

# PROJETO DE SISTEMA DE SUSPENSÃO DOUBLE WISHBONE PARA VEÍCULO TIPO BAJA A HIDROGÊNIO

## DESIGN AND SIZING OF A DOUBLE WISHBONE SUSPENSION SYSTEM FOR A BAJA H2

Murilo Domingues<sup>1, i</sup>  
 Emerson Hafiz Pigozzi Nasr<sup>2, ii</sup>  
 Jose Martinho Leal Neto<sup>3, iii</sup>  
 Claudinei Galligani<sup>4, iv</sup>  
 Francinildo de Sousa Barbosa<sup>5, v</sup>  
 Cleber Willian Gomes<sup>6, vi</sup>  
 Jose Carlos Pereira Omil<sup>7, vii</sup>  
 Guilherme Matioli<sup>8, viii</sup>

### RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e dimensionamento do sistema de suspensão de um veículo Baja H2, voltado para competições acadêmicas e aplicações em pavimento asfáltico. O estudo buscou conciliar estabilidade direcional, conforto dinâmico e viabilidade de construção de baixo custo. Foram considerados critérios de frequência natural entre 1,5 e 2,0 Hz, fundamentais para esportividade em pista, e geometria compatível com dirigibilidade precisa. O sistema selecionado foi o *Double Wishbone* (Duplo A), associado a amortecedores comerciais da motocicleta Honda Tornado 300. Os cálculos de rigidez e geometria resultaram em frequência natural de 1,82 Hz e rigidez de mola próxima ao valor teórico (diferença <5%). Ensaio virtuais em software CAD/CAE indicaram ganho de cambagem em curvas, redução de *bump steer* e manutenção da estabilidade em tração assimétrica. A proposta se mostra adequada ao contexto da mobilidade sustentável, integrando tecnologias de célula a combustível de hidrogênio e soluções mecânicas acessíveis.

**Palavras-chave:** Suspensão, *Double Wishbone*, Rigidez, Baja H2, Dinâmica Veicular, Hidrogênio.

### ABSTRACT

This paper presents the development and sizing of the suspension system of a Baja

<sup>1</sup> Graduando em Sistemas Automotivos pela Faculdade SENAI "Conde José Vicente de Azevedo". E-mail: guidaqueirozg@gmail.com

<sup>2</sup> Graduando em Sistemas Automotivos pela Faculdade SENAI "Conde José Vicente de Azevedo". E-mail: guidaqueirozg@gmail.com

<sup>3</sup> Professor de Sistemas Automotivos na Faculdade SENAI de Tecnologia Conde José Vicente de Azevedo. E-mail: jose.mneto@sp.senai.br

<sup>4</sup> Pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho – Universidade Candido Mendes, e docente no Centro Universitário SENAI – Campus Ipiranga. E-mail: claudinei.galligani@sp.senai.br

<sup>5</sup> Docente e Mestre em Educação Matemática da Faculdade SENAI de Tecnologia Automotiva. E-mail: francinildo.barbosa@sp.senai.br

<sup>6</sup>

<sup>7</sup> Professor de Sistemas Automotivos na Faculdade SENAI de Tecnologia Conde José Vicente de Azevedo. E-mail: jose.omil@sp.senai.br

<sup>8</sup> Professor de Sistemas Automotivos na Faculdade SENAI de Tecnologia Conde José Vicente de Azevedo. E-mail: guilherme.matioli@sp.senai.br

H2 vehicle, designed for academic competitions and asphalt applications. The project aimed to combine directional stability, ride comfort, and cost-effectiveness. Natural frequency criteria between 1.5 and 2.0 Hz were adopted, ensuring sporty performance, along with geometry compatible with precise handling. The chosen system was a **Double Wishbone** setup, combined with commercial shock absorbers from the Honda Tornado 300 motorcycle. Stiffness and geometry calculations resulted in a natural frequency of 1.82 Hz and spring stiffness close to the theoretical value (<5% deviation). Virtual tests in CAD/CAE indicated camber gain in cornering, reduced bump steer, and stability under asymmetric traction. The proposed design fits into the context of sustainable mobility, integrating hydrogen fuel cell technology with accessible mechanical solutions.

**Keywords:** Suspension, Double Wishbone, Stiffness, Baja H2, Vehicle Dynamics, Hydrogen.

## 1 INTRODUÇÃO

A suspensão é um dos subsistemas determinantes no comportamento dinâmico de veículos automotivos. Em competições acadêmicas, como o **SAE Brasil & Ballard H2 Challenge**, a eficiência do sistema de suspensão é importante não apenas para o desempenho em pista, mas também para a segurança e confiabilidade do protótipo. No contexto da **mobilidade sustentável**, veículos experimentais movidos a hidrogênio demandam não apenas sistemas de propulsão inovadores, mas também soluções estruturais otimizadas e de baixo custo. Assim, o correto dimensionamento da suspensão permite explorar o potencial do *powertrain* a hidrogênio, garantindo estabilidade, dirigibilidade e aproveitamento energético.

