

16º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2025

ESTRUTURA TUBULAR E SUSPENSÃO DIANTEIRA EM VEÍCULO BAJA SAE: CONCEPÇÃO, INTEGRAÇÃO E DIRETRIZES INICIAIS DO PROJETO

ALISON JOSÉ PEREIRA NERI¹, GABRIEL VICTORIO DITOMASO², ALDO MARCEL
YOSHIDA RIGATTI³

¹ Graduando em Eng. de Controle e Automação, IFSP, Campus Catanduva, alison.n@aluno.ifsp.edu.br

² Pós-graduando em Internet das Coisas (IoT), IFSP, Campus Catanduva, ditomaso.gabriel@aluno.ifsp.edu.br

³ Professor Mestre, IFSP, Campus Catanduva, rigattialdo@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.05.04.03-1 Elementos de Máquinas

RESUMO: A competição Baja SAE representa um dos maiores desafios de engenharia no ambiente acadêmico, exigindo dos estudantes a aplicação prática de conhecimentos teóricos no desenvolvimento de veículos *off-road* de alto desempenho. Propõe-se realizar a modelagem da estrutura, dimensionamento inicial de uma suspensão dianteira e sua integração, de um veículo Baja SAE em conformidade com o Regulamento. A metodologia baseou-se nos princípios do PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*) para gerenciamento de projeto e análise detalhada do regulamento. A estrutura e a suspensão foram modeladas em Autodesk Inventor utilizando tubos de aço ABNT 1020, respeitando os limites regulamentares estabelecidos. Para a suspensão dianteira, optou-se pelo sistema independente duplo A com cambagem negativa, proporcionando superior controle cinemático e estabilidade em terrenos irregulares. A integração entre estrutura e suspensão foi validada geometricamente, assegurando compatibilidade e conformidade regulamentar. Os resultados demonstram viabilidade técnica do projeto, estabelecendo base sólida para desenvolvimento futuro do protótipo competitivo.

PALAVRAS-CHAVE: modelagem 3d; cad; duplo A; *off-road*; competição.

TUBULAR FRAME AND FRONT SUSPENSION IN A BAJA SAE VEHICLE: CONCEPTION, INTEGRATION, AND INITIAL PROJECT GUIDELINES

ABSTRACT: The Baja SAE competition represents one of the greatest engineering challenges in the academic environment, requiring students to practically apply theoretical knowledge in developing high-performance off-road vehicles. This study proposes to perform structural modeling, initial design of a front suspension, and their integration for a Baja SAE vehicle in compliance with the Regulations. The methodology was based on PMBOK (Project Management Body of Knowledge) principles for project management and detailed analysis of the regulations. The structure and suspension were modeled in Autodesk Inventor using ABNT 1020 steel tubes, respecting established regulatory limits. For the front suspension, an independent Double-A system with negative camber was chosen, providing superior kinematic control and stability on irregular terrain. The integration between structure and suspension was geometrically validated, ensuring compatibility and regulatory compliance. The results demonstrate technical feasibility of the project, establishing a solid foundation for future competitive prototype development.

KEYWORDS: modeling 3D; CAD; double-a; off-road; competition.

INTRODUÇÃO

A competição baja SAE (*Society of Automotive Engineers*) desafia estudantes universitários a projetar, construir e testar veículos *off-road* capazes de enfrentar condições adversas. Esta competição

proporciona aos participantes a oportunidade de aplicar os conhecimentos teóricos adquiridos em um ambiente prático de engenharia (SAE BRASIL, 2024).

Ao participar da construção de um veículo real, os futuros engenheiros têm a oportunidade de adquirir experiência prática em diversas áreas, incluindo projeto, fabricação, testes e otimização. Além disso, estimula o desenvolvimento na resolução de problemas e comunicação, que são altamente valorizadas no mercado de trabalho (Santos; Chaves, 2021).

A modelagem 3D desempenha um papel fundamental nesse processo, permitindo a visualização detalhada da geometria e a estrutura do veículo antes de construí-lo. Isso não apenas ajuda a identificar potenciais problemas e erros de projeto, mas também proporciona uma análise prévia de forças estruturais e desempenho (Queiroz *et al.*, 2018).

Segundo Lisboa, Rodrigues e Felipe (2018), as suspensões dividem-se em dependentes (eixo rígido e De Dion, que reduz massa não suspensa) e independentes (McPherson, *Trailing* e *Semi-Trailing*), sendo estas mais versáteis. Para carros do Baja SAE, destaca-se o duplo A (*double wishbone*) por oferecer amplo ajuste de cambagem e convergência, facilidade de montagem/manutenção e fabricação pela equipe, apesar da maior complexidade.

