

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: Bolsistas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica da Unijui

BANCADA PARA VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DA MODELAGEM MATEMÁTICA DA DINÂMICA DA RODA DE TRACÇÃO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO¹
EXPERIMENTAL VALIDATION BENCH OF THE MATHEMATICAL MODELING OF THE DRIVE WHEEL DYNAMICS OF AN ELECTRIC VEHICLE

Matias Alles Hubert², Rosângela Rommel Regner³, Luiz Antônio Rasia⁴, Antonio Carlos Valdiero⁵

¹ Projeto desenvolvido no Núcleo de Inovação em Máquinas Automáticas e Servo Sistemas (NIMASS) Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da UNIJUI

² Aluno do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, bolsista PIBITI/CNPq (matias.a.hubert@gmail.com)

³ Aluna de Mestrado em Modelagem Matemática UNIJUI (rosangela.regner@gmail.com)

⁴ Prof. Dr. do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias (rasia@unijui.edu.br)

⁵ Orientador: Prof. Dr. Eng. Líder do Grupo de Pesquisa Projeto em Sistemas Mecânicos, Mecatrônica e Robótica, e docente do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias (valdiero@unijui.edu.br)

INTRODUÇÃO

Ehsani et al. (2010) comentam que as tecnologias de acionamento elétrico, elétrico híbrido e de célula de combustível são as soluções de potência de acionamento mais promissoras para veículos no futuro próximo. Conforme Delgado et al. (2017, p. 17) “veículos elétricos (VEs ou EVs, da sigla em inglês *Electric Vehicles*) são aqueles que utilizam um ou mais motores elétricos, em parte ou completamente, para propulsão”.

De acordo com Porchera et al. (2016), o veículo elétrico pode apresentar diferentes vantagens, dentre as quais pode-se destacar a não emissão de qualquer tipo de gases durante a sua utilização, eficiência consideravelmente maior que veículos com motor a combustão e produção de ruídos praticamente imperceptíveis ao ouvido humano, contribuindo para combater a poluição sonora. Bignami et al. (2017) apresentam o projeto de mobilidade inteligente *Green Move* desenvolvido com o objetivo de conceber e experimentar um novo sistema de compartilhamento de carros para a cidade de Milão por meio de veículos elétricos.

A partir da bancada de testes para modelagem matemática da dinâmica da roda de tração de um veículo com acionamento elétrico, são obtidos dados com o sistema de *encoder* incremental utilizando chave óptica e disco perfurado impresso em impressora 3D, sendo possível obter a variação do tempo e o deslocamento angular desenvolvido no eixo da caixa de redução do motor de corrente contínua (motor CC) 6V.

01 a 04 de outubro de 2018

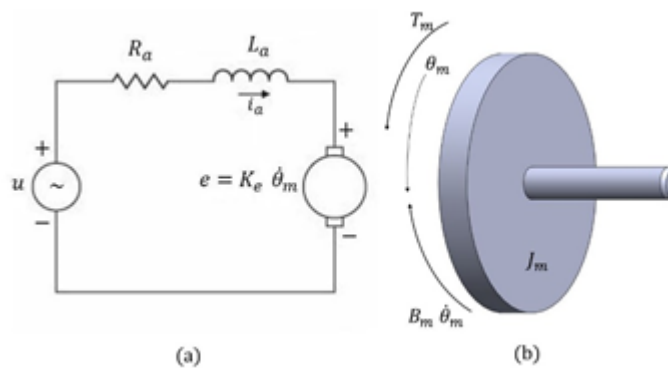
Evento: Bolsistas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica da Unijui

MODELAGEM MATEMÁTICA

Conforme descrito por Canal, Valdiero e Reibold (2017), para fins de modelagem matemática, pode-se fazer uma consideração de equivalência, utilizando-se um motor CC de ímã permanente ou um motor CC com enrolamento de campo cuja corrente seja constante. Com esta equivalência, define-se como variável de entrada do motor CC a tensão na armadura.

O circuito elétrico equivalente do motor CC é apresentado na Figura 3:

Figura 3. Motor de corrente contínua: (a) circuito elétrico da armadura; (b) diagrama de corpo livre do rotor.



Fonte: adaptado de Franklin, Powell e Abas (2013).