### 1.1 Problema de pesquisa

Qual configuração de suspensão *Double Wishbone* proporciona maior estabilidade e dirigibilidade a um veículo Baja movido a hidrogênio em pista asfáltica, conciliando baixo custo e robustez construtiva.

### 1.2 Objetivo(s)

Projetar, dimensionar e validar virtualmente uma suspensão *Double Wishbone* para um veículo Baja H2, atendendo aos critérios de frequência natural (1,5–2,0 Hz), conforto dinâmico e estabilidade direcional em pavimento asfáltico.

### 1.3 Justificativa

O projeto justifica-se pelo desafio crescente em unir viabilidade econômica e inovação tecnológica em mobilidade sustentável. Suspensões mal dimensionadas acarretam desgaste prematuro de pneus, baixa previsibilidade em curvas e comprometimento da segurança. O uso de componentes comerciais, como no caso o da Honda Tornado 300, garante baixo custo e fácil manutenção, enquanto a geometria *Double Wishbone* assegura desempenho superior em relação a alternativas como eixo rígido e *McPherson*, especialmente em pistas asfaltadas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Gillespie (1992) aponta que a suspensão define a transferência de carga e o controle direcional de um veículo, já os autores Milliken & Milliken (1995) destacam que frequências naturais entre 1,5–2,0 Hz são ideais para esportividade sem comprometer conforto. Carvalho *et al.* (2022) comprovam que amortecedores de motocicletas

aplicados em protótipos acadêmicos oferecem boa relação custo/desempenho. Müller *et al.* (2021) analisaram suspensões *Double Wishbone* em protótipos elétricos, mostrando eficiência em controle de cambagem. MARTINS *et al.* (2023) ressaltam a importância de integrar dimensionamento de suspensão com as características de distribuição de massa em veículos elétricos a hidrogênio.

### 3 METODOLOGIA

O projeto seguiu as seguintes etapas:

#### 1. Definição de requisitos

- Massa total: 420 kg
- Carga estática por roda:  $\approx 105$  kg
- Curso de suspensão: 100 mm
- Frequência natural alvo: 1,8 Hz

#### 2. Cálculo da rigidez necessária da suspensão

Fórmula:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Onde:

- $f_n$  = frequência natural (Hz)
- $k$  = rigidez da mola (N/m)
- $m$  = massa suportada por roda (kg)

Substituindo valores:

$$1,8 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{105}} \Rightarrow k \approx 13,5 \text{ kN/m}$$

Considerando relação de movimento (MR=0,6):

$$k_{efetivo} = \frac{k}{MR^2} \approx 38 \text{ kN/m}$$

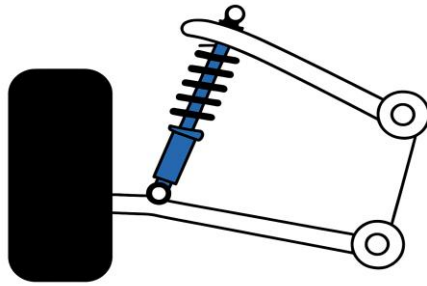
#### 3. Seleção de componentes comerciais

- Amortecedor Honda Tornado 300 ( $\approx 36$  kN/m)
- Adequação ao valor calculado (diferença  $< 5\%$ ).

#### 4. Configuração geométrica

- *Double Wishbone*, braços superiores mais curtos.
- KPI =  $10^\circ$ ; Cambagem estática =  $-2^\circ$ ; Caster =  $+5^\circ$ .
- Convergência: dianteira até  $+0,5^\circ$ , traseira  $+2,3^\circ$ .

Figura 1 – Esquema *Double Wishbone* adotado



Fonte:

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A suspensão projetada atendeu às metas:

- Frequência natural obtida: 1,82 Hz (dentro da faixa ideal).
- Rigidez da mola: diferença <5% em relação ao cálculo teórico.
- Ensaio virtuais (CAD/CAE):
  - Ganho de cambagem em curvas (até  $-1,8^\circ$  adicionais).
  - Redução de bump steer ( $-0,3^\circ$  em 100 mm de curso).
  - Estabilidade em tração assimétrica (veículo manteve trajetória).

