha passado por este desnível. Esta categoria destaca-se por suportar maior quantidade de peso na massa da carroceria e por não possuir variação de cambagem enquanto ocorre a rolagem do chassi. Como já foi mencionado o veículo acaba perdendo tanto no conforto quanto na estabilidade, devido à baixa absorção de vibrações (DINIZ, 2014). A Figura 7 demonstra alguns modelos de suspensões dependentes.

Figura 7: Suspensão Dependente



Fonte – (Diniz, 2014)

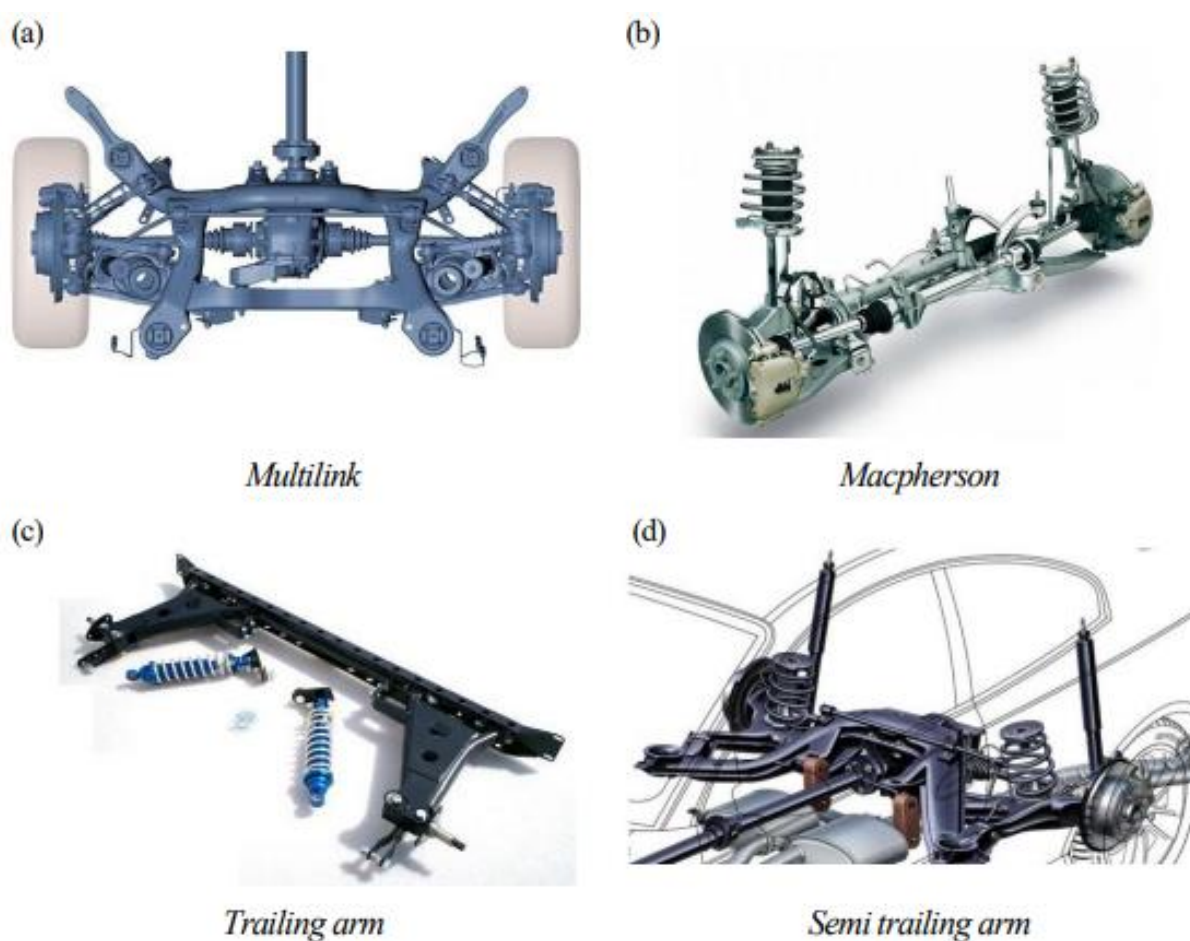
Ferreira (2003) afirma que este sistema é bastante utilizado nas suspensões traseiras de muitos carros e na maioria dos caminhões.

2.2.2.2 Suspensão Independente

Este grupo de suspensão possibilita que o movimento vertical de uma roda não influencie na outra de mesmo eixo. As principais vantagens deste tipo ocorrem devido a redução da massa não suspensa, um maior espaço para montagem e possibilitando um melhor controle dos parâmetros de geometria (GILLESPIE, 1992).

Este modelo de suspensão é muito utilizado na suspensão dianteira de diversos veículos, Diniz (2014) relata que a maioria dos carros de passeios e caminhões leves utilizam suspensão independente nas rodas dianteiras, já os veículos de competição usam, na maioria das vezes, este tipo de suspensão nas rodas dianteiras (principalmente) e traseiras. A Figura 8 demonstra alguns modelos de suspensões independentes.

Figura 8: Suspensão Independente



Fonte – (Diniz, 2014)

2.2.2.3 Suspensão Duplo A

Também conhecida como *Double Wishbone* e SLA (*Short long Arm*) este modelo de suspensão independente, que garante uma excelente estabilidade, devido a não aceitar variação de cambagem e ter um bom domínio sobre a convergência. Este modelo pode vir a ser usado tanto na traseira quanto na dianteira do veículo, porém, acaba por ser mais utilizado na dianteira, pois devido a apresentar elevada estabilidade dinâmica dificulta no comportamento sobreesterçante, assim limitando para o uso de suspensão traseira (COSTA, 2017).

Diniz (2014) afirma que a suspensão dupla A tem uma excelente disposição mecânica e geométrica. Formada por braços transversais que interligam a manga de eixo a o chassi do veículo, possui também a capacidade de acoplamento dos amortecedores, para que assim absorva as vibrações. A Figura 9 demonstra este modelo de suspensão.

Figura 9: Suspensão Duplo A



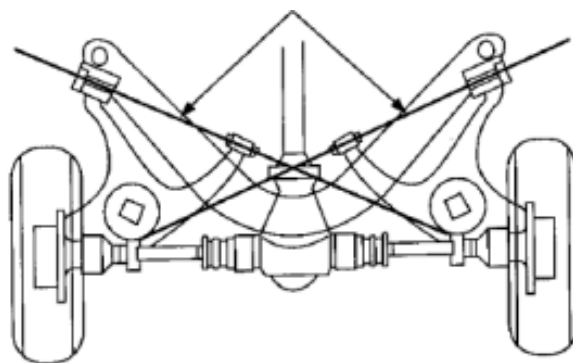
Fonte – (Costa, 2017)

As principais vantagens deste tipo de suspensão estão nas possibilidades cinemáticas. Almeida (2012) relata as principais vantagens e desvantagens deste tipo de suspensão. Entre as vantagens: Pouca vibração transmitida à estrutura do veículo, curso útil alongado, possibilidade de configuração sobreesterçante ou subesterçante, controle mais preciso do ângulo de *camber*, pequena variação de bitola ao longo do curso e elementos resistentes. Entre as Desvantagens: Redundância de elementos de ligação, necessidade de muito espaço para instalação, custo elevado em comparação com os outros sistemas, necessidade de um dimensionamento criterioso para o correto funcionamento.

2.2.2.4 Suspensão *Semi-trailing arm*

A suspensão *semi-trailing arm* é uma variante do modelo de suspensão *trailing arm*, que tem como seus principais aspectos a simplicidade do sistema, que não deixa ocorrer alteração na cambagem e qualquer movimento lateral no que se refere ao chassi. A *semi-trailing arm*, difere-se devido a possibilidade de inclinação da badeja, que concede alteração tanto no ângulo de *caster* quanto de *camber*, dependendo do ângulo da inclinação. A Figura 10 demonstra este modelo de suspensão.

Figura 10: Suspensão *Semi-trailing arm*



Fonte – (Gillespie, 1992)

2.2.3 Parâmetros de Suspensão

A suspensão possui diversos parâmetros, que influenciam nela como um todo para seu devido funcionamento, dependendo do tipo e do grupo da suspensão se pode ter uma maior liberdade para alteração e manejo destes parâmetros. Dentre estes parâmetros enquadram-se: Ângulo de *camber*, pino mestre, ângulo de *caster*, ângulo de *toe*, entre eixo, bitola,

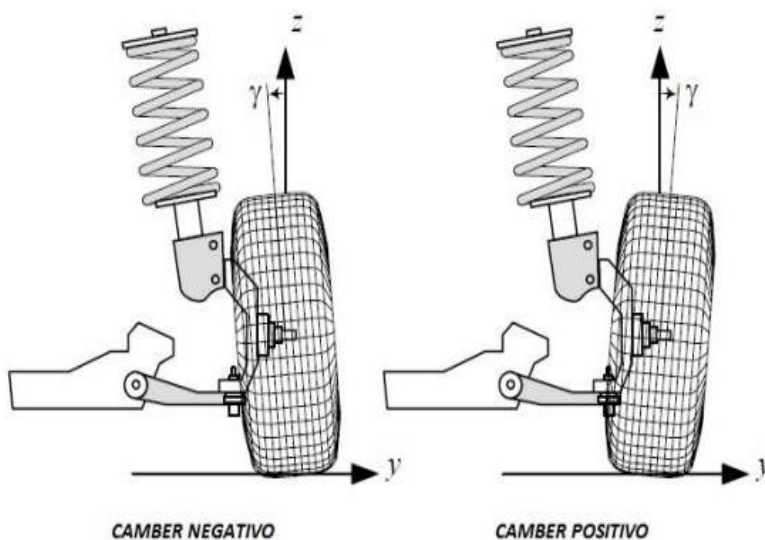
- **Ângulo de *camber*:**

Na concepção de Torres (2011) o ângulo de *camber* é a inclinação da roda em função a vista frontal vertical do veículo. Este parâmetro é essencial nas curvas, pois é responsável pelo contato do pneu com o terreno, se a angulação do *camber* for muito elevada pode ocasionar na dificuldade de dirigibilidade em segmentos retilíneos.

No instante que a parte superior da roda se inclina no sentido anti-horário, ou seja, em direção ao chassi se tem o *camber* negativo. A cambagem negativa é ideal para a não derrapagem dos veículos em uma curva, porém, se usados de modo excessivo a cambagem negativa pode vir a provocar um maior desgaste no lado do pneu, que vai de encontro ao chassi, assim dificultando o contato pneu solo. O *camber* positivo de forma

contrária ao negativo, inclina-se em direção oposta, no caso o sentido horário. É muito utilizada para veículos mais robustos, pois devido ao peso quando entram em contato com o solo tendem a ficar negativo, a excessividade de cambagem positiva causa grande desgaste no lado do pneu, que vai em direção oposta ao chassi fazendo com que assim o veículo fique mais propenso a derrapagens em curvas (REIMPELL, STOLL e BETZLER, 2001). Observa-se estas situações na Figura 11, onde a variação do ângulo em relação ao plano vertical do pneu, está sendo representado por “ γ ”.