Para obter o modelo matemático do motor de corrente contínua com circuito elétrico, considera-se o torque T_m no rotor, onde i_a representa a corrente da armadura, θ_m expressa a tensão da força eletromotriz em termos da velocidade de rotação do eixo, k_t é a constante do torque e k_e é a constante elétrica. Assim, tem-se as equações (1) e (2):

$$T_m = k_t i_a \quad (1)$$

$$e = k_e \dot{\theta} \quad (2)$$

Aplicando o princípio de d'Alembert ($\Sigma T = \Sigma J_m \ddot{\theta}_m$) e a lei de Kirchhoff das tensões, chega-se à dinâmica de uma roda de tração de um veículo acionado eletricamente, representada pelas equações (3) e (4), conforme segue:

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a = u - k_e \dot{\theta}_R \quad (3)$$

$$J_{eq} \ddot{\theta} + B_{eq} \dot{\theta} = i k_t i_a - F_T \frac{d_R}{2} \quad (4)$$

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: Bolsistas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica da Unijui

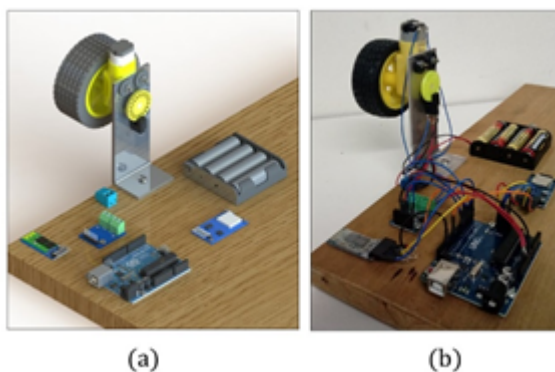
Dessa forma, os dados gerados pela bancada, serão importantes para o trabalho de modelagem matemática da roda de tração, devido a necessidade dos valores de velocidade e aceleração obtidos através da primeira e segunda derivada do deslocamento angular, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Alterando os valores de *PWM* (do inglês *Pulse Width Modulation*), altera-se o valor de tensão média entregue à carga, para isso, foram padronizados valores de *PWM* para que os valores obtidos em diferentes testes possam ser comparados. Basicamente, a carga é presa de forma tencionada e tangencialmente à roda, portanto o motor parte com carga máxima aplicada ao eixo. Tendo a carga corretamente instalada, são aplicados valores de *PWM* ao motor, desde o valor mínimo capaz de completar o teste, até o valor máximo.

Como resultado, apresenta-se o projeto e a construção da bancada destinada aos testes de motor elétrico na Figura 4.

Figura 4. Bancada experimental: (a) projeto da bancada; (b) construção da bancada.



Fonte: Próprio autor.

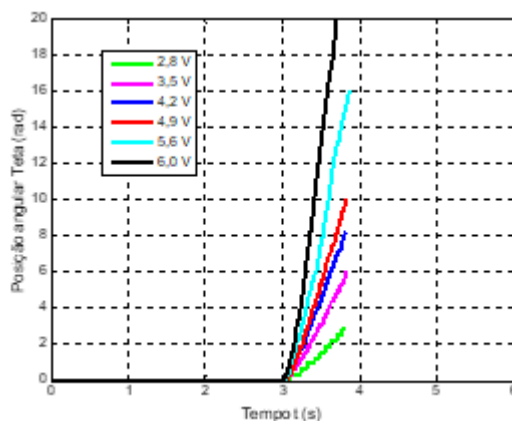
Variando-se a carga adicionada ao eixo, e a partir dos valores característicos do motor CC utilizado na bancada, resistência e indutância do circuito de armadura, é possível a projeção de resultados de velocidade, torque, tensão, corrente. Com dados obtidos até o momento, é possível plotar curvas de deslocamento angular, a partir dos valores de pulsos e de tempo.

A Figura 5 mostra os resultados dos testes do motor elétrico com diferentes sinais de entrada (tensão) para a força de tração de 0,245N. Já a Figura 6 representa os resultados dos testes com um sinal de entrada em tensão de 2,82 Volts sob diferentes forças de tração F_T .

Figura 5. Resultados dos testes de malha aberta do motor elétrico com diferentes sinais de entrada em tensão sob uma força de tração $F_T = 0,245 \text{ N}$ (elevação de massa de 25 gramas).