Portanto, propõe-se realizar a modelagem tridimensional da estrutura de um veículo Baja SAE em conformidade com o Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil vigente bem como a escolha e o dimensionamento inicial de uma suspensão dianteira e sua integração junto a estrutura.

MATERIAL E MÉTODOS

DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA TUBULAR

O desenvolvimento da estrutura tubular iniciou-se com uma análise detalhada do Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil (SAE BRASIL, 2024), documento fundamental que estabelece todos os requisitos obrigatórios para o projeto do chassi. Esta etapa foi essencial para compreender as especificações dimensionais, de materiais e de segurança que deveriam ser rigorosamente atendidas durante todo o processo de desenvolvimento.

A metodologia de gerenciamento de projetos foi baseada nos princípios do guia PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*), estruturando o trabalho em fases bem definidas de iniciação, planejamento, execução e encerramento. A equipe de projeto foi composta por membros técnicos além do gerente de projetos, com clara definição de responsabilidades e competências. As partes interessadas foram identificadas como membros da equipe, comitê SAE Brasil, professores orientadores e a instituição de ensino, estabelecendo-se um cronograma detalhado com marcos de controle e distribuição equilibrada das atividades.

Para a modelagem tridimensional, foi necessária capacitação intensiva no *software Autodesk Inventor*, ferramenta escolhida para desenvolvimento paramétrico do chassi. A equipe passou por treinamentos específicos e completou tutoriais direcionados para garantir o uso eficaz da plataforma CAD. Durante este processo, foram aplicados rigorosamente os conceitos de Desenho Técnico e Desenho Assistido por Computador, implementando bibliotecas de componentes padronizados conforme as especificações regulamentares.

A seleção de materiais foi criteriosamente realizada conforme o regulamento SAE, optando-se por tubos de aço carbono ABNT 1020. Os membros primários da estrutura foram especificados com diâmetro externo de 31,75 mm e espessura de parede de 2,65 mm, enquanto os membros secundários apresentaram diâmetro mínimo de 25,4 mm e espessura mínima de 0,89 mm e atendendo o requisito estrutural de uma bitola máxima de 1,62 m.

DESENVOLVIMENTO DA SUSPENSÃO DIANTEIRA

O desenvolvimento da suspensão dianteira iniciou-se com a definição da geometria, etapa fundamentada por um levantamento comparativo entre diferentes tipos de suspensões disponíveis para aplicação em veículos *off-road*. Foram analisadas alternativas como eixo rígido, *McPherson*, braço arrastado e duplo A, visando identificar as vantagens e limitações de cada arquitetura em relação às demandas específicas do projeto Baja SAE. A configuração independente duplo A (*Double Wishbone*) foi escolhida devido a suas notórias características de superior controle do ângulo de cambagem durante o curso da suspensão, maior rigidez, excelente capacidade de adaptar-se a terrenos acidentados, facilidade de ajuste das posições de pivôs e elevada estabilidade direcional. Este tipo de suspensão

proporciona melhor distribuição das forças laterais e verticais nas curvas e saltos, reduzindo o rolamento da carroceria e garantindo superior aderência dos pneus em situações extremas de competição. Por essas razões, o sistema duplo A independentemente foi considerado tecnicamente o mais eficiente, combinando robustez construtiva, flexibilidade de ajustes geométricos e respostas dinâmicas adequadas às exigências da prova.

Para a modelagem tridimensional utilizou-se também o *software Autodesk Inventor*, na onde ocorreu a fase de integração e validação envolveu verificação minuciosa da compatibilidade geométrica entre a estrutura tubular e os componentes de suspensão, garantindo perfeita integração dos sistemas. A análise do envelope de movimento assegurou as folgas adequadas e acessibilidade para operações de manutenção e ajuste.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA TUBULAR