Figura 11: Ângulo de *camber*



Fonte – (Jazar, 2008)

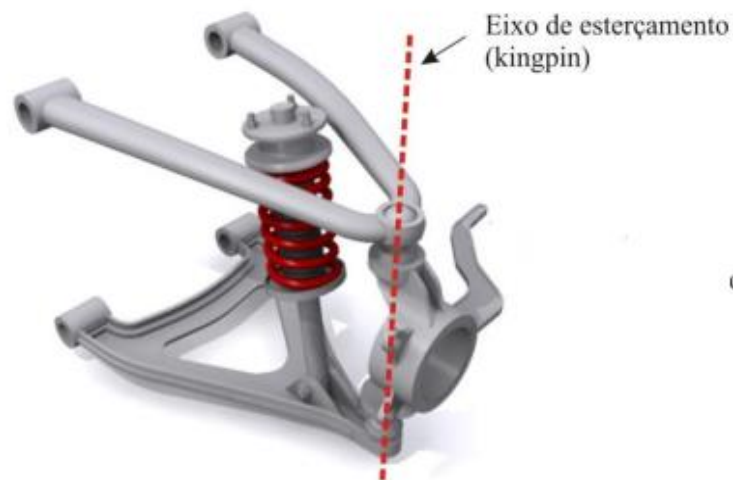
Rezende (2007) afirma que a variação do ângulo de *camber* muda drasticamente a pressão de contato vertical nos pneus, assim mudando também a tração que o veículo pode vir a exercer.

- **Pino Mestre**

Em um modelo de suspensão duplo A o pino mestre é o vetor que atua inicialmente entre as articulações da bandeja inferior e a manga de eixo e acaba entre a bandeja superior e a manga de eixo (ALMEIDA, 2012).

Costa (2017) retrata que o pino mestre auxilia na dirigibilidade, pois possibilita que o veículo tenha uma direção mais tênue, também permite o auto alinhamento, que é nome da ocorrência que se dá quando o veículo volta para sua colocação original de forma autônoma. A Figura 12 ilustra o eixo do pino mestre em uma suspensão tipo duplo A.

Figura 12: Eixo do Pino mestre

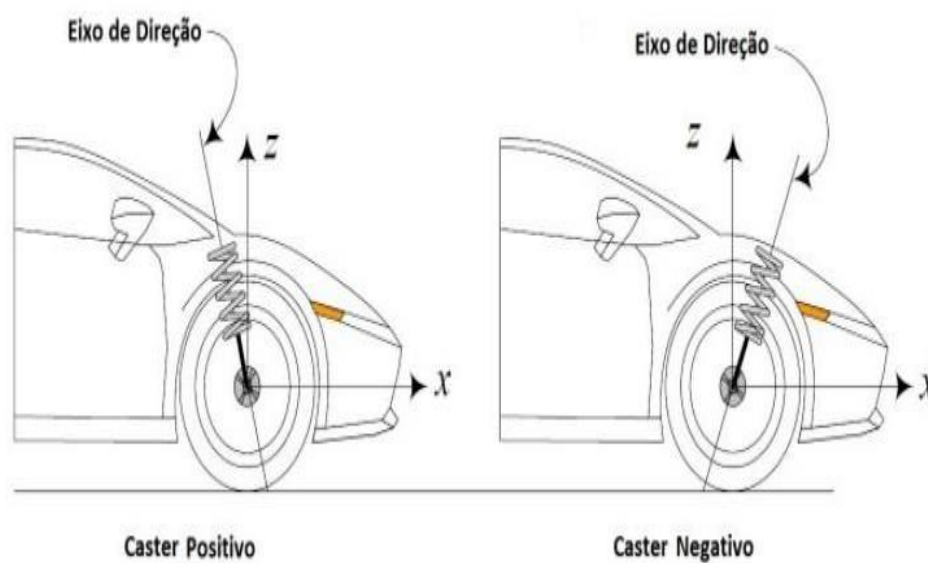


Fonte – (Torres, 2011)

- **Ângulo de caster**

Diniz (2014) descreve o ângulo de *caster*, em vista lateral, como o ângulo que se situa entre o pino mestre e o eixo vertical do veículo. O ângulo é positivo quando a parte superior do pino mestre se encontra inclinada para a traseira do veículo, e negativo quando está inclinado para a parte frontal. A Figura 13 demonstra o *caster* positivo e negativo.

Figura 13: Ângulo de caster



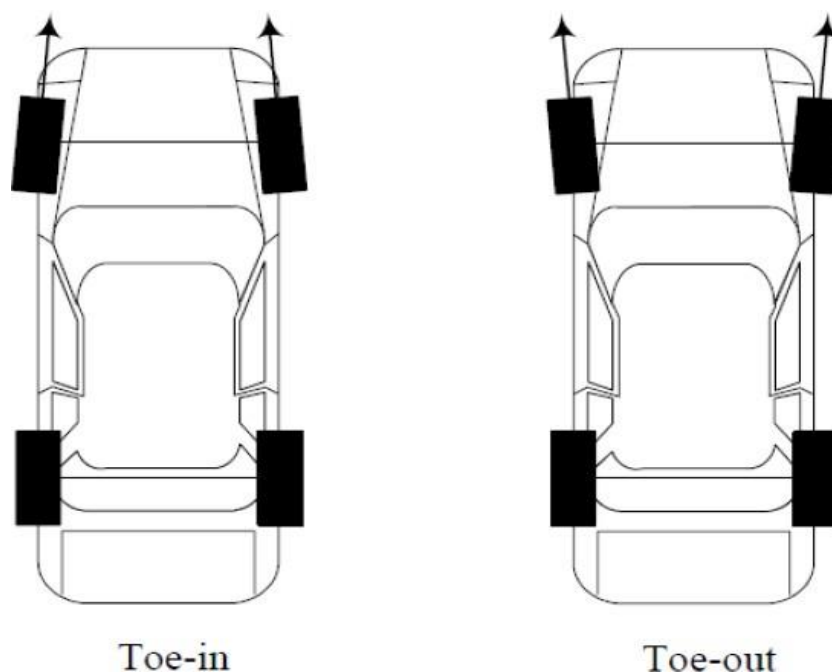
Fonte – (Jazar, 2008)

A angulação de caster positiva proporciona ao veículo vantagem em curvas, devido as mudanças possíveis que se pode ter em relação ao camber. A principal inconveniência provida da variação dinâmica do caster está na alteração que é sofrida, pois, se não ocorresse não haveria mudanças no torque auto-alinhante. O ângulo de caster possibilita ao veículo uma melhor constância direcional em um trecho retilíneo e que o volante volte para sua posição inicial após uma curva (FERREIRA, 2003).

- **Ângulo de toe**

O ângulo de toe corresponde ao paralelismo entre as rodas do mesmo eixo, comparando as mesmas uma com a outra enquanto o veículo percorre, o que faz com que não haja qualquer tipo de atrito lateral do pneu com o solo. Quando este par de rodas se encontram com as bordas dianteiras dos pneus apontadas um para o outro diz-se que as rodas estão convergindo, também conhecido como *toe in*, no caso contrário onde as bordas apontam para o lado contrário uma da outra se tem a divergência, conhecido como *toe out* (JAZAR, 2008). A Figura 14 exemplifica de forma clara este parâmetro.

Figura 14: Ângulo de toe

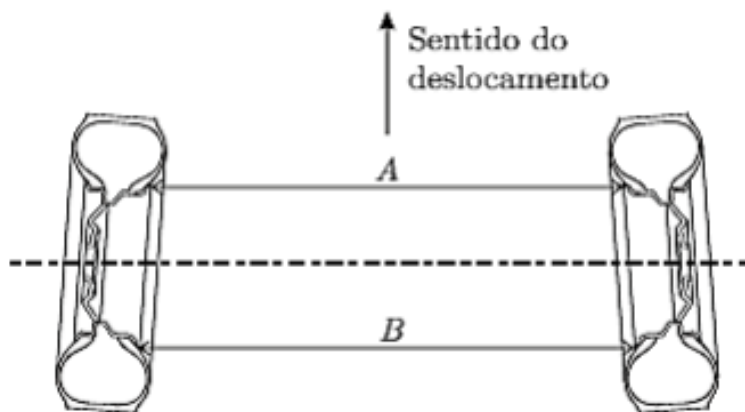


Fonte – (Jazar, 2008)

A convergência e divergência das rodas em relação ao veículo consiste na somatória dos ângulos de cada roda. Nicolazzi (2008) relata que a convergência é a diferença $C = B - A$, em mm, estas grandezas são medidas entre os aros, na altura dos centros das rodas quando em posição de linha reta.

Diniz (2014) afirma que durante o curso da suspensão de um modelo duplo A o ângulo de convergência altera-se, surgindo assim forças que atuam no desempenho direcional do veículo em quanto realiza uma curva. Utiliza-se esta variação angular na suspensão traseira de veículo *off-road*, buscando o efeito sobreesterçante que ocorre devido ao deslocamento das rodas em relação a rolagem do chassi. A Figura 15 demonstra a convergência das rodas.

Figura 15: Convergência das rodas

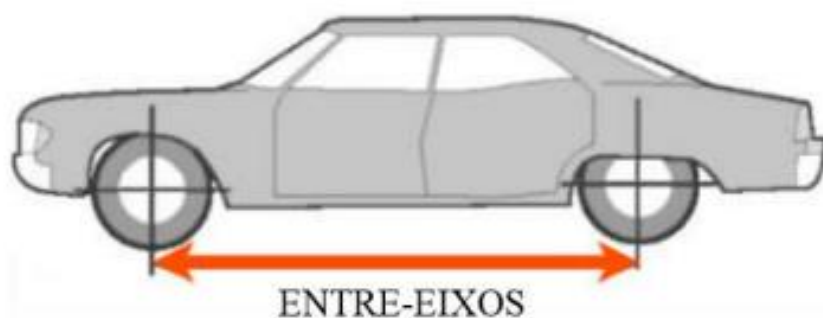


Fonte – (Nicolazzi, 2008)

- **Entre eixo**

Entre eixo é um parâmetro que é definido desde a parte de projeção de um veículo, devido a sua relevância para o esboço inicial de um protótipo. O entre eixo (também denominado *wheelbase*) é medido a partir do centro da roda dianteira até o centro da roda traseira. Tem grande influência na dirigibilidade, pois, o quanto maior for o *wheelbase* em relação ao total comprimento do veículo, maior será o espaço para os passageiros, reduzindo assim a influência da carga na distribuição da carga por eixo (REIMPELL, STOLL e BETZLER, 2001). A Figura 16 ilustra o entre eixo de um veículo.

Figura 16: Entre eixo



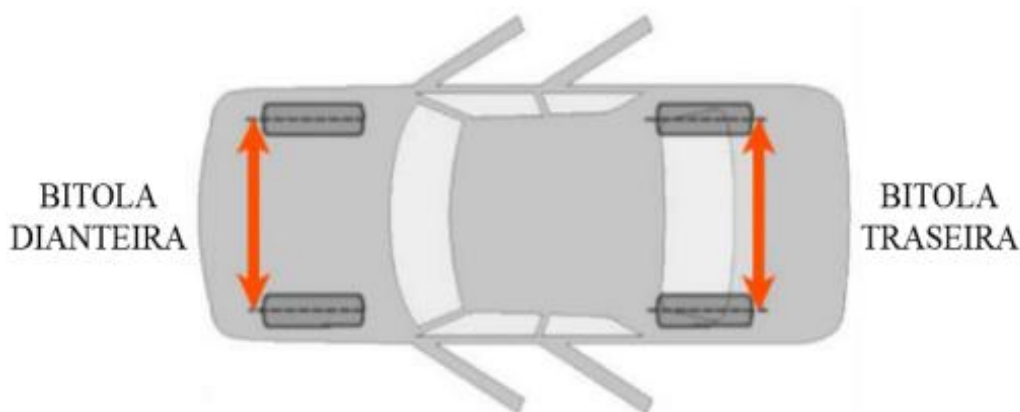
Fonte – (Melo, 2019)

Diniz (2014) ressalta a importância do entre eixo na dinâmica vertical, sobretudo nos modos de vibrar com o movimento vertical e de arfagem da massa suspensa, que vem a ocorrer devido ao fenômeno de filtro entre eixos.

