

Helenton Carlos da Silva
(Organizador)

Estudos (Inter)
Multidisciplinares
nas Engenharias 2

Atena
Editora

Ano 2019

Helenton Carlos da Silva
(Organizador)

Estudos (Inter) Multidisciplinares nas
Engenharias
2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Geraldo Alves
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E82	<p>Estudos (inter) multidisciplinares nas engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-701-7 DOI 10.22533/at.ed.017190910</p> <p>1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. I. Silva, Helenton Carlos da.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*Estudos (Inter) Multidisciplinares nas Engenharias*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu I volume, apresenta, em seus 21 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da importância da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias.

O processo de aprendizagem, hoje em dia, é baseado em um dinamismo de ações condizentes com a dinâmica do mundo em que vivemos, pois a rapidez com que o mundo vem evoluindo tem como chave mestra a velocidade de transmissão das informações.

A engenharia praticada nos dias de hoje é formada por conceitos amplos e as situações a que os profissionais são submetidos mostram que esta onda crescente de tecnologia não denota a necessidade apenas dos conceitos técnicos aprendidos nas escolas.

Desta forma, os engenheiros devem, além de possuir um bom domínio técnico da sua área de formação, possuir domínio também dos conhecimentos multidisciplinares, além de serem portadores de uma visão globalizada.

Este perfil é essencial para o engenheiro atual, e deve ser construído na etapa de sua formação com o desafio de melhorar tais características.

Dentro deste contexto podemos destacar que uma equipe multidisciplinar pode ser definida como um conjunto de profissionais de diferentes disciplinas que trabalham para um objetivo comum.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos relacionados aos estudos da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias, com destaque mais diversas engenharias e seus temas de estudos.

Os organizadores da Atena Editora agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Helenton Carlos da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DO DESEMPENHO DE CONCRETO DESENVOLVIDO A PARTIR DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA CIDADE DE SÃO CARLOS/SP	
Tatiane Caroline Rocha Lemos Eduvaldo Paulo Sichieri Victor José dos Santos Baldan	
DOI 10.22533/at.ed.0171909101	
CAPÍTULO 2	13
ESTUDO DE DOSAGEM DE ARGAMASSA A PARTIR DE RESÍDUO PROVENIENTE DA RECICLAGEM DE PNEUS	
Tatiane Caroline Rocha Lemos Eduvaldo Paulo Sichieri Victor José dos Santos Baldan	
DOI 10.22533/at.ed.0171909102	
CAPÍTULO 3	25
ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICA DA MADEIRA: UMIDADE, DENSIDADE APARENTE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELAS ÀS FIBRAS DAS ESPÉCIES COMERCIALIZADAS NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA-RR	
Weiza Nunes Barbosa Emerson Lopes de Amorim Luiz Gustavo Ayres Barros Kellen de Souza Singh Lucas Matos de Souza José Castro Lima	
DOI 10.22533/at.ed.0171909103	
CAPÍTULO 4	37
ANÁLISE DOS EFEITOS DA VAZÃO MÁSSICA SOBRE A DEPOSIÇÃO DE INCRUSTAÇÕES EM AQUECEDORES DE LEITE DO TIPO PLACAS PLANAS GAXETADAS	
Alex Vazzoler	
DOI 10.22533/at.ed.0171909104	
CAPÍTULO 5	47
AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FARINHA DE MANDIOCA (<i>Manihot esculenta Crantz</i>) EM COMUNIDADE TRADICIONAL DO MUNICÍPIO DE MACAPÁ-AP E POSSÍVEIS SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS	
Roberto Quaresma Santana Lia Carla de Souza Rodrigues Jorge Emílio Henriques Gomes Marília de Almeida Cavalcante	
DOI 10.22533/at.ed.0171909105	
CAPÍTULO 6	55
AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE MACROTEXTURA E DRENABILIDADE EM DUAS PISTAS DE POUSO NA REGIÃO DO VALE DO ARAGUAIA	
Thamires Ferreira da Silva	

Lucas Jorge Freitas Marinho
Augusto Romanini
Raul Tadeu Lobato Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.0171909106

CAPÍTULO 7 69

COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DE GELATINAS OBTIDAS A PARTIR DAS PELES DE MAPARÁ (*Hypophthalmidae*) E URITINGA (*Arius Proops*)

Élida Viana de Souza
Jiullie Delany Bastos Monteiro
Nara Helem Brazão da Costa
Leliane da Silveira Barbosa Gomes
Iara Eleni de Souza Pereira