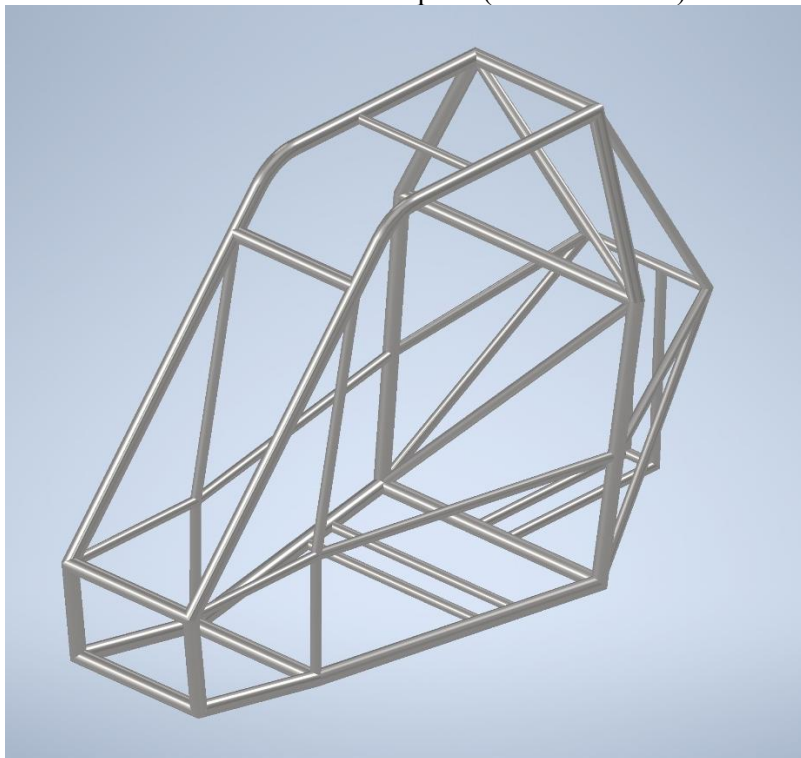
O desenvolvimento da estrutura tubular do veículo iniciou-se por um processo iterativo de esboço e refinamento no ambiente CAD, focado em garantir a estrita conformidade com as especificações da competição Baja SAE. A etapa inicial consistiu no desenho da parte inferior do chassi, a qual foi elaborada com o uso dos comandos “Retângulo” e “Polilinha”. Dessa forma, definiu-se com precisão o perímetro básico e os pontos estratégicos para fixação das suspensões.

Após essa etapa, foram desenhadas duas colunas verticais nas extremidades posteriores da base, empregando linhas paramétricas. Esses elementos deram suporte para os tubos superiores, que, ao serem conectados, formaram a gaiola de proteção da célula do piloto, conferindo ao conjunto rigidez estrutural longitudinal. A robustez estrutural foi ainda reforçada com a inclusão de suportes diagonais, responsáveis por aumentar a resistência à torção.

Na sequência, a estrutura traseira foi criada por meio da extensão de tubos a partir das colunas verticais, formando triângulos estruturais que aumentam a rigidez à tração e facilitam a montagem de sistemas de transmissão. Posteriormente, todo o projeto geométrico passou por uma revisão detalhada de suas dimensões, alinhamentos e pontos de conexão. Essa etapa de validação final assegurou a observância dos limites estabelecidos pelo regulamento, como a bitola máxima de 1,62 m, além de garantir a segurança para transporte de pilotos com até 1,90 m de altura e 113,4 kg, e atender aos requisitos de desempenho em terrenos acidentados.

Após a aprovação do esboço, empregou-se o gerador de estruturas do *Autodesk Inventor* para produzir o modelo final tridimensional. O chassi resultante apresenta membros primários com diâmetro externo de 31,75 mm e espessura de 2,65 mm, membros secundários de 25,4 mm por 0,89 mm, e conexões por interseção conforme as bibliotecas padronizadas da equipe. O projeto contempla ainda todos os pontos de ancoragem necessários para o sistema de suspensão dianteira, sendo detalhado na Figura 1.

FIGURA 1 - Gaiola completa (vista isométrica).



Fonte: Autoria própria.

Este processo rigoroso de modelagem possibilitou uma estrutura eficiente, segura e em absoluto acordo com as regras da competição.

DESENVOLVIMENTO DA SUSPENSÃO DIANTEIRA

Quanto à geometria e à cinemática, definiu-se a adoção da arquitetura independente do tipo duplo A, pelas propriedades mencionadas. Durante a definição, optou-se por um braço superior 5 mm mais curto que o inferior, a fim de obter uma cambagem negativa de $-0,91^\circ$, em vez de uma cambagem nula (0°).