- **Bitola**

Na concepção de Rezende (2007) a bitola é determinada em cargo da largura do veículo. Quanto maior for a bitola frontal de um automóvel menor será a intensidade do rolamento no chassi e a diminuição da transferência de carga lateral, fazendo com que haja ganho no desempenho de uma curva. Devido a maior área frontal o veículo gera aumento nas forças de arrasto aerodinâmico. A Figura 17 mostra a distância da bitola de um veículo.

Figura 17: Bitola



Fonte – (Melo, 2019)

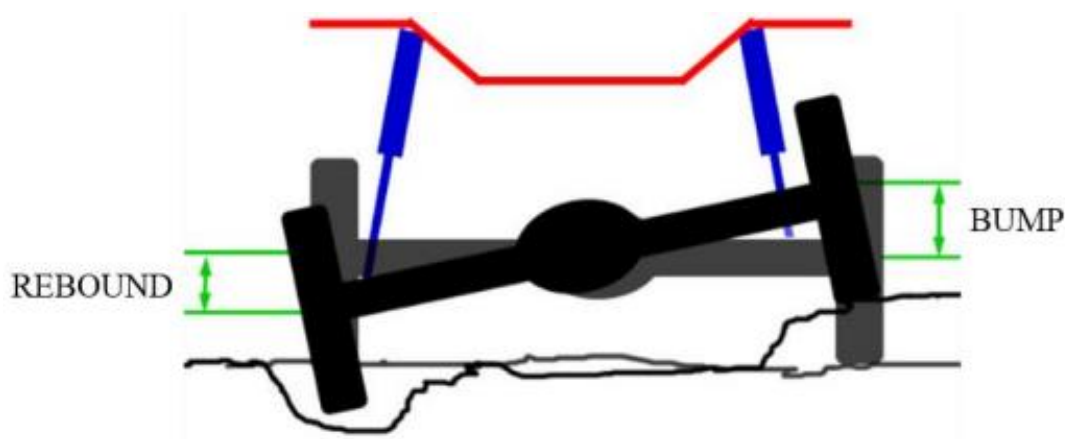
Almeida (2012) enfatiza relação da bitola e a estabilidade do veículo. O quanto maior for a dimensão da bitola, melhor ira performar em trechos de alta velocidade e curvas, no entanto o raio de giro do veículo também será maior, o que dificulta para curvas menores.

2.2.4 Bump e Rebound Travel

De acordo com Diniz (2014), o *bump*, também chamado *jounce*, pode ser denominado como o movimento relativo entre a massa suspensa e não suspensa de um sistema de suspensão, no qual se tem uma diminuição da distância das massas de acordo com o comportamento estático.

Segundo Almeida (2012), o parâmetro de *rebound* é justamente o oposto do *jounce*, sendo assim o movimento descendente culminante. A Figura 18 ilustra ambos parâmetros para o movimento da suspensão.

Figura 18: Bump e Rebound Travel



Fonte – (Melo, 2019)

2.2.5 Geometria de suspensão

A geometria de suspensão é diferente para cada tipo de veículo, pois, este tema abrange toda a massa suspensa e não suspensa que se conecta no veículo desta forma controlando a força nestas massas (DUARTE, 2017).

- **Centro Instantâneo – CI**

Costa (2017) relata que o centro instantâneo se refere justamente a um ponto imaginário definido para o giro do conjunto, naquele exato momento.

Diniz (2014) ressalta a importância do CI, visto que influencia de forma direta no ângulo de *camber* da roda no percorrer do deslocamento vertical da suspensão. A Figura 19 mostra este Centro instantâneo (ponto denominado como Polo na Figura 19), em uma geometria frontal de suspensão tipo duplo A.

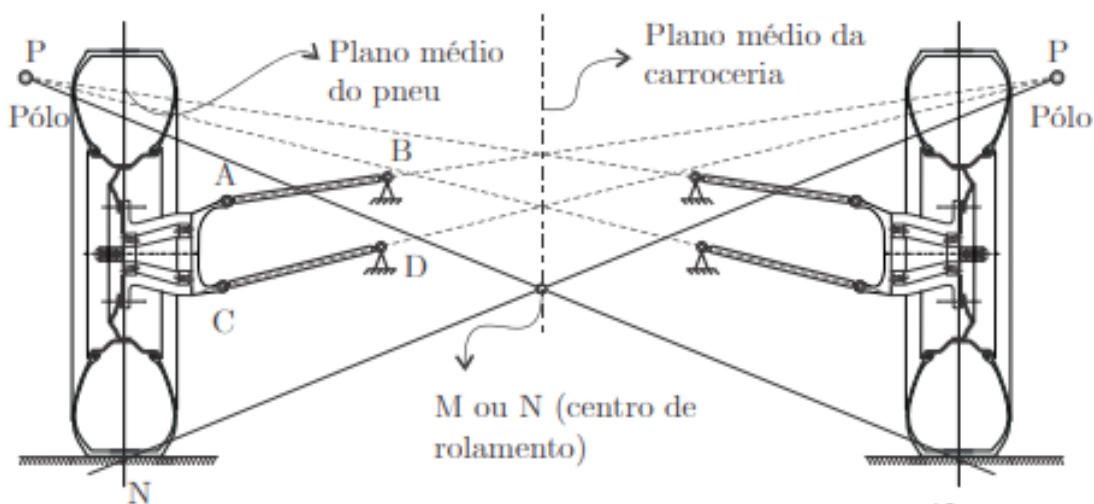
- **Roll Center**

Na concepção de Duarte (2017), o *roll center*, também conhecido como centro de rolagem, é definido como o ponto sobre o qual o corpo do veículo rola. Existem dois centros de rolagem em um veículo, um para traseira e outro para dianteira. A Figura 19 demonstra o centro de rolamento, em uma geometria frontal de suspensão modelo duplo A

- **Roll Axis**

Roll axis consiste no eixo que interliga o *roll center* da dianteira com da traseira. É de suma importância, pois determinando a sua altura juntamente com os do centro de rolagem da dianteira e traseira, pode-se determinar a diferença de carga de ambas as rodas (REIMPELL, STOLL e BETZLER, 2001).

Figura 19: Geometria frontal da suspensão duplo A



Fonte – (Nicollazi, 2008)

2.2.6 Tirante

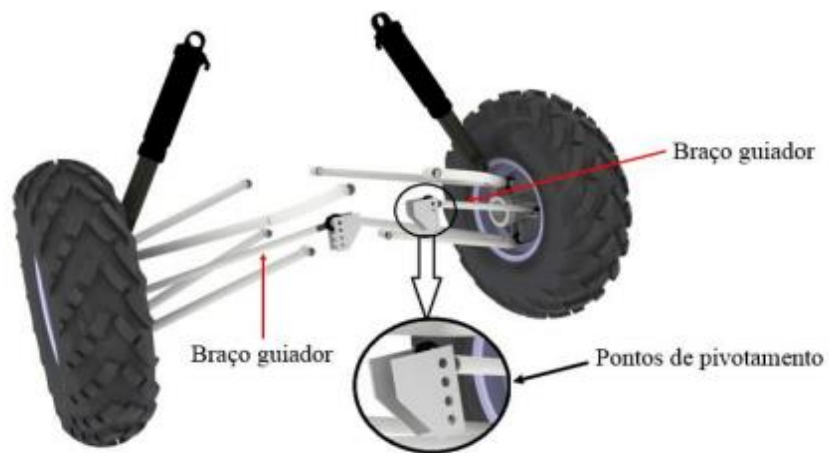
Também denotado como braço guiador ou barra guiadora, o tirante é responsável pela recepção das forças de torção que o chassi venha a sofrer, assim sendo necessário uma excelente interação da barra guiadora e das rodas.

A utilização de tirantes possibilita ter inúmeras configurações para diversos tipos de posicionamento por meio de pontos de pivotamento disponíveis no chassi que permite aumentar ou diminuir a variação de convergência e alterar os níveis de instabilidade na dinâmica lateral que o veículo pode obter (DINIZ, 2014).

2.2.7 Suspensão traseira com barra guiadora

Diniz (2012) desenvolve esta ideia com o intuito de utilizar as vantagens de controle de parâmetros que o modelo de suspensão duplo A oferece também para a suspensão traseira. Devido a suspensão duplo A não conseguir oferecer o comportamento sobreesterçante no sistema é aí onde braço guiador faz a diferença. A Figura 20 ilustra este modelo com a modificação.

Figura 20: Suspensão traseira com braço guiador



Fonte – (Diniz, 2012)

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

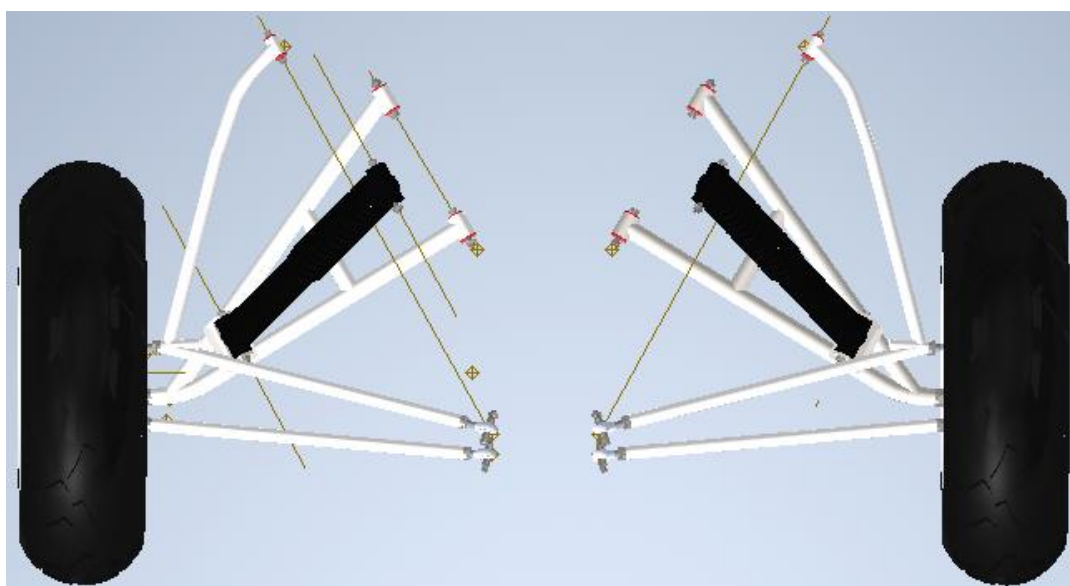
3.1 Determinação do problema

A equipe Caraubaja SAE desde o seu início em 2015 tem buscado realizar implementações, que sejam significativas para o projeto. Estas alterações ocorrem nas equipes baja em geral, sempre procurando uma constante evolução, estas modificações variam de acordo com a necessidade e objetivo da equipe com o seu protótipo. Indo desde de reduzir ou alterar equipamentos, modificações paramétricas e geométricas.