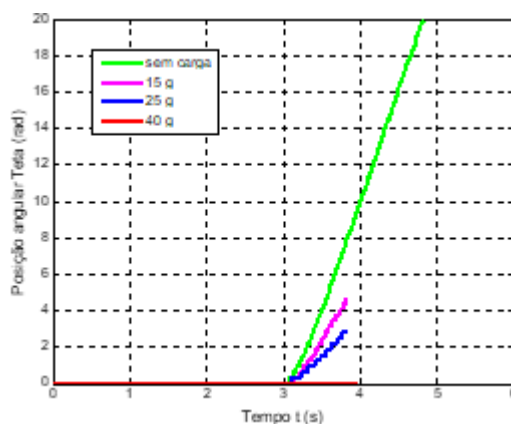
01 a 04 de outubro de 2018

Evento: Bolsistas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica da Unijui



Fonte: Próprio autor.

Figura 6. Resultados dos testes de malha aberta do motor elétrico com um sinal de entrada em tensão de 2,82 Volts sob diferentes forças de tração FT (elevação de diferentes valores de massa).



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 5 é possível observar que quanto maior for a tensão, maior será o deslocamento. Já a figura 6 mostra que para a tensão de 2,82 Volts a carga de 40 gramas é excessiva, fazendo com que a roda não gire. Ambas as figuras validam o que acontece experimentalmente.

PALAVRAS-CHAVE: Roda de tração; Acionamento elétrico; Modelagem matemática.

KEY-WORDS: Traction wheel; Electric activation; Mathematical model.

AGRADECIMENTOS

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: Bolsistas de Iniciação Científica e Iniciação Tecnológica da Unijuí

Os autores são agradecidos ao CNPq e à UNIJUI pelas bolsas de iniciação científica e desenvolvimento tecnológico, à UNIJUI e ao FINEP pelo apoio na complementação do Núcleo de Inovação em Máquinas Automáticas e Servo Sistemas (NIMASS), por meio da Chamada Pública MCTI/FINEP/CT-INFRA - PROINFRA - 02/2014 - Equipamentos Multiusuários, Ref.: 0141/16 (Protocolo Eletrônico: 124), com a aprovação de recursos para compra de equipamentos para construção de protótipos para pesquisas de mestrado e doutorado. Este trabalho teve o apoio financeiro por meio do projeto de título: "Pesquisa em Mecatrônica orientada aos Desafios da Sociedade" (Termo de Outorga no. 17/2551-0001014-0) no EDITAL FAPERGS 02/2017 - PqG (Programa Pesquisador Gaúcho).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIGNAMI, Daniele Fabrizio et al. **Electric Vehicle Sharing Services for Smarter Cities**. 2017.
- CANAL, I. P.; VALDIERO, A. C.; REIMBOLD, M. M. P. **Modelagem Matemática de Motor de Corrente Contínua e análise dinâmica**. Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional (CNMAC), Gramado - RS, 2016. In: Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics, Vol. 5, n. 1, 2017.
- DELGADO, F. et al. **Carros elétricos**. Cadernos FGV energia. Rio de Janeiro: Accenture, ano 4, n. 7, p. 7-38, maio 2017. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/19179/Caderno%20Carros%20Eltricos-FGV-BOOK%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 24 abr 2018. ISSN 2358-5277.
- EHSANI, Mehrdad et al. **Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design**. CRC Press, 2010.
- FRANKLIN, G. F.; POWELL, J. D.; ABAS, E.; **Sistema de controle para engenharia**. Tradução: Fernando de Oliveira Souza - 6 ed. Porto Alegre: Bookmann, 2013.
- PORCHERA, G. da S. O. et al. **Vantagens e Barreiras à utilização de veículos elétricos**. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Resende, 2016. Disponível em: <<http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/28224302.pdf>>. Acesso em: 23 abr 2018.
- TAMASHIRO, N.Y.; SANTANA, L.; SANTOS, M.; **Desenvolvimento de um sistema de amortecimento lateral aplicado a uma órtese tornozelo-pé e análise estática angular através de acelerômetro**. *FTT Journal of Engineering and Business*, São Bernardo do Campo, p 116, 2016.