A cambagem negativa, ilustrada na Figura 4, oferece vantagens específicas para veículos de competição *off-road* Baja SAE, principalmente por aumentar a área de contato do pneu com o solo durante curvas agressivas e em terrenos irregulares. Em aplicações *off-road*, a cambagem negativa proporciona maior estabilidade lateral ao aumentar a pressão na borda externa do pneu durante transferências de carga, otimizando a tração em superfícies soltas como areia e terra.

Adicionalmente, esse ângulo de cambagem compensa a tendência natural da suspensão de inclinar-se positivamente sob carregamento dinâmico durante saltos e impactos característicos das provas Baja, mantendo a área de contato do pneu mais uniforme e melhorando significativamente a dirigibilidade e a segurança do veículo em condições extremas de operação (Lisboa; Rodrigues e Felipe, 2018).

Após as definições geométricas e funcionais da suspensão, desenvolveram-se os braços em formato de “A”, conforme ilustrado nas Figuras 2 e 3, com especial atenção aos pontos de fixação nos pivôs, para garantir encaixe preciso e seguro na estrutura tubular do chassi. A estrutura, projetada de acordo com os requisitos normativos, respeita rigorosamente o limite máximo de largura estabelecido pelo regulamento, com uma medida final de 1603 mm, valor inferior ao limite permitido de 1640 mm, assegurando, assim, a conformidade e a elegibilidade do veículo para as competições. Essa integração entre os braços “A” e a estrutura garante um sistema de suspensão robusto, eficiente e alinhado com as demandas rigorosas do ambiente *off-road* típico das provas Baja SAE.

FIGURA 2 – Balança A - maior.

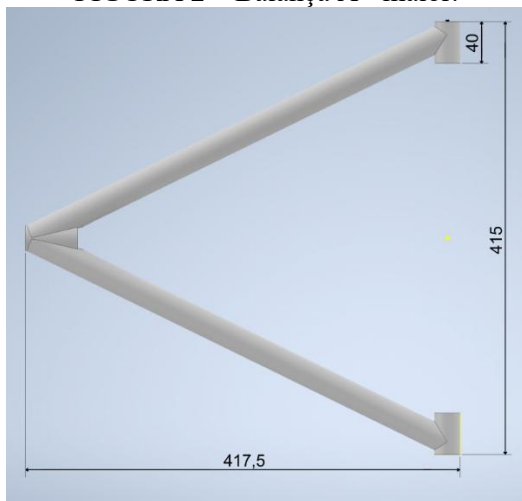
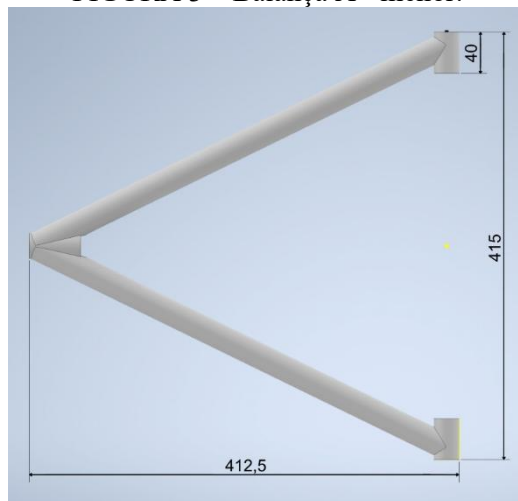
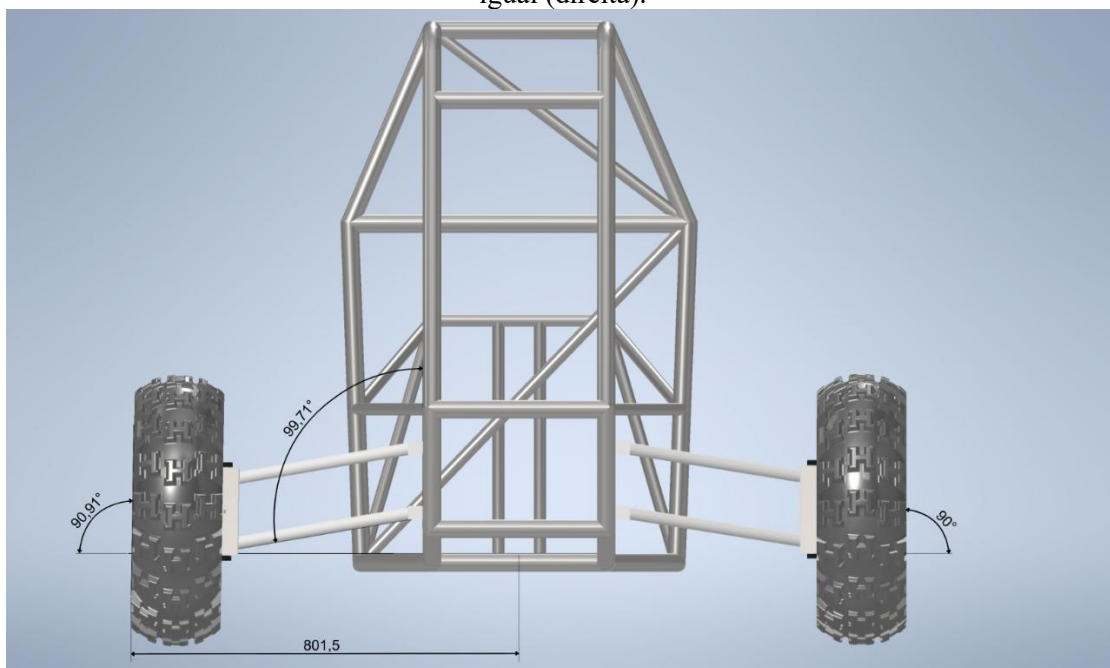