A equipe destaca-se em alguns subsistemas, dentre eles o de suspensão, chegando a ficar em segundo lugar na competição Baja SAE etapa Nordeste 2018. Este subsistema vem sofrendo constantes alterações em busca de inovação. A suspensão dianteira foi a que mais alterou desde o início, sempre buscando aperfeiçoamento em suas implementações. A suspensão traseira não sofreu tantas modificações, nesse contexto percebe-se a possibilidade de projetar um novo modelo de tirante para suspensão traseira.

A implementação possui o intuito de reduzir a massa dos modelos atuais de tirantes e possibilitar mudanças no comportamento dinâmico do veículo. De forma que a alteração implementa melhorias sem alterar outros parâmetros e também não possui ônus financeiro para o projeto, pois o material utilizado será o mesmo. A Figura 21 ilustra a suspensão traseira do SEVERO 2.0 (protótipo Caraubaja SAE) no ambiente do Autodesk Inventor.

Figura 21: Suspensão traseira SEVERO 2.0 software Inventor



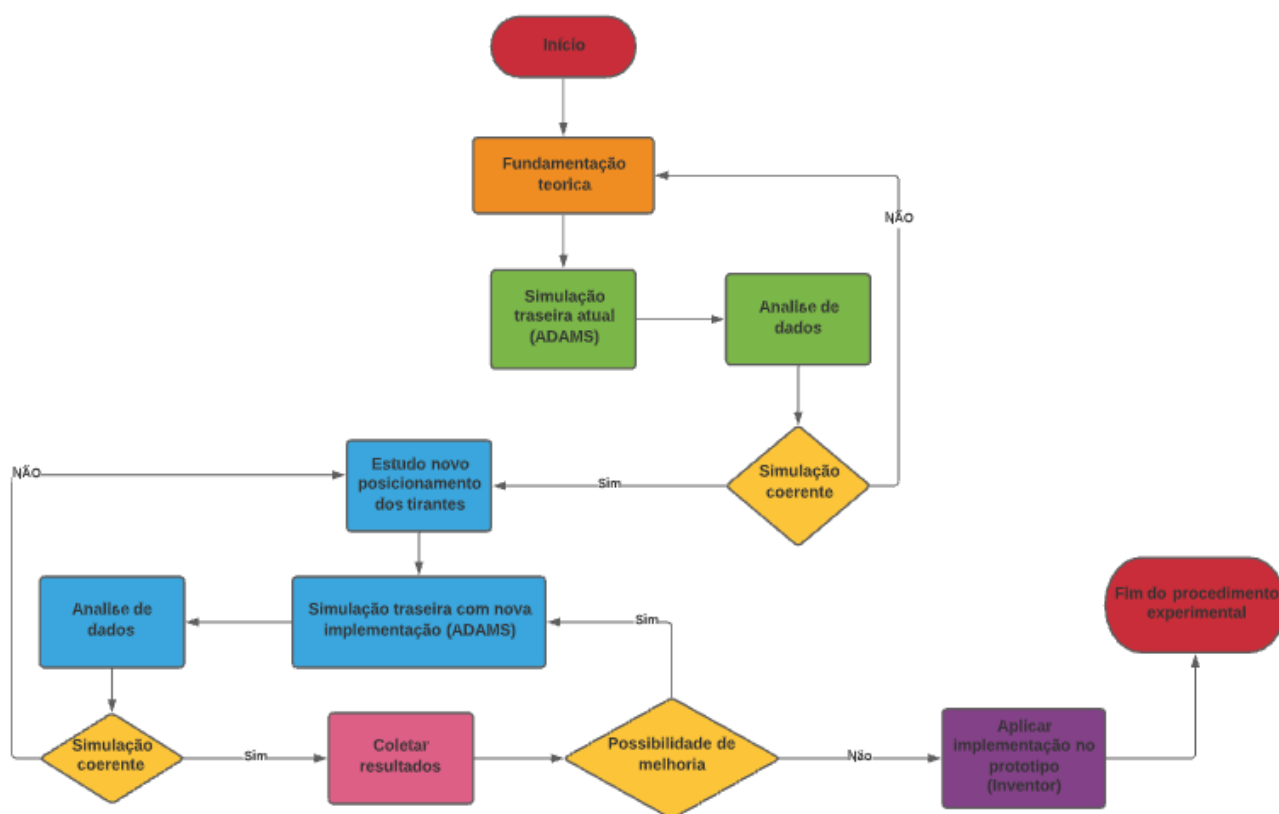
Fonte – Autoria Própria

3.2 Projeto de Suspensão

Tendo como finalidade a implementação de um novo modelo de tirante estudou-se o modelo de suspensão traseira atual do protótipo. A equipe Caraubaja SAE utiliza de uma suspensão híbrida, que consiste em uma suspensão duplo A e *semi-trailing arm*, a Figura 21 ilustra o modelo.

Para realizar este tipo de implementação utiliza-se de softwares que possibilitem realizar simulações cinemáticas, para que assim se possa alterar livremente os parâmetros e a geometria do veículo, com o intuito de validar a modificação. A Figura 22 demonstra o fluxograma realizado para a realização da implementação.

Figura 22: Fluxograma para desenvolvimento do trabalho



Fonte – Autoria Própria

Utiliza-se de diversos parâmetros do protótipo baja para realizar as simulações cinemáticas nos softwares, parâmetros estes que são obtidos através das medidas reais do protótipo desenvolvido e estudado pela equipe Caraubaja SAE. A Tabela 1 apresenta estes parâmetros.

Tabela 1: Parâmetros Utilizados

Parâmetros do Veículo	Dimensões
Entre eixos	1450 mm
Bitola	1300 mm
Raio do Pneu	292,1 mm
Largura do Pneu	177,8 mm
Distância do Pino Mestre a fixação do braço de direção	62,8 mm
Distância do CG (positivo para frente)	725 mm
Ângulo de Caster	20° graus

Fonte – Autoria Própria

Utiliza-se do programa MSC ADAMS CAR para a realização das simulações e obtenção de resultados para análise. A partir de dados coerentes nas simulações é possível observar a implementação, afim de verificar as alterações que vão se acarretar.

3.3 Simulações Cinemáticas

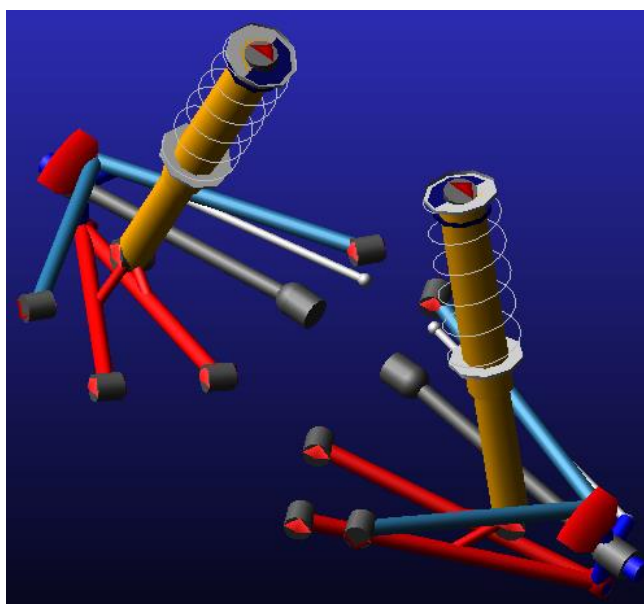
3.3.1 MSC ADAMS

O software MSC ADAMS CAR (sigla de *Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems*) foi o escolhido para realizar as simulações desta implementação, devido a possibilitar ao usuário inúmeras formas de simulações dinâmicas em três dimensões. A Figura 23 ilustra a suspensão traseira do protótipo SEVERO 2.0 neste ambiente.

Diniz (2014) diz que o ADAMS CAR é um software que trabalha a dinâmica com a técnica multicorpos, permitindo detalhar as forças e cargas, assim permitindo uma melhor otimização dos subsistemas.

O software utiliza-se dos pontos do subsistema de suspensão para conseguir modelar em 3D. Estes pontos extraídos devem ser utilizados para aplicar os *hardpoints* no ADAMS CAR, dessa forma alterando o modelo base de suspensão do software para o modelo da suspensão do SEVERO 2.0.

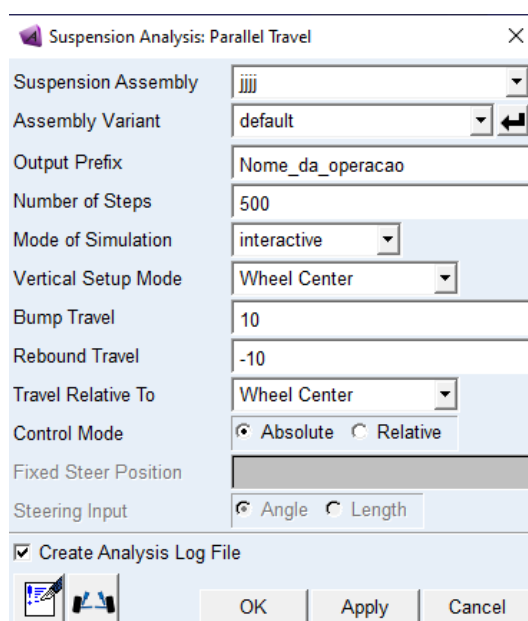
Figura 23: Suspensão traseira SEVERO 2.0 software ADAMS/Car



Fonte – Autoria Própria

Através das simulações *wheel travel* pode-se verificar parâmetros na suspensão, de forma que as rodas possam variar verticalmente. Sempre antes de realizar alguma simulação é necessário estabelecer o nome da simulação, a quantidade de passos a serem analisados e determinar quanto se quer de *bound* e *rebound*, estas determinações são de extrema importância para ter uma melhor análise de variações de parâmetros como *camber*, *toe* e *caster*. A Figura 24 ilustra esta interface.

