

## **Simulação de um Pseudo-Direct Drive pelo método de elementos finitos**

**CASSIO TRAPP KRÜGER<sup>1</sup>; ANTONELA BITTENCOURT MAAG<sup>2</sup>; SIGMAR DE LIMA<sup>3</sup>; CARLOS GUILHERME DA COSTA NEVES<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [krugercassio@gmail.com](mailto:krugercassio@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [atmaag@gmail.com](mailto:atmaag@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [sigmar.lima@gmail.com](mailto:sigmar.lima@gmail.com)

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas – [cgcneves@gmail.com](mailto:cgcneves@gmail.com)

### **1. INTRODUÇÃO**

Geradores elétricos a ímãs permanentes convencionais utilizam caixas de engrenagens (Mechanical-Gear-Drives ou MGD) para aumentar ou diminuir a velocidade do gerador em relação a máquina primária, dependendo das condições de carga. Entretanto, caixas de engrenagens possuem problemas inerentes que causam perdas de energia, como o atrito, vibração e aquecimento. Os Pseudo-Direct-Drives (PDD), ou engrenagens magnéticas, entretanto, não possuem perdas inerentes como os MGD (NEVES, C. G. C.; FLORES FILHO, A. F., 2015).

O objetivo do trabalho é demonstrar o funcionamento de um PDD utilizando simulação por elementos finitos (Finite-Elements-Method ou FEM) com o software GMSH (*A three-dimensional finite element mesh generator with built in pre and post processing facilities*) gerador de malhas de elementos finitos em 2D/3D agregado a facilidades de pré e pós-processamento e o GetDP (*A General Environment for the Treatment of Discrete Problems*) para o tratamento de problemas discretos modelados através de equações diferenciais (GEUZAINÉ, C. e REMACLE, J.F., 2009).

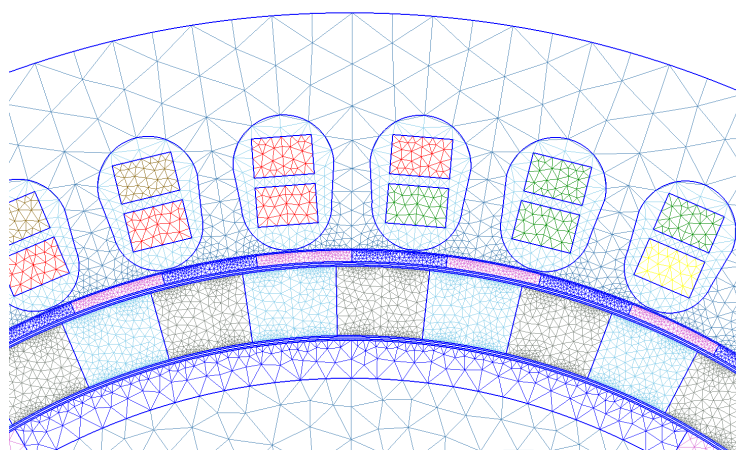
### **2. METODOLOGIA**

A partir de uma revisão bibliográfica, a compreensão do funcionamento de um PDD é peça chave para a realização deste trabalho. Com os conceitos bem sedimentados, o estudo sobre o software de elementos finitos (HUTTON, D. V., 2003) foi realizado baseado em exemplos fornecidos pelos desenvolvedores. Em seguida, realizou-se a modelagem da estrutura do PDD no software estudado e, com o modelo finalizado, simulou-se a máquina proposta, obtendo gráficos demonstrando seu funcionamento.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os exemplos de modelos de máquinas elétricas fornecidos pelos desenvolvedores do software utilizado são de máquinas convencionais, ou seja, que possuem apenas uma parte móvel giratória (rotor). A máquina estudada neste trabalho é considerada uma máquina não convencional, pois possui uma engrenagem magnética constituída por dois rotores. Durante a pesquisa, desenvolveu-se um novo modelo para este tipo de máquina utilizando o software em questão. Na figura 1 é possível observar a malha de elementos finitos gerada pelo software utilizado.

Figura 1: Malha de elementos finitos



Na simulação do PDD, foram analisadas as curvas de tensão (figura 2) obtidas para provar o funcionamento da máquina acoplada a um gerador. É possível observar que existe uma variação na amplitude e na frequência dos sinais, isso acontece devido a variação na velocidade de entrada da máquina. A figura 3 mostra a velocidade (RPM) de cada uma das partes móveis, provando que existe a relação de engrenagem entre elas e, portanto, provando a transmissão de torque/velocidade de um PDD.

