



Desenvolvimento de uma suspensão e direção dianteira de um veículo baja

Jean Carlo Nunes | jean.cn01@aluno.ifsc.edu.br¹

Joao Victor Goulart Gil | joao.gg01@aluno.ifsc.edu.br²

Natalia Madalena Boelter | natalia.boelter@ifsc.edu.br³

Edital de fomento do trabalho EDITAL Nº 12/2025/PROPPI/DAE

Trabalho de Pesquisa

DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

O foco deste projeto é o desenvolvimento do sistema de suspensão dianteira e direção do veículo off-road Baja SAE da equipe Leão Baja do IFSC, integrando fundamentos teóricos e práticos de engenharia mecânica sob o enfoque da pesquisa como princípio educativo, utilizando ferramentas de modelagem tridimensional no Autodesk Inventor. O desenvolvimento do projeto traz a definição de premissas e parâmetros geométricos essenciais de direção — caster, convergência, centro de rolagem e geometria de Ackermann — e no dimensionamento estrutural de componentes com base em princípios de mecânica dos materiais e elementos de máquinas. Ao unir teoria mecânica e prática investigativa, o projeto busca aprimorar o desempenho, a manobrabilidade e o conforto do veículo, elevando o patamar de competitividade e conforto do protótipo. Os resultados da modelagem do sistema de suspensão e direção obtidos poderão servir como uma base sólida para a evolução tecnológica da equipe em competições nacionais e eventos do setor.

Palavras-chave: baja, simulação, suspensão, direção, dimensionamento.

Introdução

Ao longo da existência da equipe Leão Baja do IFSC Lages, houveram algumas dificuldades para o uso do veículo *off-road*, sendo uma delas relacionada com o sistema de direção e de suspensão. Em oportunidades passadas, foi desenvolvido pela equipe o sistema de chassi (Borges et al., 2025a) e a caixa de redução (Borges et al., 2025b) e com isso, foram realizados alguns testes dinâmicos, mas a dirigibilidade e manobrabilidade do veículo foram seu ponto fraco.

Diante disso, este projeto visa desenvolver o sistema de suspensão dianteira e de direção de um veículo *off-road* tipo Baja SAE, com foco no projeto dos elementos destes

¹ Estudante do curso de Engenharia Mecânica do IFSC Campus Lages.

² Estudante do curso de Engenharia Mecânica do IFSC Campus Lages.

³ Servidora da área de Processos Industriais do Campus Lages.

sistemas que influenciam diretamente na estabilidade, manobrabilidade e segurança do veículo frente às exigências severas da competição. O projeto é desenvolvido no contexto da pesquisa como princípio educativo e da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão.

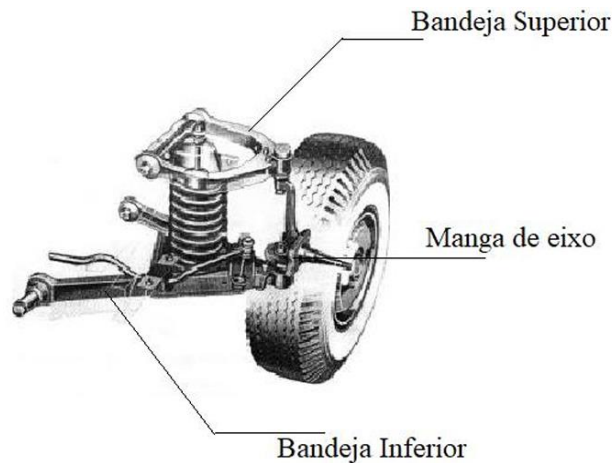
Em um cenário de operações extremas, esses sistemas são os principais determinantes da integridade estrutural e da eficiência veicular, atuando diretamente na manutenção da tração, estabilidade direcional e absorção de impactos em terrenos irregulares. A complexidade dos esforços repetitivos e a severidade das manobras em alta velocidade demandam um dimensionamento de componentes que equilibre robustez, leveza e confiabilidade.

Assim, o objetivo deste trabalho é analisar, projetar e, futuramente, construir um sistema de suspensão que garanta desempenho e robustez, além de definir parâmetros do sistema de direção que garantam uma melhor dirigibilidade para o carro da equipe Leão Baja do IFSC Lages.