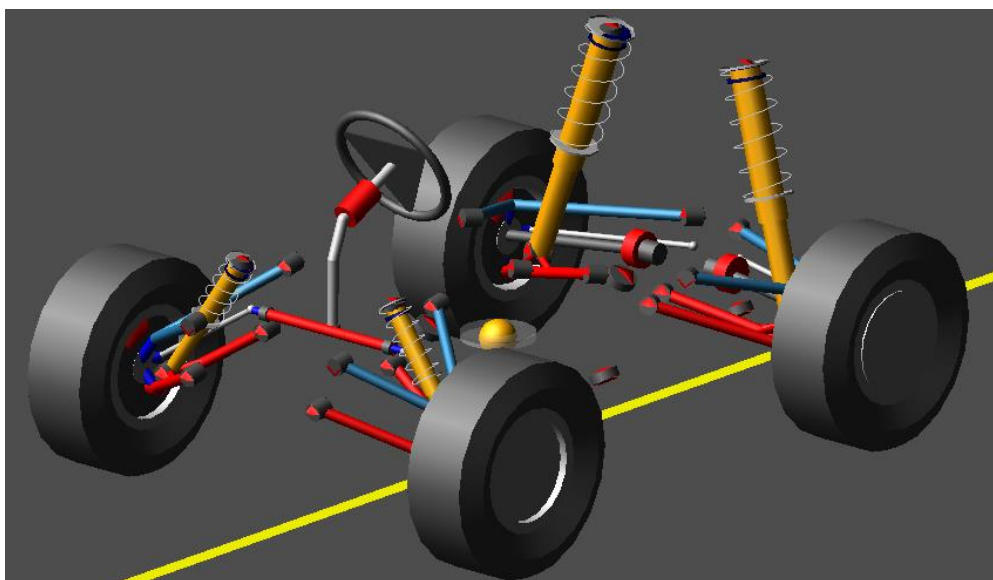
Figura 24: Interface de Análise de Suspensão ADAMS/Car



Fonte – Autoria Própria

Realizou-se análises com o protótipo SEVERO 2.0 completamente montado no ambiente ADAMS CAR. Através *course event 3D road* que é uma simulação *Full vehicle analysis* é capaz de simular o Baja em uma pista com obstáculos, verificando-se assim os esforços que o veículo é submetido. A Figura 25 Ilustra o Protótipo SEVERO 2.0 completamente montado no software ADAMS/Car.

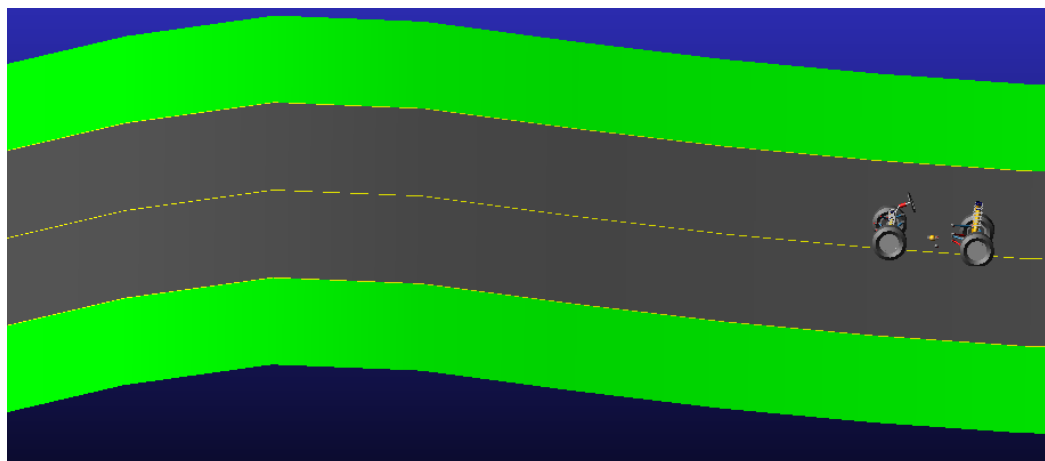
Figura 25: Protótipo SEVERO 2.0 ADAMS/Car



Fonte – Autoria Própria

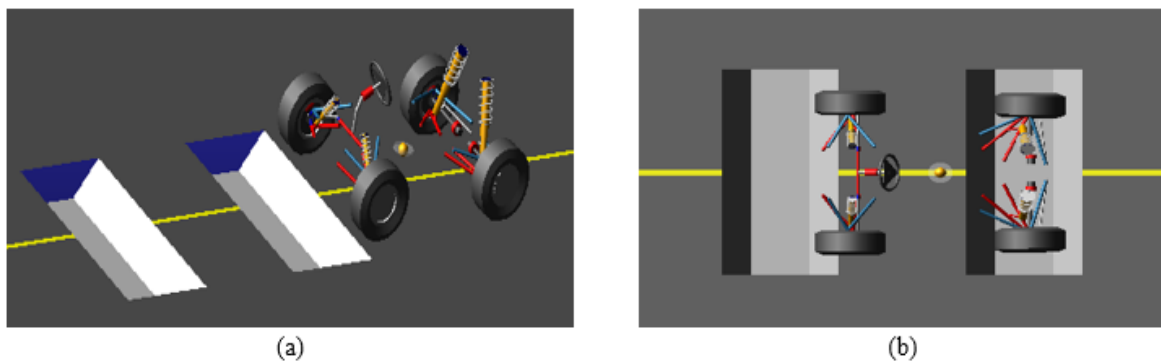
Seguindo os parâmetros do protótipo SEVERO 2.0, adotou-se as seguintes configurações nestas simulações: tempo de simulação 20 segundos; 300 *steps*; a velocidades iniciais 20, 25, e 30 km/h. A Figura 26 e 27 ilustra o veículo em um ambiente simulado com alguns obstáculos.

Figura 26: Protótipo percorrendo por uma pequena elevação na pista



Fonte – Autoria Própria

Figura 27: Baja percorrendo por valas. (a) vista lateral, (b) vista de cima



Fonte – Autoria Própria

3.3.2 AutoDesk Inventor 2021

O Autodesk Inventor proporciona modelagem de peças tanto em 2d, quanto em 3d, em escala real. Possibilitando a modelagem do veículo completo em escala real. A Figura 28 demonstra o protótipo SEVERO 2.0 completamente modelado em 3d, seguindo os parâmetros e medidas adotados pela equipe Caraubaja SAE

Figura 28: Protótipo SEVERO 2.0 Autodesk Inventor



Fonte – Equipe Caraubaja SAE

Possuindo também ferramentas de simulações úteis para validação do protótipo, este software foi utilizado para demonstrar aos pontos de força que é submetida a implementação.

A simulação do tirante consistiu em uma análise de tensão sobre o mesmo. Utilizou-se o mesmo material do modelo anterior (aço 1020). Aplicou-se em uma das

suas extremidades engaste, afim de simular o terminal rotular, e na outra extremidade adotou-se forças, que variaram de acordo com a velocidade do veículo.

A partir do processo de simulação analisou-se a tensão de Von Mises, afim de analisar o limite da tensão. Observando a taxa de convergência da tensão determinou-se a probabilidade de ocorrer uma falha.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Implementação do Tirante

Através do embasamento teórico que está presente no trabalho foi possível realizar a implementação para um novo modelo de tirante. A Tabela 2 demonstra os valores das massas dos componentes que compõe a suspensão traseira do protótipo SEVERO 2.0 com o incremento do novo modelo de tirante.

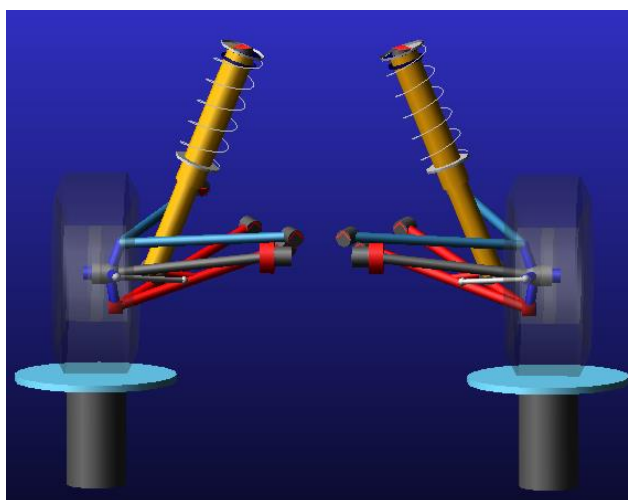
Tabela 2: Massas dos componentes utilizados

Componentes	Massa
Bandeja superior	1,4 kg
Bandeja inferior	2,45 kg
Montante	2,8 kg
Amortecedor	4,6 kg
Tirante	0,8 kg

Fonte – Autoria Própria

Notou-se que é possível realizar uma redução de massa no tirante em relação ao do protótipo SEVERO 2.0, o protótipo conta com dois tirantes com 0,8 kg de massa. Testou-se um novo modelo com 0,5 kg, se observou que a suspensão consegue desempenhar o mesmo comportamento mesmo com esta variação de massa nos tirantes. A Figura 29 ilustra a suspensão traseira no ambiente ADAMS CAR com o novo modelo de tirante.

Figura 29: Suspensão Traseira com o novo modelo de tirante



Fonte – Autoria Própria

4.2 Simulações Software ADAMS CAR

Através do software ADAMS CAR foi possível realizar simulações isoladas com a suspensão traseira do veículo. Foi realizado dois tipos distintos de simulação *Parallel Wheel Travel* e *Opposite Wheel Travel*. Para que assim se possa analisar as variações dos parâmetros da suspensão, com e sem a implementação, fazendo assim um comparativo entre as mesmas.

4.2.1 Simulações Comparativas da Suspensão Traseira

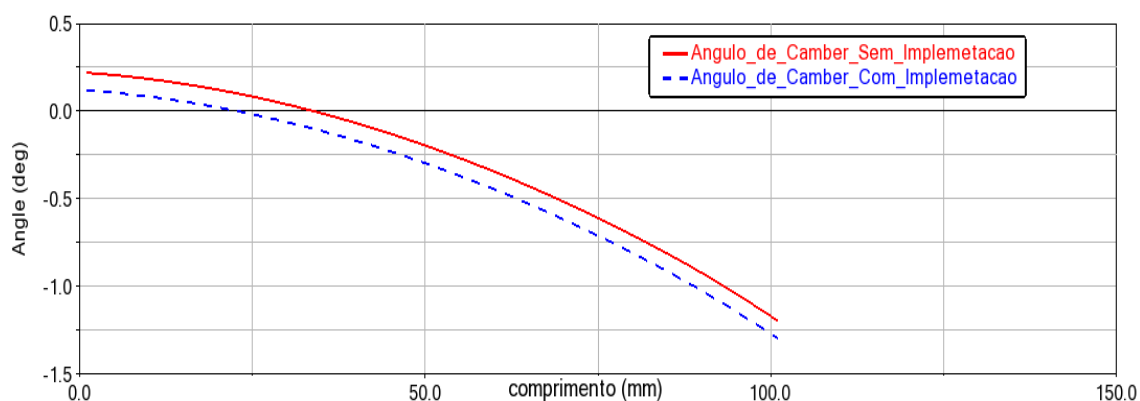
4.2.1.1 Parallel Wheel Travel

Para Torres (2011), este tipo de simulação consegue submeter o veículo a uma certa excitação em ambos os lados, fazendo com que assim as rodas tenham o mesmo deslocamento vertical. Esta simulação permite analisar variações dos parâmetros, tais como camber e *toe* (convergência), através de gráficos. O Gráfico 1 ilustra a variação do ângulo de camber da suspensão traseira do SEVERO 2.0 com e sem a implementação.

Observa-se que ocorreu uma variação mínima do ângulo de camber, indo de 0,25 graus para 0, 1 grau. Ambos veículos se encontram dentro do valor máximo de camber determinado pela equipe Caraubaja SAE através de *benchmarking* com outras equipes baja SAE. Nos dois casos ambos protótipos possuem cambagem de 0 graus, e foram submetidos ao mesmo *bump* e *rebound travel*.

Melo (2019) relata que as configurações geradas, reduz a absorção de forças laterais, tendo em vista que a roda externa demonstra cambagem positiva.