Parâmetro	Calculado	Obtido	Erro (%)
Frequência natural (Hz)	1,80	1,82	+1,1
Rigidez efetiva (kN/m)	38,0	36,2	-4,7
Cambagem em curva ( $^\circ$ )	-2,0	-3,8	-
Bump steer ( $^\circ$ )	0,0	-0,3	-

#### 5 CONCLUSÃO

O sistema de suspensão *Double Wishbone* projetado atendeu aos requisitos de estabilidade e dirigibilidade para o veículo Baja H2, conciliando baixo custo e viabilidade construtiva. A utilização de amortecedores comerciais mostrou-se tecnicamente adequada e economicamente viável. Quando comparado a soluções alternativas apresentadas como a suspensão tipo *McPherson* e eixo rígido, o *Double Wishbone* apresentou maior previsibilidade em curvas e melhor controle de cambagem. Como limitação, o estudo baseou-se em análises computacionais, sendo necessários ensaios experimentais para validação.

#### REFERÊNCIAS

- CARVALHO, P. R. et al. *Dimensionamento de Suspensão para Veículos Acadêmicos*. Revista Engenharia Automotiva, v. 15, n. 3, p. 77–88, 2022.
- GILLESPIE, T. D. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Warrendale: SAE, 1992.
- MILLIKEN, W. F.; MILLIKEN, D. L. *Race Car Vehicle Dynamics*. SAE International, 1995.
- MÜLLER, R. et al. *Analysis of Double Wishbone Suspensions in Electric Prototypes*. Journal of Automotive Engineering, v. 245, p. 112–125, 2021.
- MARTINS, J. A. et al. *Suspension Design Integration in Hydrogen-Powered Vehicles*. International Journal of Green Mobility, v. 4, n. 2, p. 55–70, 2023.
- SAE INTERNATIONAL. *Baja SAE Rules*. Warrendale: SAE, 2024

#### SOBRE O(S)AUTOR(ES)

### i MURILO DOMINGUES



Murilo Domingues é Técnico em Manutenção Automotiva pelo Centro Universitário SENAI (2018) – Campus Ipiranga. Com Experiência no setor de reparação e diagnóstico automotivo, atualmente atua como Técnico em Reparação Automotiva na Empresa Kovi Tecnologia S.A, E graduando a Graduação de Tecnologia em Sistemas Automotivos pelo Centro Universitário SENAI – Campus Ipiranga.

### ii EMERSON HAFIZ PIGOZZI NASR



Emerson Hafiz Pigozzi Nasr é graduando em Tecnologia em Sistemas Automotivos pelo Centro Universitário SENAI – Campus Ipiranga. Possui experiência em reparação e diagnóstico automotivo. Atualmente atua com inspetor de qualidade na Kovi Tecnologia S.A, atuando na vistoria pós manutenção dos veículos da frota.

### iii JOSE MARTINHO LEAL NETO



José Martinho Leal Neto possui técnico em manutenção automotiva - SENAI Conde José Vicente de Azevedo (2011), graduação em Tecnologia em Eletrônica Automotiva - FATEC Santo André (2017), Pós-Graduação Latu Sensu em Motores de Combustão Interna - SENAI Conde José Vicente de Azevedo (2019) - Professor de Ensino Superior - Especialista II - SENAI - SENAI Conde José Vicente de Azevedo.

### iv CLAUDINEI GALLIGANI



Pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho, graduado em Engenharia de Controle e Automação e em Administração, com formação técnica em Eletrônica e Eletrotécnica. Atua desde 1988 na Mercedes-Benz do Brasil, com experiência em engenharia elétrica automotiva, gestão de projetos, qualidade e desenvolvimento de metodologias de análise de causa raiz..

### v FRANCINILDO DE SOUSA BARBOSA



Mestre em Educação Matemática, com mais de 38 anos na Educação Básica e 24 no Ensino Superior. Professor assistente no Centro Universitário SENAI-SP e diretor escolar em São Bernardo do Campo, com foco em matemática aplicada e gestão educacional.. <https://orcid.org/0009-0003-9102-9908>

### vi CLEBER WILLIAN GOMES



Com mais de 20 anos de experiência no desenvolvimento de produto e também como docente em instituições como o SENAI Ipiranga - Conde José Vicente de Azevedo, o Centro Universitário da FEI, a Fatec e em cursos de pós-graduação, trabalhou na Ford e, atualmente, atua na Volkswagen do Brasil. É especialista e consultor na implementação de projetos ágeis e voluntário na SAE BRASIL.

### vii JOSE CARLOS PEREIRA OMIL



Graduado em Engenharia Mecânica pelo Instituto de Ensino de Engenharia Paulista - IEEP (1985). Atualmente é professor de educação superior especialista II do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - Senai - SP. Possui experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase na área de pós venda e ensaios dinamométricos em motores de combustão interna.

### viii GUILHERME MATIOLLI



Possui graduação em Engenharia Mecatrônica (2019) e Mestrado (2023) em Energia, ambos pela Universidade Federal do ABC. Atualmente é professor da Faculdade Senai de Tecnologia e pesquisador em IA aplicado ao setor automotivo. Tem experiência na área de Automobilística, com ênfase em modelagem e controle de sistemas automotivos. <https://lattes.cnpq.br/6601168491156158>