DOI 10.22533/at.ed.0171909107

CAPÍTULO 8 77

CONTROLE ESTRUTURAL DO DEPÓSITO PLACER DE MINERAIS PESADOS NA REGIÃO PRAIAL AO NORTE DA DESEMBOCADURA DA LAGOA DOS PATOS (BUJURU, BRASIL)

Bruno Silva da Fontoura
Adelir José Strieder
Jéssica Stern Behling
Rui Sérgio Saraiva Duarte Junior
Talita Cabelera da Silva
Paulo Mendes
Aureliano Augusto Vieira da Nóbrega
Lauro Julio Calliari

DOI 10.22533/at.ed.0171909108

CAPÍTULO 9 87

ESTRUTURA FÍSICA E PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA A RELUTÂNCIA VARIÁVEL PAUTADO EM PROTÓTIPO 8/6

Marcos José de Moraes Filho
Luciano Coutinho Gomes
Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira
Darizon Alves de Andrade
Josemar Alves dos Santos Junior
Wanberton Gabriel de Souza

DOI 10.22533/at.ed.0171909109

CAPÍTULO 10 99

VARIAÇÃO DA PERDA DE CARGA NA MANGUEIRA EM FUNÇÃO DE SEU ENROLAMENTO

Diogo Henrique Morato de Moraes
Ricardo Marques da Silva Viegas
Dione Monteiro de Moraes
Matheus Henrique Morato de Moraes
Marcio Mesquita

DOI 10.22533/at.ed.01719091010

CAPÍTULO 11	109
ÍNDICE DE DESEMPENHO DE MISTURAS TERNÁRIAS CONTENDO CIMENTO PORTLAND SÍLICA DE CASCA DE ARROZ E NANOSSÍLICA COLOIDAL	
Daniel da Silva Andrade Josué Régio Damaceno Laércio Breno Moreira Aline Alves de Almeida João Henrique da Silva Rêgo	
DOI 10.22533/at.ed.01719091011	
CAPÍTULO 12	122
LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO E IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE PESQUISAS CIENTÍFICAS NA ÁREA DAS CIÊNCIAS SOCIAIS SOBRE A CANA-DE-AÇÚCAR PARA O SEGMENTO SUCROENERGÉTICO	
Manoel Gonçalves Filho Clóvis Delboni Reinaldo Gomes da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.01719091012	
CAPÍTULO 13	135
MELHORIA NO PROCESSO DE MONTAGEM ATRAVÉS DA FERRAMENTA POKA YOKE: UM ESTUDO DE CASO NO <i>MCDONALD'S</i>	
Jéssika Alvares Coppi Arruda Gayer Dayse Mendes Douglas Soares Agostinho Felipe Martins Machado Jennifer Evangelista Cavalcante Kellen Coelho dos Santos Marcos Augusto Mendes Marques Marcos Henrique Morais Renatha Querubina de Anevam Rodrigo Ramiro Prior	
DOI 10.22533/at.ed.01719091013	
CAPÍTULO 14	144
MODELAGEM DA DISPERSÃO DE POLUENTES NA ATMOSFERA UTILIZANDO UMA ABORDAGEM ANALÍTICA	
Régis Sperotto de Quadros Glênio Aguiar Gonçalves Daniela Buske	
DOI 10.22533/at.ed.01719091014	
CAPÍTULO 15	153
O ÍNDICE DE CONFIABILIDADE PARABÓLICO	
Emmanoel Guasti Ferreira Marcílio Sousa da Rocha Freitas José Antônio da Rocha Pinto Geraldo Rossoni Sisquini	
DOI 10.22533/at.ed.01719091015	