Gráfico 1: Variação de camber com o movimento da suspensão

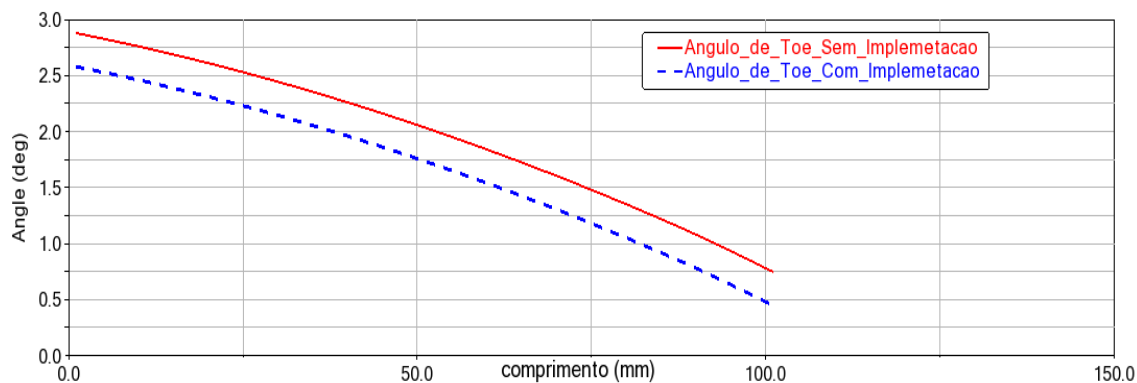


Fonte – Autoria Própria

Os protótipos também foram submetidos a análise do ângulo de *toe*, afim de verificar níveis de influência com potencialidade de alteração do comportamento

sobreesterçante do veículo. O Gráfico 2 demonstra a variação do ângulo de toe da suspensão traseira do SEVERO 2.0 com e sem a implementação.

Gráfico 2: Variação do ângulo de toe com o movimento da suspensão



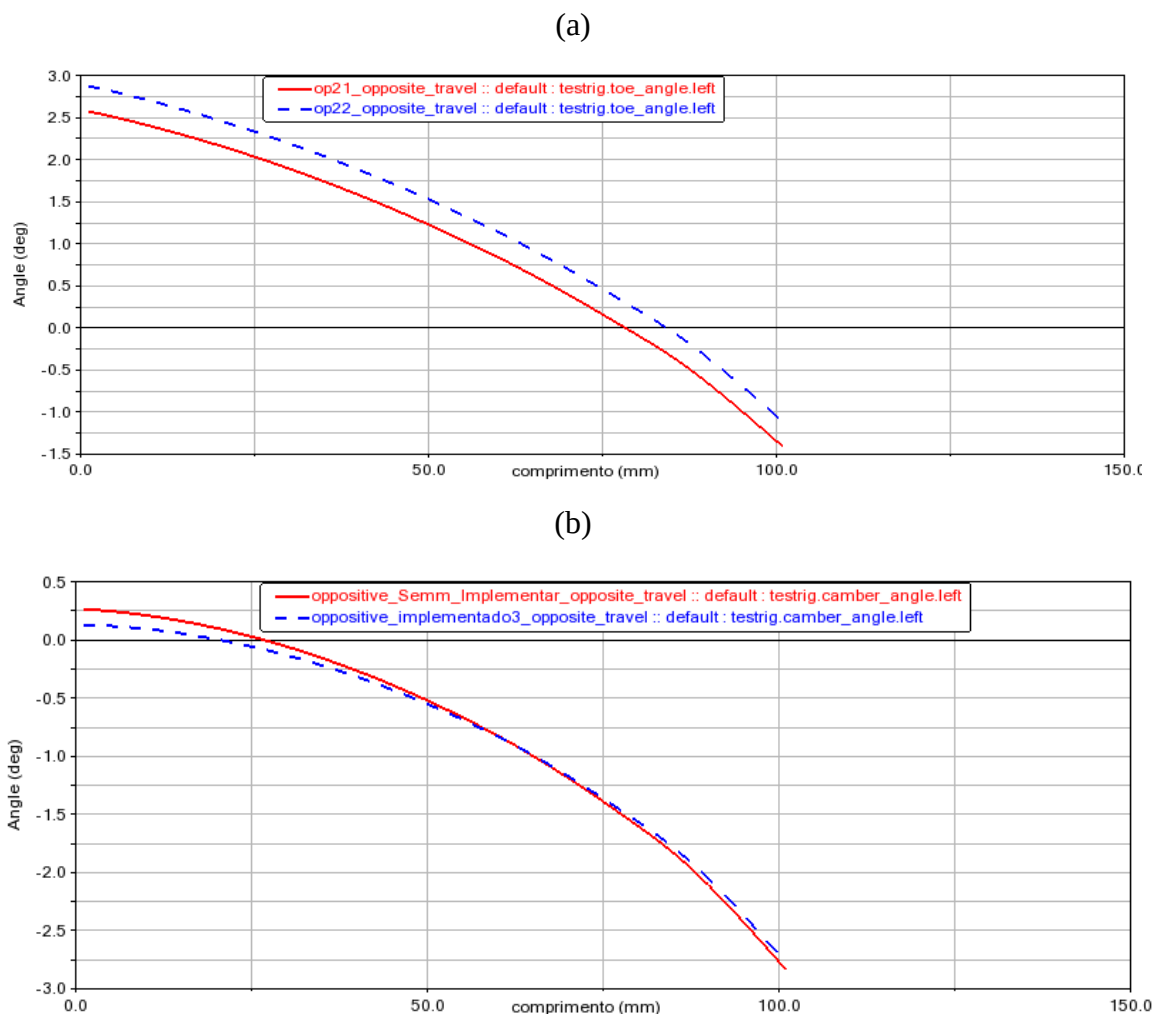
Fonte – Autoria Própria

Nota-se que ocorre também variação do ângulo de *toe*, indo de 2,9 para 2,6 graus. Costa (2017) relata que a variação de *toe angle* recomendada para estes casos variação entre 2,5 e 5 graus. Estes valores contribuem para que ocorra comportamento sobreesterçante em curvas no veículo, característico dos veículos *off-road*.

4.2.1.2 Opposite Wheel Travel

Diferentemente da *Parallel Wheel Travel* a *Opposite Wheel Travel* analisa o deslocamento da roda de maneira oposta, ou seja, quando uma roda entra em estado de *bump* a outra de forma simultânea entra em estado de *rebound*.

Esta simulação permite analisar cada roda de maneira individual, auxiliando assim a precisão da análise feita em *Parallel wheel Travel*. Torres (2011) completam relatando que a simulação *Opposite Wheel Travel* permite que as rodas variem em posição vertical, ocupando assim uma posição livre. O Gráfico 3 demonstra a variação do ângulo de *toe* e de *camber*, (a) ângulo de *toe* com e sem a implementação, (b) ângulo de *camber* com e sem a implementação.

Gráfico 3: Variação do ângulo de camber e toe com e sem a implementação

Fonte – Autoria Própria

Nota-se que o gráfico 3 corresponde aos valores encontrados no gráfico 2 e 1, que significa mesmo ao analisar as rodas separadamente, ainda se obtém o valor encontrado na simulação *Parallel Wheel Travel*. O que faz sentido, pois não é para haver, já que nenhum parâmetro foi alterado.

4.2.2 Simulações Veículo Completo

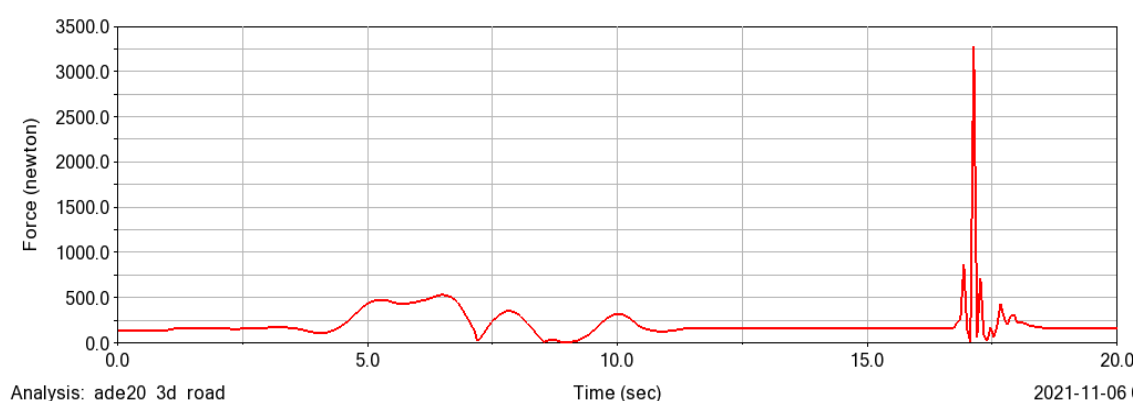
Realizou-se a Simulação *Full Vehicle Analysis* para efetuar a simulação completa do Baja SEVERO 2.0, com todos os seus subsistemas inclusos. Esta simulação do software ADAMS/Car permite ao usuário realizar simulações no protótipo em uma pista, com as quaisquer características.

O veículo foi submetido a percorrer por uma pista com duas valas e uma pequena elevação no início do trajeto, verificando assim a eficácia do protótipo quando é submetido a características de terrenos acidentados. As valas tem como base as medidas

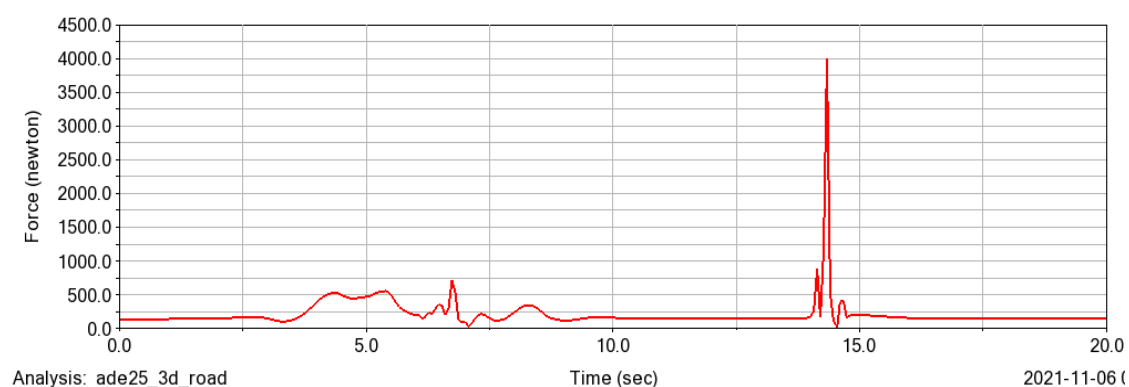
adotadas por Diniz (2014), seguindo as seguintes especificações: 2 m de largura, 0,95 m de comprimento e 0,3 m de profundidade. O protótipo foi imposto a atravessar esta pista com três diferentes velocidades iniciais. Para que assim fosse possível observar as variações de forças, que são exercidas no tirante durante o percurso. Gráfico 4 demonstra as simulações de força para as diferentes velocidades, (a) 20 km/h, (b) 25 km/h, (c) 30km/h.

