

## MODELAGEM E CONSTRUÇÃO DE MÁQUINA A RELUTÂNCIA VARIÁVEL

**Marcos José de Moraes Filho<sup>1,2</sup> (PG), Luciano Coutinho Gomes<sup>1</sup> (PQ), Augusto W. Fleury Veloso da Silveira<sup>1</sup> (PQ), Josemar Alves dos Santos Junior<sup>1,3</sup> (PQ), Cássio Alves de Oliveira<sup>1</sup> (PG), Gustavo de Oliveira Machado<sup>1</sup> (EG)**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Uberlândia, *Campus Uberlândia*; <sup>2</sup>Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Unidade Dr. Celso Charuri; <sup>3</sup>Instituto Federal de Goiás, *Campus Itumbiara*.

**Área do Conhecimento: Máquinas Elétricas e Dispositivos de Potência**

### Resumo

*Este trabalho apresenta a etapa de construção de uma máquina a relutância variável 8/6, podendo a mesma vir a ser acionada tanto como motor quanto gerador. A etapa de modelagem computacional também será abordada, a qual é de grande valia ao longo do trabalho científico, pois permite análise previa do ponto de vista mecânico resguardando recursos financeiros, a segurança das pessoas e propostas de modificações sem maiores transtornos.*

**Palavras-chave:** *Máquina a relutância variável; modelagem; projeto.*

### Introdução

Nas últimas décadas devido ao grande avanço de diversas áreas da engenharia elétrica, tais como a eletrônica de potência, microcontroladores, sistemas de sensoriamento, dentre outras; muitas máquinas não convencionais vêm tornando-se objetos de estudos, e dentre estas máquinas temos a máquina a relutância variável (MaRV), seja acionada como motor ou como gerador.

Apesar de apresentar algumas limitações, a máquina a relutância variável mostra-se capaz de competir com máquinas convencionais em aplicações que demandem velocidades variáveis, pois, para tais situações o conversor não é um fator diferencial. Dentre as principais características das MaRVs tem-se:

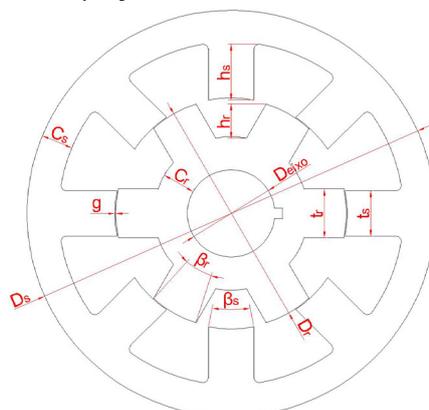
- Robustez, permitindo trabalho em ambientes sujeitos a altas temperaturas e vibrações;
- Tolerância à falta de fases em motores polifásicos, visto que as fases são controladas de modo independente;
- Construção simples, com enrolamentos concentrados nos polos e rotor laminado;
- Redução de perdas ôhmicas no rotor, visto à inexistência de enrolamentos no mesmo;
- Alimentação a partir de uma fonte de corrente contínua, apresentando impacto positivo na implementação do conversor para seu acionamento;
- Elevado conjugado de partida;
- Alta relação conjugado/ volume, característica que gera impactos financeiros visto à redução do material em sua produção.

A partir das características acima listadas, a MaRV vem destacando-se em diversos estudos científicos e aplicações industriais.

### Relato de Caso

O protótipo utilizado como foco neste trabalho é uma máquina 8/6 com potência nominal de 2,2 kW (3 cv) e corrente nominal de 10 A, a qual teve seu projeto desenvolvido dentro do laboratório que dá suporte ao estudo, desde as etapas referentes à definição das medidas e dos materiais, a modelagem em 2D e 3D, o estudo elétrico e magnético, simulações, findando em sua construção efetiva. A figura 1 retrata a localização das principais grandezas de projeto apresentadas na tabela 1, através de suas siglas.

**Figura 1** - Localização das grandezas de projeto.



**Fonte:** Autoria própria.

As principais dimensões da MaRV 8/6 projetada seguem na tabela abaixo.