CAPÍTULO 16	168
RE-EVALUATION OF THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND TOTAL ACID NUMBER ON NAPHTHENIC CORROSION BY ELECTROCHEMICAL NOISE TECHNIQUE	
Ana Carolina Tedeschi Gomes Abrantes Alysson Nunes Diógenes Haroldo de Araújo Ponte	
DOI 10.22533/at.ed.01719091016	
CAPÍTULO 17	179
SLOW-RELEASE FERTILIZER FROM A ROCK CONTAINING GLAUCONITE BY THERMAL PROCESSING WITH ADDITIVES	
Antonio Clareti Pereira Emily Mayer de Andrade Becheleni Marta Ribeiro dos Santos Gomes Sônia Denise Ferreira Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.01719091017	
CAPÍTULO 18	190
UMA INTRODUÇÃO AO USO DA INTEGRAL DE DUHAMEL EM SISTEMAS DINÂMICOS ESTRUTURAIS	
Natan Sian das Neves	
DOI 10.22533/at.ed.01719091018	
CAPÍTULO 19	202
USO DE PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL NA OTIMIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE ADSORÇÃO COM TURFA PARA REMOÇÃO DA TURBIDEZ DE EFLUENTE OLEOSO	
Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado Francisco Igor da Costa Freire Andréa Francisca Fernandes Barbosa André Luís Novais Mota Kalyanne Keyly Pereira Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.01719091019	
CAPÍTULO 20	211
UTILIZAÇÃO DE COBERTURA COMESTÍVEL NA CONSERVAÇÃO DE HORTIFRUITI	
Martiliana Mayani Freire Leoclécio Luis de Paiva Laís Barreto Franco Anna Paula Marques Cardoso Gleison Martins Medeiros Raposo Caliane Lília Leite do Nascimento Pedro Fagner Araújo Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.01719091020	
CAPÍTULO 21	218
MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE CAIXAS COLETORAS DE DRENAGENS URBANAS NA REGIÃO DO PORTO DE PELOTAS/RS	
Marciano Carneiro Milton Cruz Fernandes	

Angélica Cirolini
Alexandre Felipe Bruch
Lenon Silva de Oliveira
Gabriel da Silva Pontes

DOI 10.22533/at.ed.01719091021

SOBRE O ORGANIZADOR.....	232
ÍNDICE REMISSIVO	233

ESTRUTURA FÍSICA E PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA A RELUTÂNCIA VARIÁVEL PAUTADO EM PROTÓTIPO 8/6

Marcos José de Moraes Filho

Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
Faculdade de Engenharia elétrica
Uberlândia - Minas Gerais

Luciano Coutinho Gomes

Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
Faculdade de Engenharia elétrica
Uberlândia - Minas Gerais

Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira

Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
Faculdade de Engenharia elétrica
Uberlândia - Minas Gerais

Darizon Alves de Andrade

Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
Faculdade de Engenharia elétrica
Uberlândia - Minas Gerais

Josemar Alves dos Santos Junior

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás (IFG)
Itumbiara - Goiás

Wanberton Gabriel de Souza

Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
Faculdade de Engenharia elétrica
Uberlândia - Minas Gerais

RESUMO: Neste trabalho é apresentado o princípio de funcionamento da máquina a relutância variável, pautado em um protótipo da mesma com oito polos no estator e seis polos

no rotor (8/6). Atualmente tem-se que a máquina a relutância variável apresenta atrativos para inúmeras aplicações industriais, validando os esforços dos diversos grupos industriais e da comunidade científica para que esta máquina venha a ocupar uma posição de destaque dentro do conjunto de máquinas elétricas.

PALAVRAS-CHAVE: Ângulo do polo do estator, ângulo do polo do rotor, indutância, máquina a relutância variável.

PHYSICAL STRUCTURE AND WORKING PRINCIPLE OF SWITCHED RELUCTANCE MACHINE BASED ON PROTOTYPE 8/6

ABSTRACT: In this work, the switched reluctance machine principle of operation is shown, based on a prototype with eight poles in the stator and six poles in the rotor (8/6). Nowadays, the switched reluctance machine has shown many industrial applications, validating the efforts of many industrial groups and the scientific community so that this machine will occupy a prominent position within the electric machines group.

KEYWORDS: Inductance, rotor pole angle, stator pole angle, switched reluctance machine.

1 | INTRODUÇÃO

A máquina a relutância variável (MaRV) é

uma máquina elétrica na qual o torque é produzido pela tendência do rotor movimentar-se para a posição em que a indutância do enrolamento excitado é máxima, podendo esse movimento ser linear ou rotacional (MILLER, 2001). Energizando a fase da máquina na posição de equilíbrio estável, o rotor permanecerá parado indefinidamente. Por outro lado, energizando a fase da máquina na posição de equilíbrio instável, o rotor poderá se movimentar no sentido horário ou anti-horário buscando a posição de equilíbrio estável.

Apesar de apresentar registros conhecidos desde 1842 (KRISHNAN, 2001), e vantagens tanto construtivas quanto operacionais em relação às máquinas elétricas convencionais, tais como as máquinas de corrente contínua, de indução e síncronas, a máquina a relutância teve sua capacidade pouco explorada e com lenta evolução, principalmente devido à forte dependência de um sistema de chaveamento de suas fases e a necessidade do conhecimento da posição instantânea do rotor.