Gráfico 4: Análise de Forças exercidas no tirante

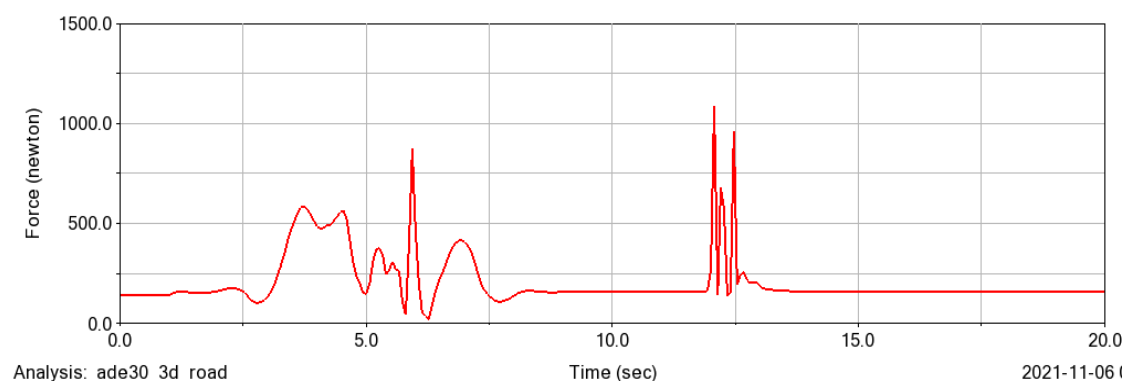
(a)



(b)



(c)

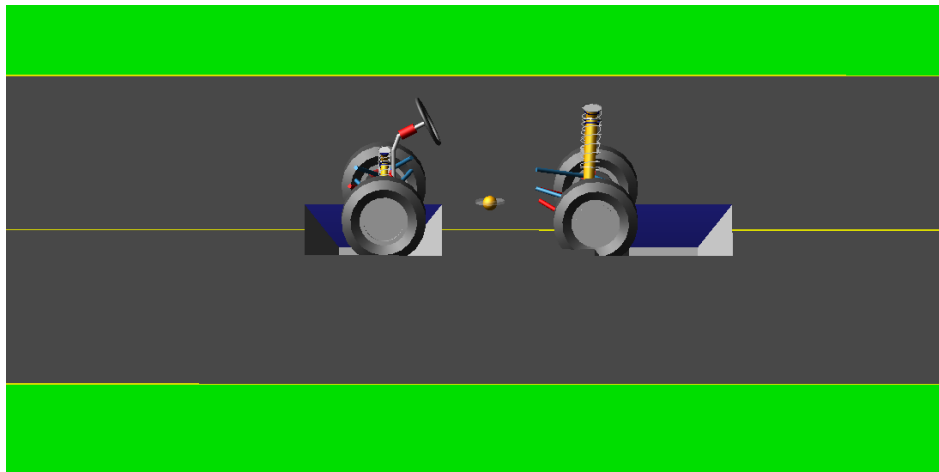


Fonte – Autoria Própria

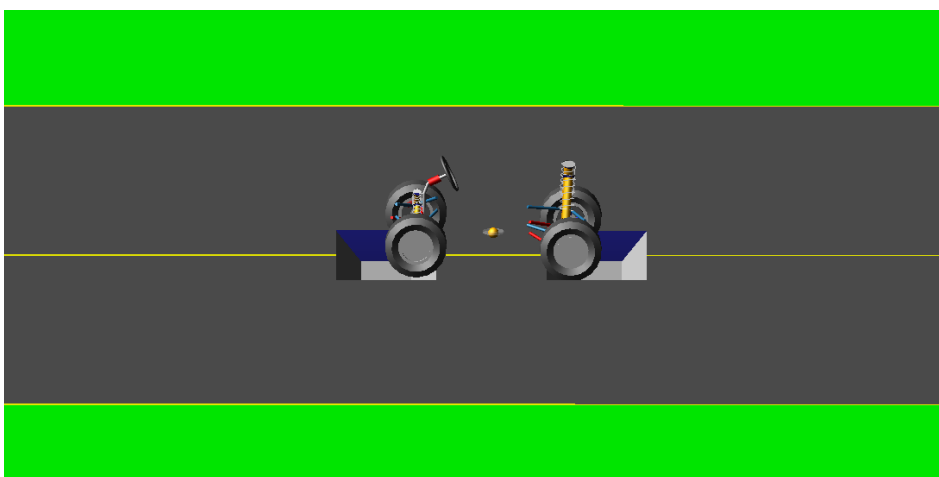
A Figura 30 ilustra o carro o no momento do impacto que gera a força, de acordo com as velocidades estabelecidas. (a) 20 km/h, (b) 25 km/h, (c) 30km/h.

Figura 30: Visão lateral do Momento de Impacto nas Valas

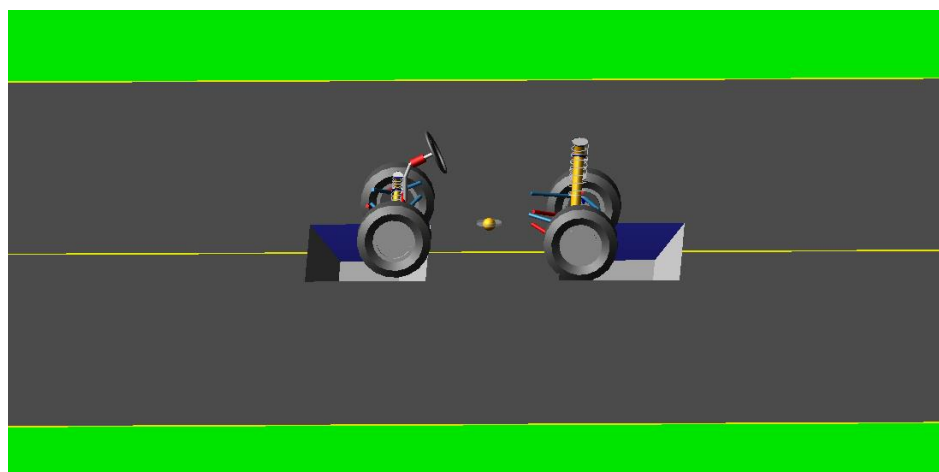
(a)



(b)



(c)



Fonte – Autoria Própria

A Tabela 3 mostra a relação entre a máxima força exercida no tirante com a velocidade do carro.

Tabela 3: Relação Força e velocidade

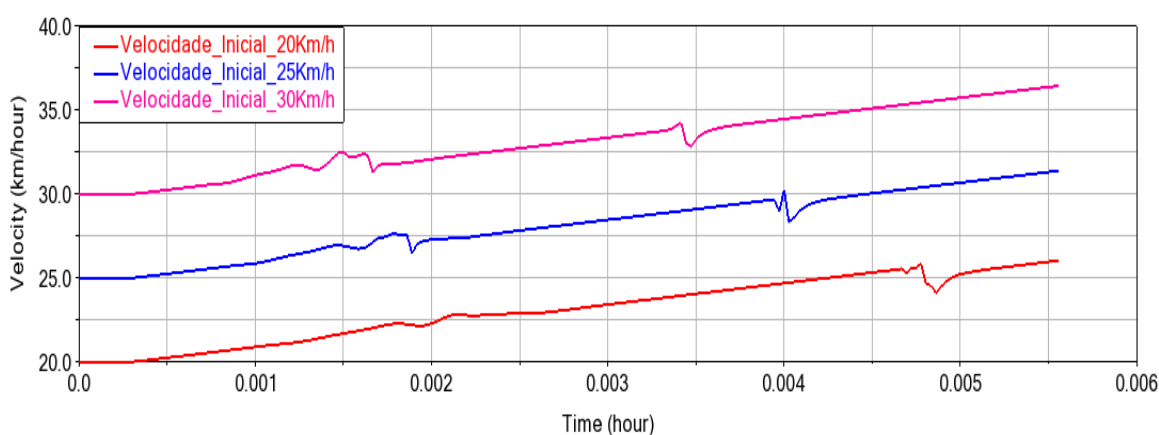
Força	Velocidade
3250 N	20 km/h
4000 N	25 km/h
1100 N	30 km/h

Fonte – Autoria Própria

Observa-se que o gráfico 4 (b) possui um pico de força acima do (a), devido ao aumento de velocidade, o veículo tende a receber um maior impacto durante a passagem nos buracos. Porém, a mesma lógica não se aplica no (c), devido ao veículo passar pelas valas com uma velocidade alta o suficiente que não o deixa entrar de forma total nos buracos. Como demonstrado na figura 30. Fazendo com que assim a força exercida no tirante seja menor.

As velocidades tendem a variar durante análise, devido as adversidades da pista. Gráfico 5 demonstra estas variações de velocidade enquanto o protótipo percorre na pista, com as velocidades iniciais de: 20 km/h, 25 km/h, 30 km/h.

Gráfico 5: Variações de velocidade enquanto o protótipo percorre a pista



Fonte – Autoria Própria

Observa-se que a o protótipo tem um aumento de 7 km/h a mais, em relação a velocidade inicial instaurada, isto ocorre porque em todos os casos foi determinado o tempo de 20 segundos para a execução da simulação, fazendo assim com que sempre ocorra a mesma variação. Existe uma diferença mínima quando o veículo passa tanto pela elevação da pista quanto nos buracos.

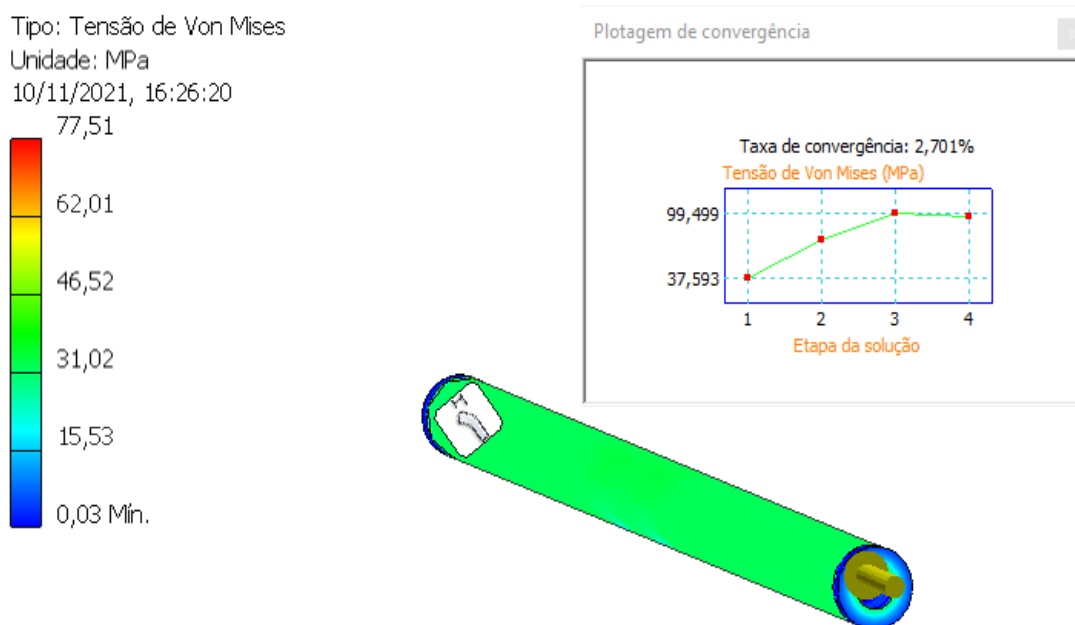
4.3 Simulação Análise de Tensão

Utilizando as forças demonstradas no gráfico 4, realizou-se simulações de análise de tensão no tirante no software Autodesk Inventor. Foi considerado que o componente foi feito com o aço 1020 e as condições de contorno aplicadas foram: engaste em uma extremidade e na outra foi aplicado uma força na direção longitudinal do tubo e com sentido de compressão, visto que a própria geometria da suspensão gera carga de compressão, não de tração, o que auxilia para que o tirante não venha receber esta força de forma tão direta.