Fundamentação teórica

A interação entre veículo e terreno é refletida no controle, conforto e segurança do piloto, e é a função central do sistema de suspensão e direção em veículos off-road do tipo Baja. Segundo Nogueira (2022), o projeto da suspensão dianteira deve contemplar tanto a absorção de impactos e esforços quanto as variações dos parâmetros geométricos ao longo do curso de trabalho. Já Teloecken (2023) ressalta que a geometria da suspensão e da direção influencia diretamente a previsibilidade do comportamento do veículo e a eficiência do esterçamento. Nesse contexto, a suspensão tem como principal objetivo absorver as irregularidades do terreno, mantendo o contato contínuo entre os pneus e o solo, o que assegura aderência, estabilidade e conforto. Nos veículos Baja, é amplamente empregada a suspensão do tipo Duplo A (*Double Wishbone*) (Figura 1) devido à sua robustez, simplicidade construtiva e elevada capacidade de controle dos parâmetros geométricos (Nogueira 2022).

Figura 1: Exemplo de um conjunto de Bandejas em Duplo A e Manga de eixo.

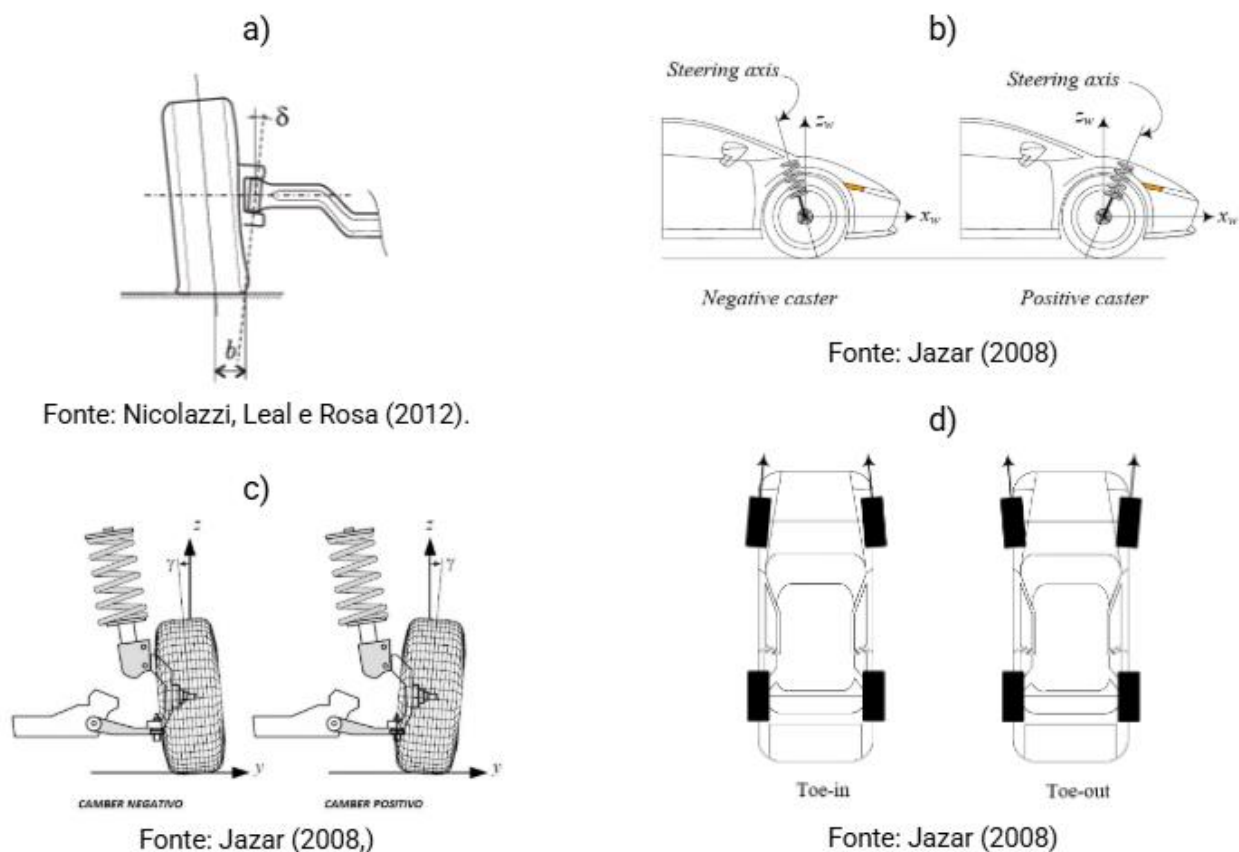


Fonte: Adaptado de Nogueira (2022).