**Tabela 1** - Principais parâmetros da máquina foco deste trabalho.

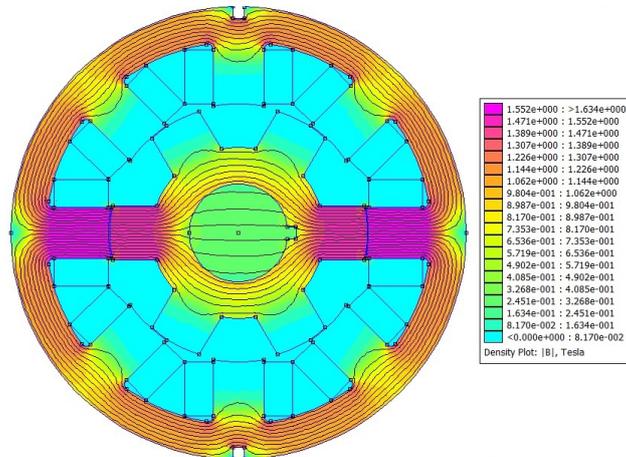
Parâmetro	Símbolo	Valor
Quantidade de polos no estator	$N_s$	8 polos
Quantidade de polos no rotor	$N_r$	6 polos
Potência nominal	$P_n$	2,2 kW
Ângulo dos polos do rotor	$\beta_r$	24,5°
Ângulo dos polos do estator	$\beta_s$	22,5°
Diâmetro externo do rotor	$D_r$	90,5 mm
Diâmetro externo do estator	$D_s$	160 mm
Comprimento do entreferro	$g$	0,3 mm
Comprimento do rotor	$l$	63 mm
Largura dos polos do rotor	$t_r$	19,2 mm
Largura dos polos do estator	$t_s$	17,8 mm
Altura dos polos do rotor	$h_r$	15 mm
Altura dos polos do estator	$h_s$	22 mm
Culatra do rotor	$C_r$	13 mm
Culatra do estator	$C_s$	12,45 mm
Diâmetro do eixo	$D_{eixo}$	34,5 mm

**Fonte:** Autoria própria.

A partir das medidas expostas na tabela 1 as lâminas que compõe o rotor e o estator da máquina foram desenhadas no *software* AutoCAD®, e o esboço foi exportado para o *software* FEMM®, figura 2, onde iniciou-se a análise magnética e elétrica por meio de elementos finitos,

utilizando o método de triangulação. Nesta etapa o funcionamento da máquina foi simulado para diversos valores de correntes e posições do rotor.

**Figura 2** - Densidade de fluxo magnético da MaRV 8/6 para uma posição específica.



**Fonte:** Autoria própria.

Paralelamente a etapa supracitada as lâminas do rotor e do estator foram modeladas tridimensionalmente no *software* Inventor®, a fim de se analisar os aspectos mecânicos e dimensionais do rotor e estator.

**Figura 3** - Modelagem tridimensional do rotor (a) e do estator (b) da MaRV 8/6.



**Fonte:** Autoria própria.

Após efetuadas as simulações do comportamento magnético e os ajustes mecânicos necessários, efetuou-se os cortes das lâminas do estator e do rotor efetivamente, conforme figura 4.