FIGURA 3 – Balança A - menor.



Fonte: Autoria própria.

FIGURA 4 – Estrutura com duplo A de tamanhos diferentes (esquerda) e duplo A de tamanho igual (direita).



Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÕES

Face ao exposto, o desenvolvimento da estrutura tubular e suspensão dianteira do veículo Baja SAE atingiu os objetivos propostos, resultando em um projeto tecnicamente viável e de acordo com o regulamento. A estrutura modelada em aço ABNT 1020 atende aos limites regulamentares, enquanto a suspensão independente duplo A com cambagem negativa de $-0,91^\circ$ favorece a aderência em terrenos irregulares. A integração geométrica entre os sistemas foi validada, confirmando compatibilidade dimensional e funcional.

A metodologia de gerenciamento baseada no PMBOK demonstrou eficácia na organização das atividades e controle dos requisitos. Os resultados confirmam a viabilidade técnica do projeto inicial, estabelecendo base sólida para o desenvolvimento completo do protótipo competitivo.

Para continuidade do desenvolvimento do projeto, será necessária a análise cinemática detalhada com curvas de cambagem e convergência; dimensionamento do sistema amortecedor e *motion ratio*; análise estrutural por elementos finitos das balanças e estrutura tubular; validação experimental

através de ensaios de impacto; e integração dos demais sistemas veiculares, Bem como o desenvolvimento da suspensão traseira com as definições das mesmas características.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

A.J.P.N.: Desenvolvimento da suspensão dianteira, validação e apresentação de dados e redação do manuscrito. G.V.D.: Desenvolvimento da estrutura e redação do manuscrito. A.M.Y.R.: Concepção do projeto, orientação, obtenção de financiamento e revisão do manuscrito.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Programa de Apoio à Ciência e Tecnologia (PACTec) do IFSP, viabilizado por meio de emenda parlamentar da Deputada Estadual Beth Sahn.

REFERÊNCIAS

LISBOA, Lucas Moura; RODRIGUES, Mauro Cesar Werneck; FELIPE, Rafael de Melo. **Metodologia de desenvolvimento do sistema de suspensão para um protótipo Baja SAE**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Nova Iguaçu, 2018.

QUEIROZ, Emanuel Francisco Nogueira et al. Estudo de rigidez torcional em um chassi space frame do tipo Baja SAE. In: ENCONTRO NACIONAL DE MODELAGEM COMPUTACIONAL, 21.; ENCONTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS, 9., 2018, Búzios-RJ. **Anais [...]**. Búzios-RJ: Editora Essentia, 2018. Disponível em: <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/enmc-ectm/article/view/12870>. Acesso em: 13 ago. 2025.

SAE BRASIL. **Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil**. 2024. Disponível em: http://arquivos.saebrasil.org.br/2025/Baja%20Nacional/RATBSB_emenda_06.pdf. Acesso em: 12 ago. 2025.

SANTOS, Hádrian George da Rocha; CHAVES, Alexandre Ribeiro. Análise estrutural por elementos finitos do chassi de um veículo Baja SAE. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, ano 6, ed. 12, v. 10, p. 153-180, dez. 2021. ISSN 2448-0959. DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/veiculo-baja-sae. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/veiculo-baja-sae>. Acesso em: 11 ago. 2025.