Nas últimas décadas, no entanto, vislumbramos grandes avanços de diversas áreas da engenharia elétrica, tais como a eletrônica de potência, microcontroladores, sistemas de sensoriamento, dentre outras, e muitas máquinas não convencionais vêm tornando-se objetos de estudos. Dentre estas máquinas tem-se a MaRV em diversas configurações, sendo acionada tanto como motor quanto gerador. Apesar de apresentar algumas limitações, a máquina a relutância variável mostra-se capaz de competir com máquinas convencionais em diversas aplicações.

2 | PROTÓTIPO UTILIZADO NO PROJETO

O protótipo utilizado neste trabalho, a fim de possibilitar a conexão entre teoria e modelo real, é uma máquina 8/6 com potência nominal de 2,2 kW (3 cv) e corrente nominal de 10 A; a qual foi desenvolvida dentro do laboratório que dá suporte ao projeto, desde as etapas referentes à definição das medidas e dos materiais, a modelagem, 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.

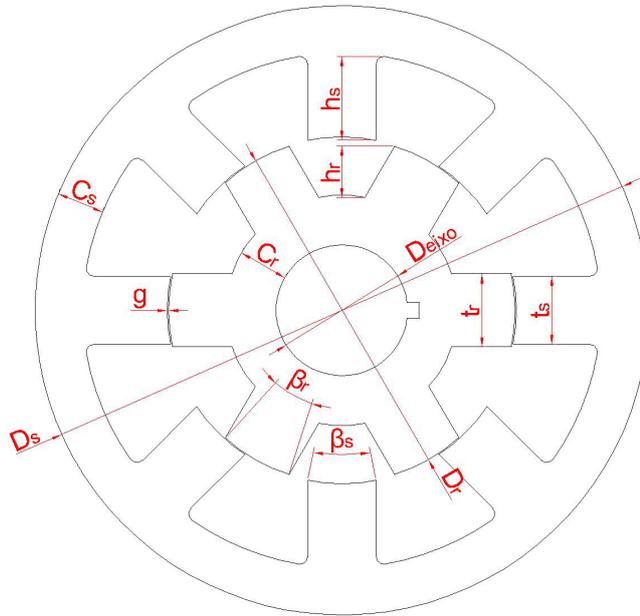


Figura 1 - Localização das grandezas de projeto.

Fonte: Autoria própria.

As principais grandezas e dimensões da MaRV 8/6 projetada seguem na Tabela

1.

Parâmetro	Siglas	MRV
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 (3 cv)
Velocidade nominal	ω_n	3500 rpm
Ângulo dos polos do rotor	β_r	24,5°
Ângulo dos polos do estator	β_s	22,5°
Diâmetro externo do estator	D_s	160 mm
Diâmetro do rotor	D_r	90,5 mm
Comprimento do entreferro	g	0,3 mm
Comprimento do rotor	l	63 mm
Largura dos polos do rotor	t_r	18,3 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

Tabela 1 - Principais parâmetros da máquina foco deste estudo.

Fonte: Autoria própria.

A Figura 2 enfatiza a montagem final da máquina, a qual após projetada 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). Com relação aos dados a exemplo: tensão nominal do motor, quantidade de terminais, fator de serviço, rendimento, dentre outros; não foram de grande importância, visto que a aquisição do motor foi focada basicamente em sua carcaça e forma construtiva.

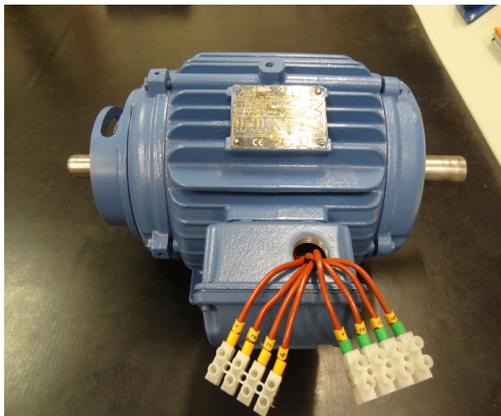


Figura 2 - Protótipo da MaRV 8/6.

Fonte: Autoria própria.

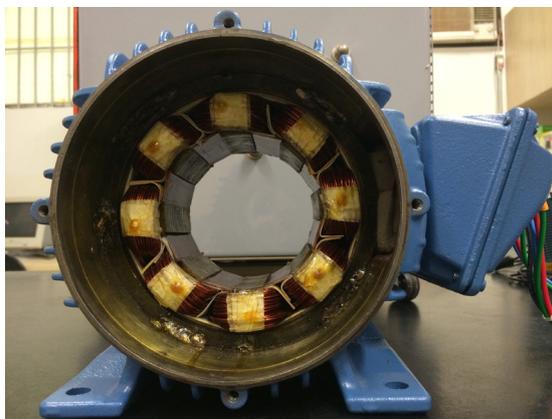


Figura 3 - Estator do protótipo.