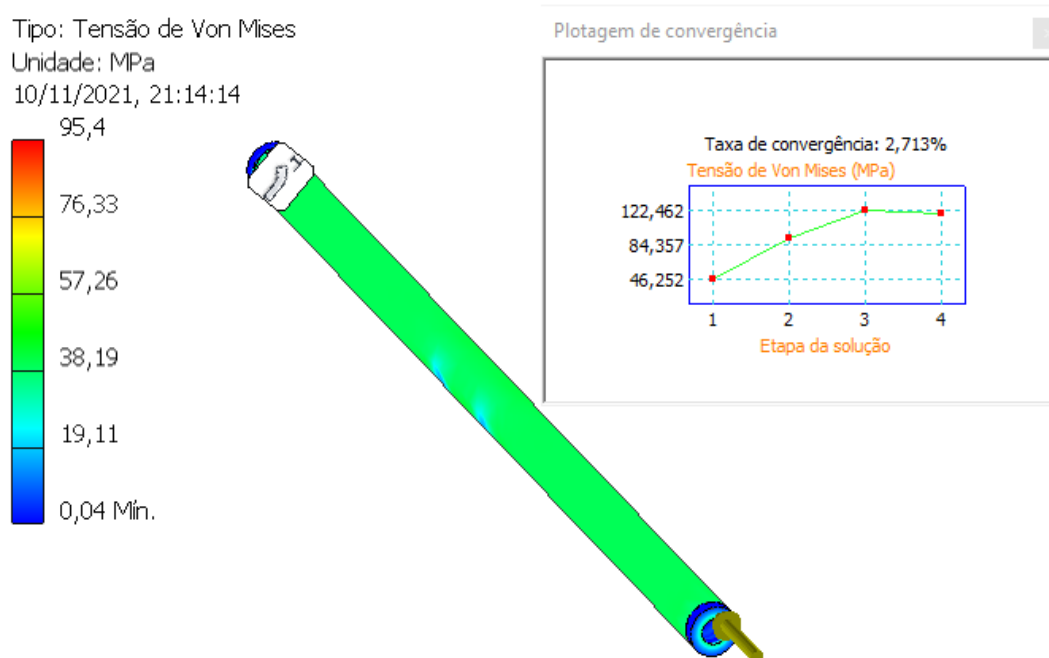
Adotou-se o comprimento de 525 mm para o tirante com as buchas já inclusas, raio interno de 7,9 mm e externo de 9,5 mm. Estas medidas são atribuídas decorrentes das simulações exercidas no protótipo.

As Figuras 31, 32 e 33 ilustram as diferentes forças exercidas no Tirante.

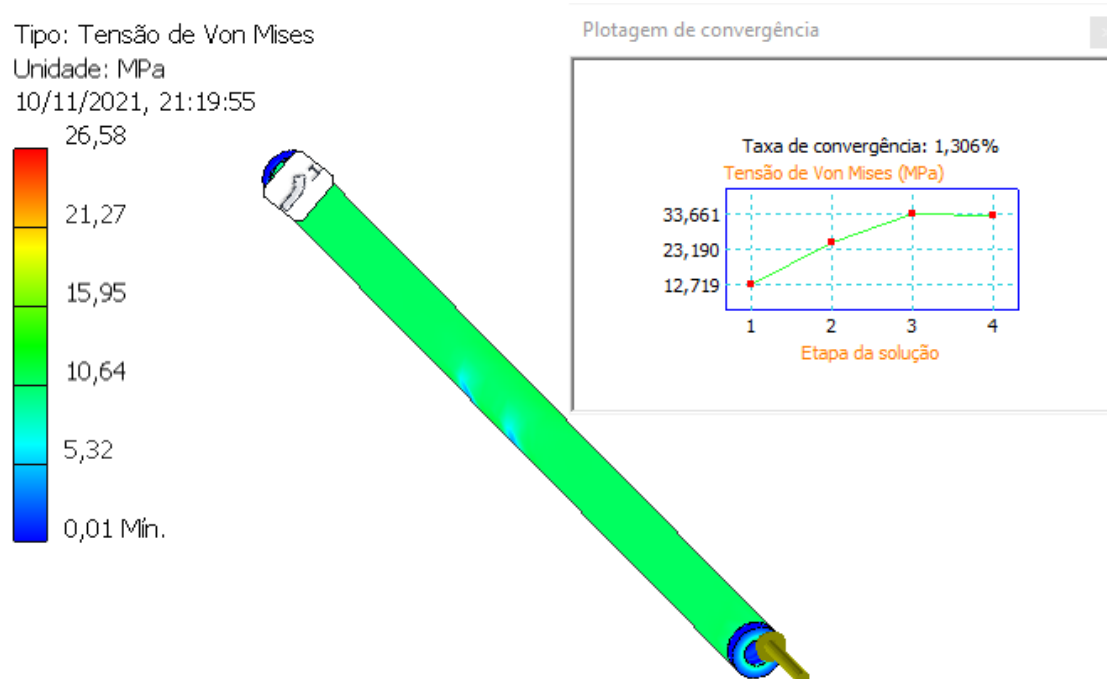
Figura 31: Análise de Tensão no Tirante com Força de 3250 N



Fonte – Autoria Própria

Figura 32: Análise de Tensão no Tirante com Força de 4000 N

Fonte – Autoria Própria

Figura 33: Análise de Tensão no Tirante com Força de 1100 N

Fonte – Autoria Própria

A Tabela 4 ilustra relação entre as tensões aplicadas no tirante, com as velocidades que foram impostas no carro.

Tabela 4: Relação Tensão e Velocidade

Tensão	Velocidade
77,51 Mpa	20 km/h
95,4 Mpa	25 km/h
26,58 MPa	30 km/h

Analisando a tabela 4 demonstra que tensão adquirida está abaixo tensão de escoamento máxima do material que é de 210 Mpa. A taxa de convergência presentes nas figuras 31,32 e 33 apresenta porcentagens plausíveis, de acordo com a variação das tensões.

5. CONCLUSÃO

Em linhas gerais, este trabalho mostrou diversas etapas, necessárias para implementar um novo modelo de tirante para um veículo baja SAE. Obteve-se um novo modelo de tirante, e foi possível realizar todos os objetivos mencionados no trabalho de forma satisfatória. A implementação continua possuindo as características principais exercidas pelo modelo anterior, tais como o comportamento sobreesterçante na traseira do veículo.

Os estudos indicam que este novo modelo de barra guiadora consegue se adequar ao protótipo Severo 2.0, e ter a mesma eficácia do modelo anterior. Apesar de possuir as mesmas dimensões esta alteração conseguiu reduzir a massa do protótipo, sem que houvesse qualquer ônus financeiro ao projeto, e ainda sim possibilitar o mesmo comportamento dinâmico.

Trabalhos futuros podem vir a serem realizados utilizando este modelo, de forma a incluir parâmetros mais específicos em certos pontos da suspensão se aprofundando no estudo dos parâmetros de suspensão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Daniel de Araújo. **DIMENSIONAMENTO CINEMÁTICO E DINÂMICO DE SUSPENSÃO DUPLO A**. 2012. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

COSTA, Carlos Costa de Carvalho. **ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM NOVO CONCEITO DE SUSPENSÃO TRASEIRA PARA VEÍCULOS DO TIPO BAJA**. 2017. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2017.

DINIZ, Diego David Silva; SILVA, Raphael de Sousa; FERREIRA, Arthur Azevedo. **ANÁLISE COMPUTACIONAL DE UM CONCEITO DE SISTEMA DE SUSPENSÃO TRASEIRA PARA UM VEÍCULO OFF-ROAD**. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 7. 2012, São Luiz-Maranhão.

DINIZ, D. D. S.; **ESTUDO DA DINÂMICA VERTICAL EM SUSPENSÃO DUPLO A DE UM VEÍCULO OFFROAD TIPO BAJA**. 2014. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

DUARTE, Alex Ronny Dantas. **PROJETO DETALHADO DE UMA SUSPENSÃO DIANTEIRA DO TIPO DUPLO A PARA UM VEÍCULO BAJA**. 2017. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2017.

Ferreira, Hudson T. **DETERMINAÇÃO DAS FREQUÊNCIAS NATURAIS E MODOS DE VIBRAR DE UM VEÍCULO DE DOIS EIXOS ATRAVÉS PROGRAMA COMPUTACIONAL MATLAB - SIMULINK**. 2003. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

GILLESPIE, T. D. **FUNDAMENTALS OF VEHICLE DYNAMICS**. SAE R – 114, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, USA, 1992.

JAZAR, Reza N. **VEHICLE DYNAMICS: THEORY AND APPLICATIONS**. Springer Science and Business Media, LLC. New York, NY, USA, 2008.

KAFFKA, D.; **PROJETO CONCEITUAL DE ESTRUTURA E SUSPENSÃO PARA PROTÓTIPO BAJA**. Panambi. Unijuí, 2007. 71f. Trabalho de conclusão de curso, Curso de Engenharia Mecânica - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2009.

MACHADO, A. P.; **A OBSESSÃO PELO AUTOMÓVEL**. 2001. Disponível em: <http://www.qualitapsi.com.br/wp-content/uploads/2014/avaliacao_textos/05-A-Obsessaopelo-atuomovel-AdrianePicchettoMachado.pdf> Acesso em: 04 de out. 2021.

MELO, M. C. D. L. **ESTUDO COMPARATIVO DA INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE ATAQUE NA RESPOSTA DINÂMICA DE UM VEÍCULO BAJA**. 2019. 56 f. TCC (Graduação) – Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2019.

NICOLAZZI, L.C. **DINÂMICA VEICULAR**, Santa Catarina, 2008 [Apostila do curso de especialização em engenharia automotiva da Universidade Federal de Santa Catarina].

REIMPELL, Jörsen; STOLL, Helmut; BETZLER, Jürgen W. **THE AUTOMOTIVE CHASSIS: ENGINEERING PRINCIPLES**. 2nd Ed. Butterworth-Heinemann, Woburn, MA, USA, 2001. Translated from the German by AGET Limited.

REZENDE, Jean Carlos Campos. **PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM MODELO DE SUSPENSÃO AUTOMOTIVA EM BANCADA DE LABORATÓRIO**. 2007. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SAE Brasil, (2021) Programas Estudantis: **O QUE É O BAJA**. [online]. Disponível em: <https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil/> acessado em: 02 de out. de 2021.

SILVA, Danrley Sena. **CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTÁTICO DE UM SISTEMA DE DIREÇÃO DO TIPO PINHÃO CREMALHIRA APLICADO A VEÍCULO BAJA**. 2019. 46 f. TCC (Graduação) – Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2019.

TORRES, Rafael Nunes. **CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DE UMA SUSPENSÃO APLICADA A UM VEÍCULO FORMULA SAE**. 2011. 146 f. Projeto de Graduação (engenharia mecânica). Universidade de Brasília, Brasília, 2011.