

# DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE MODELO DINÂMICO LONGITUDINAL PARA VEÍCULO BAJA 4WD

Rodrigo Souza Nunes da Silva<sup>1</sup>, André de Souza Mendes<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Engenharia Mecânica, FEI

[rodrigossouza.n.d.s@gmail.com](mailto:rodrigossouza.n.d.s@gmail.com), [asmendes@fei.edu.br](mailto:asmendes@fei.edu.br)

**Resumo:** A presente pesquisa tem como objetivo a elaboração de um modelo computacional da dinâmica longitudinal de um *All-Terrain Vehicle* (ATV) com tração 4WD, *Four Wheel Drive*, utilizando protótipo disponibilizado pela equipe FEI BAJA. Este modelo deve auxiliar no desenvolvimento e na preparação de protótipos que utilizam transmissão CVT mecânica do tipo *flyweight*. Os resultados simulados pelo modelo demonstraram boa fidelidade se comparado aos dados dos ensaios práticos realizados.

## 1. Introdução

Ajustar uma transmissão continuamente variável (*Continuously Variable Transmission – CVT*), acionada mecanicamente pode ser um processo complexo que requer experiência e conhecimento especializado [1]. Portanto, este artigo tem como objetivo desenvolver e validar experimentalmente um modelo matemático da dinâmica longitudinal de um veículo equipado com transmissão CVT *flyweight* com correia de borracha utilizando o software MATLAB. Este modelo computacional deve contribuir a reduzir o tempo e o custo dos testes experimentais necessários para ajustar a transmissão sob diferentes condições operacionais.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Muitos autores já trataram do desenvolvimento de modelos virtuais para CVTs mecânicas. Arango e Azalte [2] desenvolveram equações da dinâmica longitudinal e de polias em V para calcular tensões das correias. Willys [3] utilizou balanços de energia e princípios cinemáticos para otimizar a performance de protótipos. Skinner [1] validou o comportamento da CVT utilizando uma bancada de testes com dinamômetro e sensores. Julió e Plante [4] usaram um modelo discreto para descrever forças e cinemática da polia motora. Anderson [5] realizou uma análise quase estática da CVT, focando em modelos de estado estacionário. Ding et al. [6] estudaram o perfil de rampa da polia motora para otimizar a regulação da CVT.

## 3. METODOLOGIA

A dinâmica longitudinal do veículo foi equacionada utilizando as seguintes grandezas ilustradas na figura 1:  $D_A$  a força de arrasto aerodinâmico;  $\ddot{x}$  a aceleração longitudinal;  $W$  a força peso;  $W_t$  a força normal no eixo traseiro;  $W_d$  força normal no eixo dianteiro;  $F_{xt}$  força longitudinal no eixo traseiro;  $F_{xd}$  força longitudinal no eixo dianteiro;  $h$  altura do centro de gravidade (CG) em relação solo;  $c$  distância longitudinal do eixo traseiro até o CG;  $b$  distancia longitudinal do eixo dianteiro até o CG.

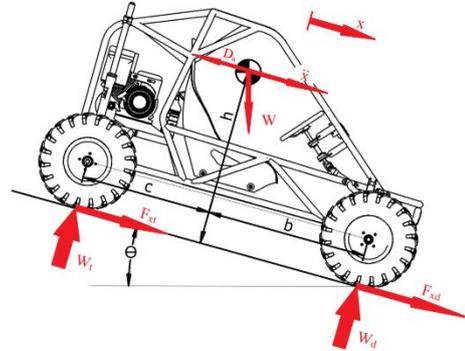


Figura 1 – Diagrama de Corpo Livre (DCL) do modelo.

A relação de transmissão CVT mudará com base na dinâmica das polias. A dinâmica do CVT introduz um grau de liberdade adicional ao modelo. A Figura 2 ilustra a mecânica das polias primária e secundária e as principais forças atuantes.

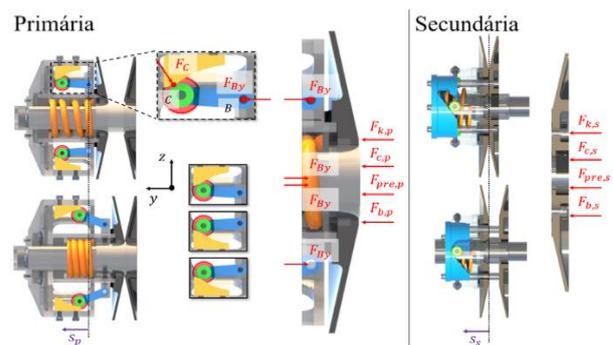


Figura 2 – Polias primária (esquerda) e secundária (direita) e as forças atuantes em cada polia móvel [7].

O modelo validado por Silva et al. [7] baseou-se em um protótipo com tração traseira, no qual foram validados os comportamentos da transmissão e dinâmica longitudinal do protótipo. Os resultados do artigo feito por Silva foram utilizados para extrapolar os resultados para um modelo com as mesmas dimensões do protótipo, mas com tração 4WD.

O modelo matemático descrito é implementado computacionalmente no recurso SIMULINK do software MATLAB. A estrutura do simulador contém a sequência: input de porcentagem de pedal do acelerador no bloco de motor, calculando o torque do motor; O torque do motor é aplicado no bloco de CVT, calculando o torque da CVT; o torque da CVT entra no bloco de *driveline* e nele são calculadas as forças de tração longitudinal para cada eixo; as forças de tração entram no bloco de dinâmica longitudinal obtendo como resposta cinemática do veículo.