Esse sistema da Figura 1 é composto por dois braços de controle, superior e inferior, conectados à manga de eixo, formando um mecanismo de quatro barras. Essa configuração permite o ajuste preciso de variáveis críticas, como cambagem, centro de rolagem, centro instantâneo e arfagem.

No trabalho de Nogueira (2022), a análise desses parâmetros foi fundamental para o desenvolvimento dessa suspensão de modo a garantir o conforto do piloto e o alto desempenho do veículo em curvas e obstáculos. O autor destaca a importância de considerar o curso total da suspensão, bem como o alinhamento entre o centro de rolagem e o centro de gravidade do veículo, a fim de reduzir a tendência ao comportamento sobreesterçante (*oversteer*). Outros parâmetros relevantes apontados pelo autor incluem convergência e divergência (*toe in/out*), oscilação da direção (*bump steer*), câster, KPI (*Kingpin Inclination*) e o raio de rolagem (*scrub radius*). A Figura 2 traz os parâmetros da suspensão ilustrados.

Figura 2: Representação da inclinação do pino mestre (a), representação do ângulo de cáster (b), camber negativo e camber positivo (c) e convergência e divergência (toe) (d)



Em seu trabalho, Teloecken (2023) utilizou modelagem tridimensional e análise geométrica para estabelecer a relação entre os parâmetros de direção e os pontos de fixação da suspensão. Os resultados demonstraram que pequenas variações nos ângulos de caster e KPI podem impactar significativamente o comportamento dinâmico e a dirigibilidade do protótipo. Essas conclusões estão em consonância com as diretrizes clássicas de Gillespie (1992), que destacam a importância da integração entre suspensão e direção para garantir manobrabilidade e previsibilidade ao veículo.

Procedimentos metodológicos

A metodologia do projeto baseia-se na integração das abordagens de Pahl e Beitz (2006) e Lisboa et al. (2018), voltadas ao planejamento, concepção e validação de sistemas técnicos para competições off-road. Inicialmente, são definidos os requisitos e restrições do sistema conforme o Regulamento Baja SAE Brasil (2026), além das metas de desempenho dinâmico e dos componentes reutilizáveis. Em seguida, realiza-se a modelagem CAD 2D/3D da suspensão e da direção no Autodesk Inventor, incluindo a definição dos pontos de ancoragem, análise de interferências e elaboração dos desenhos técnicos e montagens virtuais.

Resultados e discussões

Durante a revisão da literatura sobre o sistema de direção e suspensão, alguns parâmetros – cambagem, cáster, convergência (*toe in*) e centro de rolagem – foram estabelecidos para serem utilizados para definir a dirigibilidade do veículo, sendo os principais requisitos do projeto. A Tabela 1 a seguir traz os valores desses parâmetros de direção e suspensão a serem utilizados no projeto do carro Leão Baja.

Tabela 1 – Parâmetros do sistema de direção

Parâmetro	valor
Cambagem	0° a -1°
Caster	8° a 12°
Inclinação do <i>KPI</i> <i>toe</i>	4° a 9° 2 a 3 mm
Centro de rolagem	> 150 mm

Fonte: elaborada pelo autor a partir de dados do Nicolazzi, Leal e Rosa (2012)

A escolha destes requisitos da Tabela 1 são de acordo com Nicolazzi, Leal e Rosa (2012), alguns indicados para *off-road*, outros gerais para qualquer veículo.

Algumas peças que são utilizadas no protótipo estão em uso há várias formações da equipe, como rodas, amortecedores, mangas de eixo e cubos de rodas (Figura 3). A reutilização dessas peças auxilia no conhecimento prévio de alguns dos parâmetros da direção e também facilita a atualização dos componentes da suspensão, como na modificação dos componentes de Duplo A.

Após a revisão da literatura de referência, deu-se início à criação de um modelo tridimensional no Autodesk Inventor, aproveitando as dimensões de largura do veículo, 1,62 m no ponto mais largo, que são limitadas pelo regulamento da competição Baja SAE (REGULAMENTO, 2026). As peças da suspensão foram projetadas a partir da definição dos pontos de ancoragem da no chassis do veículo. Esses pontos são essenciais para que, durante as provas de resistência, os movimentos da suspensão tenham uma variação de altura otimizada e que não haja interferência entre o Duplo A, o amortecedor e a manga de eixo.