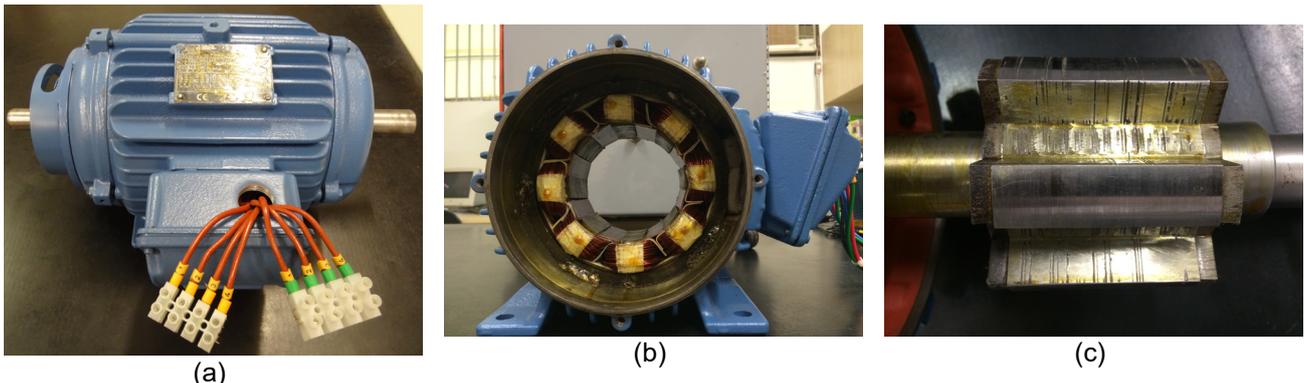
**Figura 4** - Corte das lâminas do estator e do rotor.



**Fonte:** Autoria própria.

Efetuada o corte iniciou-se a etapa de montagem final da máquina, a qual ainda na etapa de projeto foi adaptada a fim de se utilizar a carcaça de um motor de indução trifásico, fornecedora WEG, modelo W22, 3 cv, 6 polos, modelo de carcaça 100 L e forma construtiva B3D (montagem na posição horizontal, motor com pés, eixo à direita olhando para a caixa de ligação), obtendo-se o resultado exposto na figura 5. Este ajuste mostra-se muito importante, visto a grande dificuldade para a construção completa de uma carcaça fora dos padrões comerciais.

**Figura 5** - Protótipo da MaRV 8/6 (a), ênfase no estator do protótipo (b), ênfase no rotor do protótipo (c).



Fonte: Autoria própria.

Na figura 5.b mantém-se o foco no estator da máquina, e observa-se uma característica muito marcante nas MaRVs que são seus polos salientes. No projeto proposto tem-se uma máquina com 8 polos no estator, de forma que os polos simétricos estão conectados em série, exigindo um acionamento tetrafásico.

Na figura 5.c tem-se a ênfase no rotor da máquina projetada, o qual é construído com lâminas prensadas de forma que se tenham 6 polos. Na figura 6 tem-se a relação entre os polos do estator e rotor; para a configuração 8/6 os polos do estator estão deslocados  $45^\circ$  mecânicos entre si, e os polos do rotor estão deslocados  $60^\circ$  mecânicos entre si.

**Figura 6** - Relação entre os polos do estator e do rotor no protótipo.



Fonte: Autoria própria.

As etapas detalhadas de projeto desta máquina, inclusive as deduções matemáticas para se definir as medidas de todos os elementos da mesma são minuciosamente abordadas nas referências (BIANCHI, 2015) e (MORAES FILHO, 2016).

## Conclusões

A MaRV mostra-se como uma máquina com potencial a contribuir com as fontes motrizes atualmente utilizadas, focando principalmente no aspecto que tange a controle de conjugado e

eficiência energética, e o completo domínio das etapas de construção visando a redução de material e padronização das etapas vêm em auxílio para que esta máquina possa competir com as máquinas convencionais atualmente utilizadas, em aplicações que exijam velocidades variáveis.

## Agradecimentos

Agradecemos à FAPEMIG e ao CNPq pelo apoio financeiro, e à Universidade Federal de Uberlândia pela infraestrutura disponibilizada.

## Referências Bibliográficas

BIANCHI, R. B.; ANDRADE, D. A. Projeto, Modelagem e Levantamento de Curva de Indutância de Máquina a Relutância Variável 8x6 Utilizando Elementos Finitos. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA (XI CBQEE), 2015, Campina Grande. **Anais da XI CBQEE**, 2015.

MORAES FILHO, M. J.; BIANCHI, R.B.; et al. Projeto de máquina a relutância variável 8/6 e impacto do ângulo do polo do rotor em seu desempenho. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA (CBA 2016), 2016, Vitória. **Anais do XXI Congresso Brasileiro de Automática**, 2016. p. 1644-1649.