#### 4. Resultados

Os resultados experimentais e simulados estão ilustrados na Figura 3. Os três principais sinais que representam a dinâmica longitudinal são ilustrados ao longo do tempo: velocidade longitudinal, RPM do motor e relação de velocidades. O resultado experimental é apresentado nos três gráficos com as respostas do modelo computacional para o modelo 4x2.

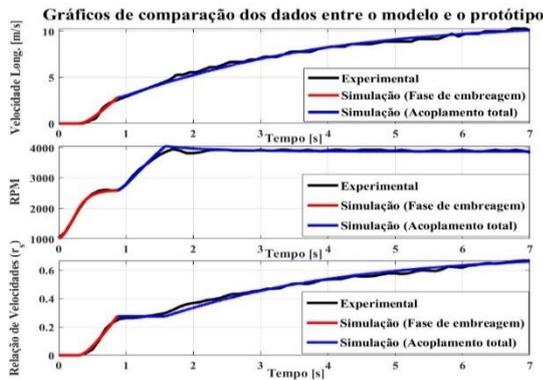


Figura 3 - Resultados experimentais e de simulação (4x2) com gráficos de velocidade (superior), RPM (meio) e relação de velocidade (inferior).

Para identificar o limite teórico de desempenho do protótipo foram feitas simulações assumindo um sistema de transmissão ideal. Com os dados das simulações, é possível criar um envelope (curva idealizada de desempenho) como ilustrado na figura 4 na qual determina o limite teórico do sistema ideal, utilizando o melhor resultado obtido pelas simulações, conforme descrito por Jazar [8].

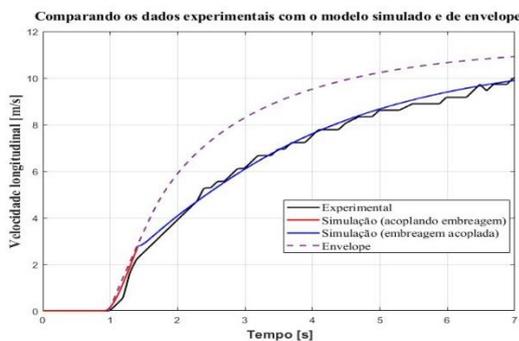


Figura 4 - Resultados para a comparação dos modelos de CVT real e do envelope com os dados experimentais do protótipo.

Utilizando o modelo de envelope, o veículo com diferentes configurações, foi submetido a uma prova pela qual deveriam percorrer uma distância de 30 metros partindo do repouso. O tempo que o veículo com cada configuração levou para realizar essa prova (tempo de prova) resultará em qual o melhor range de configurações para máxima performance. Os parâmetros variáveis foram: posição longitudinal do CG (abscissa do mapa), posição vertical do CG (ordenada do mapa) e o tempo de prova (nível do mapa) como ilustra a figura 5. As simulações foram feitas utilizando o range de 0.4 a 0.8 metros, com o passo de 0.005 metros.

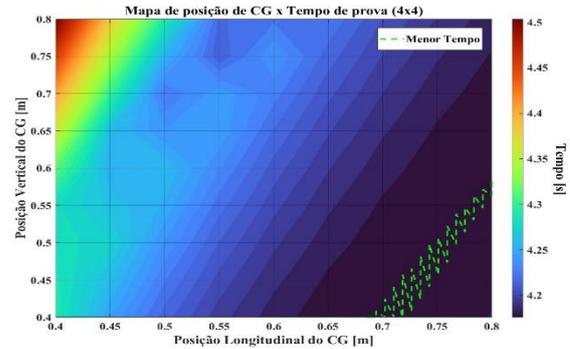


Figura 5 – Mapa de performance do CG em relação às posições de CG do protótipo 4x4 idealizado.

#### 5. Conclusões

O modelo mostra boa correspondência com os dados experimentais. O modelo idealizado revela perda de desempenho do protótipo real após 3 m/s. O modelo matemático proposto pode ser usado para estudar economia de combustível e melhorar o desempenho dinâmico de veículos com CVT.

#### 6. Referências

- [1] SKINNER, Sean Sebastian. **Modeling and Tuning of CVT Systems for SAE® Baja Vehicles**. West Virginia University, 2020.
- [2] ARANGO, Ivan; MUÑOZ ALZATE, Sebastian. **Numerical design method for CVT supported in standard variable speed rubber V-belts**. Applied Sciences, v. 10, n. 18, p. 6238, 2020.
- [3] Willis, C. R. (2006). **A kinematic analysis and design of a continuously variable transmission**, (Dissertação de doutorado, Virginia Tech).
- [4] JULIÓ, G.; PLANTE, J.-S. **An experimentally-validated model of rubber-belt CVT mechanics**. Mechanism and Machine Theory, v. 46, n. 8, p. 1037-1053, 2011.
- [5] Anderson, B., 2017. **Analysis and Tuning of a Flyweight-Actuated Continuously Variable Transmission**.
- [6] DING, Hua Feng; ZHU, Cai Chao; LIU, Huai Ju. **Influence of Flyweight Profile on Regulating Characteristic of Rubber V-Belt CVT**. Applied Mechanics and Materials, v. 86, p. 210-213, 2011.
- [7] SILVA, R. ; MAIA, G. ; SILVA, B. J. ; MACEDO, G. B. ; ROLEMBERG, C. ; MENDES, A. S. . **Modeling and validation of the longitudinal dynamics of a 2WD vehicle with mechanically driven CVT**. In: COBEM 2023 - 27th International Congress of Mechanical Engineering, 2023, Florianópolis.
- [8] JAZAR, R. N. **Vehicle dynamics: Theory and application**. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2017.

#### Agradecimentos

A Deus, a minha mãe, amigos e à equipe FEI BAJA pelo empréstimo de equipamentos.

<sup>1</sup> Aluno de IC do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 04/2023 a 06/2024.