Estando o modelo 3D (Figura 4) sem interferências mecânicas durante o curso total da suspensão, serão utilizados os desenhos técnicos gerados pelo software para o início da fabricação das peças com as dimensões definitivas, assim buscando evitar o retrabalho e também o desperdício de material. Com os parâmetros definidos, será então iniciada a construção das peças da suspensão dianteira, sistema Duplo A (*Double Wishbone*), e a montagem dos componentes e os testes estáticos e dinâmicos para validação dos parâmetros.

Figura 3: Conjunto de Bandejas em Duplo A e Manga de eixo e terminal de direção utilizado na versão anterior do protótipo.



Fonte: Equipe Leão Baja IFSC (2026).

Figura 4: Modelo 3D do conjunto de Bandejas projetados



Fonte: Equipe Leão Baja IFSC (2026)

Considerações finais

Durante a elaboração desse projeto, para uso severo no *off-road*, o sistema Duplo A foi o que melhor se adequou à equipe Leão Baja, pois devido a sua forma simplificada de construção e a liberdade para que o sistema de direção funcione da maneira correta, o veículo tornou-se mais confiável e manobrável.

Portanto, o uso desse modelo de suspensão dianteira acaba reduzindo a tendência ao comportamento sobreesterçante e de oscilação da direção. O resultado final é um protótipo que deve superar as limitações de manobrabilidade da versão anterior, atendendo plenamente aos requisitos normativos da Baja SAE Brasil. Ressalta-se que o projeto está em desenvolvimento, aqui neste artigo são apresentados os resultados parciais. As etapas seguintes do projeto serão da realização do detalhamento e dimensionamento do projeto para posteriormente, realizar a sua construção.

Para os alunos envolvidos no projeto há o fortalecimento do aprendizado, unindo estudos teóricos de engenharia mecânica (elementos de máquinas, mecânica dos sólidos, desenho técnico) com a prática investigativa e fabril, mostrando a aplicação da pesquisa com princípio educativo.



Referência ao fomento recebido

Os autores agradecem ao EDITAL Nº 12/2025/PROPPI/DAE pelo fomento recebido.

Referências

- BAJA SAE BRASIL. **REGULAMENTO ADMINISTRATIVO E TÉCNICO BAJA SAE BRASIL – RATBSB_emenda_07**. São Paulo: SAE Brasil, 2026. <https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil/regras-e-templates/>, acesso em 25 de maio de 2026.
- BORGES, H. D. S. ; NUNES, J. C. ; BOELTER, N. M. ; KIPEL, L. R. ; SCHREIBER, R. G. . **Projeto e Construção do Chassi Traseiro de um Veículo BAJA**. VII Mostra 3 Minutos de Ciência e Tecnologia IFSC Lages e Urupema, 2025a.
- BORGES, H. D. S. ; NUNES, J. C. ; KIPEL, L. R. ; SCHREIBER, R. G. ; BOELTER, N. M. . **Desenvolvimento e Construção de uma Caixa de Redução para Veículo off road tipo Baja**. Jornada Internacional de Iniciação Científica - JICEU 2025b
- GILLESPIE, T. D. **Fundamentals of Vehicle Dynamics**. Warrendale: SAE International, 1992.
- JAZAR, Reza N..**Vehicle Dynamics: Theory and Application**. New York: Springer, 2008.
- LISBOA, A. R. et al. **Metodologia de desenvolvimento do sistema de suspensão para um protótipo Baja SAE**. CEFET/RJ, 2018.
- NICOLAZZI, L.C., ROSA, E. da, LEAL, L.C.M. **Introdução à modelagem quase-estática de veículos automotores de rodas**. Brasil: Publicação interna do GRANTE- Depto de Engenharia Mecânica da UFSC. 2001.
- NOGUEIRA, R. **Projeto de uma Suspensão Dianteira para um Veículo Mini Baja SAE**. UNESP, Guaratinguetá, 2022.
- PAHL, G.; BEITZ, W. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do Desenvolvimento de Produtos Metódicos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- TELOECKEN, B. M. **Projeto de Geometria de Suspensão e Direção Aplicado para Baja SAE**. UTFPR, Londrina, 2023.
-