Figura 2: Curvas de tensão

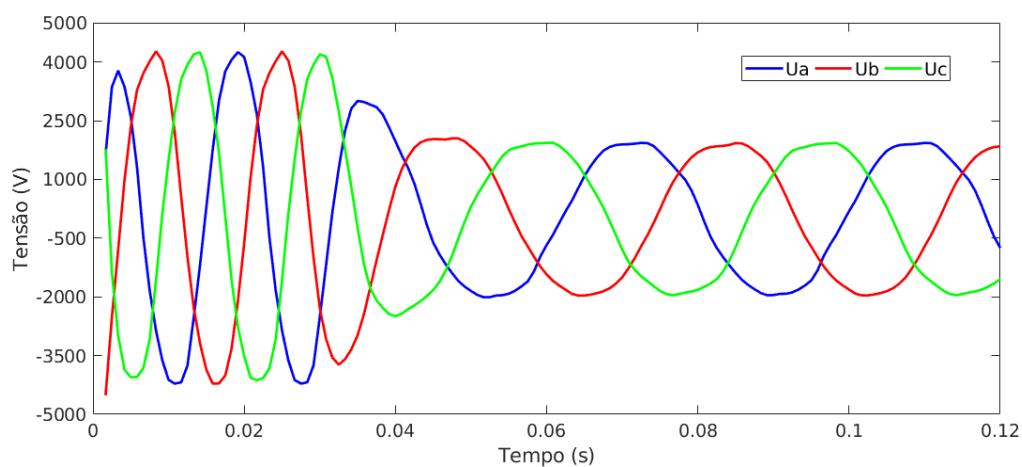
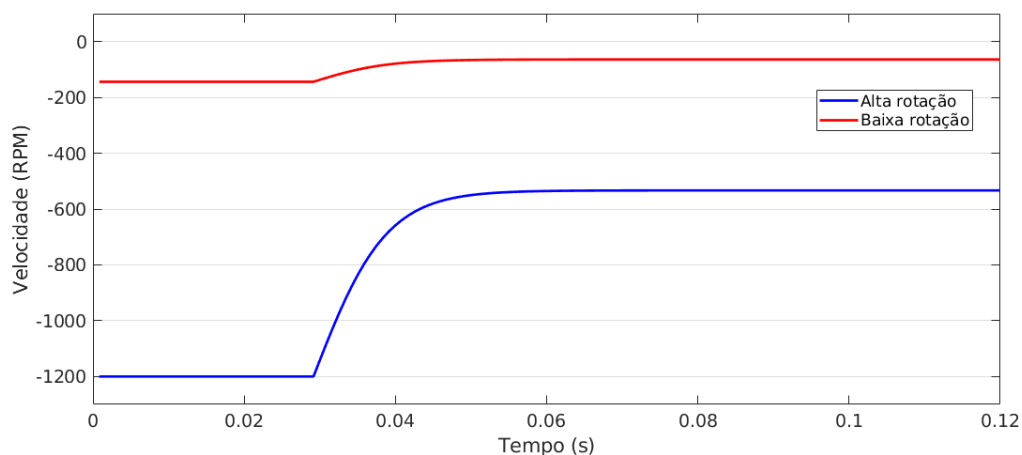
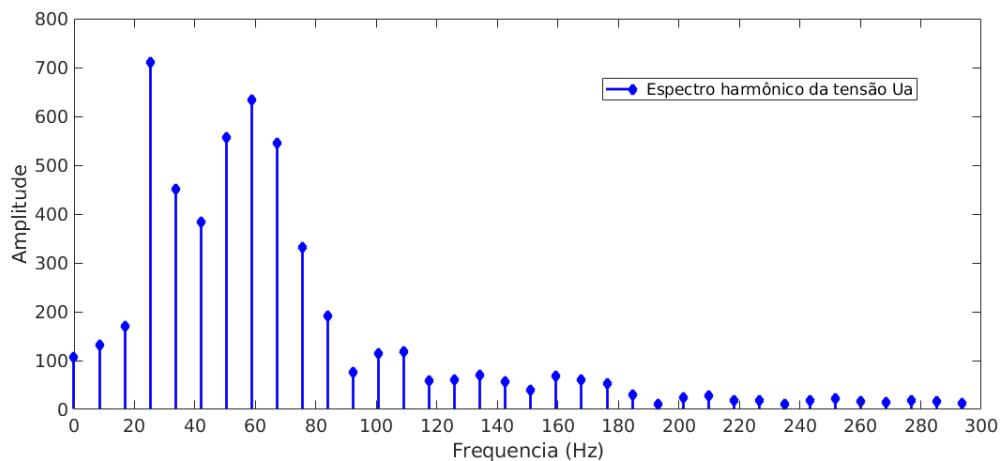


Figura 3: Curvas de velocidade do PDD



A figura 4 apresenta o espectro de frequências de uma das tensões geradas, evidenciando o conteúdo harmônico da tensão quando existe variação na velocidade de entrada da máquina primária.

Figura 4: Espectro de frequências de  $U_a$



#### 4. CONCLUSÕES

Este estudo conseguiu utilizar um software livre para simular uma máquina elétrica não convencional, gerando um modelo até então inexistente no software utilizado. A partir deste novo modelo, poderão ser estudadas novas topologias para máquinas deste tipo e fazer comparações com simulação feitas em softwares utilizados na indústria.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HUTTON, D. V. **Fundamentals of Finite Element Analysis**. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2003.

BASTOS, J. P. A. e SADOWSKI, N. **Electromagnetic modeling by finite element methods**. CRC Press, 2003.

GEUZAIN, C. e REMACLE, J.F. Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities. **International Journal for Numerical Methods in Engineering**, v.79, Issue 11, p.1309-1331, 2009

LIMA, S. de. **Implementação de estratégias de controle utilizando lógica fuzzy e técnicas de controle vetorial em um software de elementos finitos**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Santa Catarina.

NEVES, C. G. C.; FLORES FILHO, A. F. Coaxial Magnetic Gear: A Pedagogic Approach, **ISEF 2015 - XVII International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering**, 2015, Valência; **ISEF 2015 - XVII International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering**, 2015.

NEVES, C. G. C.; FLORES FILHO, A. F. Coaxial Magnetic Gear Analysis by FEM, **MOMAG 2014: 16º SBMO - Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica e 11º CBMag - Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo**, 2014, Curitiba. Coaxial Magnetic Gear Analysis by FEM, 2014. p. 1062-1067.

NEVES, C. G. C.; FLORES FILHO, A. F. Coaxial Magnetic Gear Analysis and Optimization, **International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)**, 2014, Milwaukee. Coaxial Magnetic Gear Analysis and Optimization, 2014.

NEVES, C. G. C.; FLORES FILHO, A. F. Magnetic Gear - A Review, **IEEE/IAS International Conference on Industry Applications**, 2014, Juiz de Fora - MG. Magnetic Gear - A Review, 2014.