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 4 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 5 tem-se a relação entre os polos do estator e rotor, para a configuração 8/6 os polos do estator estão deslocados 45° mecânicos entre si, e os polos do rotor estão deslocados 60° mecânicos entre si.

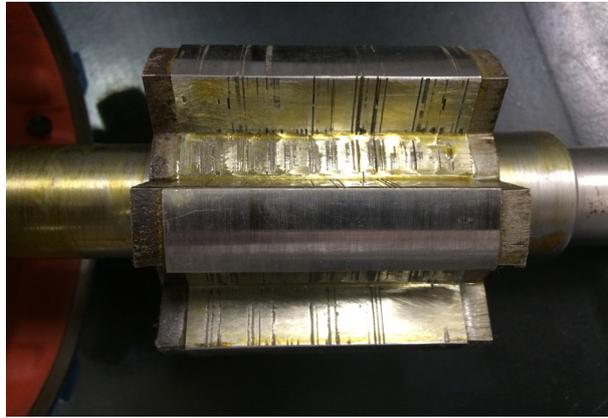


Figura 4 - Rotor do protótipo.

Fonte: Autoria própria.



Figura 5 - Relação entre polos do estator e do rotor no protótipo.

Fonte: Autoria própria.

Todas as etapas 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; ANDRADE, 2015; MORAES FILHO et al., 2016).

3 | PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O princípio de funcionamento da MaRV baseia-se na variação da indutância, sendo o perfil desta grandeza afetado diretamente pelos valores angulares dos polos do estator e do rotor da máquina em questão. O ciclo do perfil de indutância para uma MaRV pode ser determinado matematicamente, tal que:

$$Ciclo = \frac{2\pi}{N_r} \quad (1)$$

Para uma máquina ideal tem-se que, enquanto não houver sobreposição entre os polos do estator e do rotor o sistema apresentará um valor mínimo de indutância

(L_{\min}), e quando os polos estiverem completamente sobrepostos, teremos o valor máximo de indutância (L_{\max}) (KRISHNAN, 2001; VIJAYRAGHAVAN, 2001). Na Figura 6 tem-se o perfil de indutância não saturado para uma das fases da MaRV 8/6.

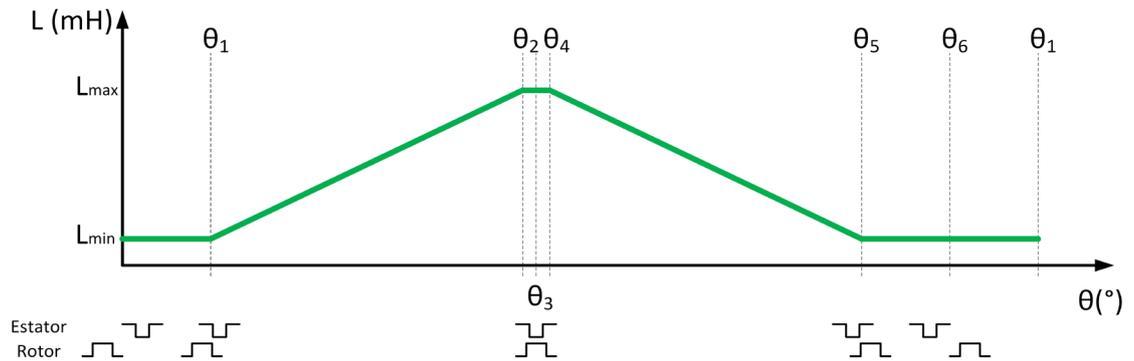


Figura 6 - Perfil de indutância para a MaRV não saturada.

Fonte: Autoria própria.

Ainda que não apresente-se em implementações práticas o perfil de indutância conforme ilustrada na Figura 6, devido à saturação magnética da MaRV (KRISHNAN, 2001), sabe-se que a saturação causa uma curvatura no perfil de indutância próximo aos pontos de alinhamentos dos polos do estator e do rotor, característica a qual exerce influência negativa no torque da máquina. Todavia, o perfil ideal denota alguns pontos angulares de grande importância para a compreensão do princípio de funcionamento da máquina, e também para o acionamento da mesma, seja como motor ou gerador.

Os valores de θ_1 a θ_6 são definidos em função da quantidade de polos do estator, do rotor, assim como os valores angulares destes dois elementos. A partir da equação 1 tem-se que o perfil de indutância se repetirá a cada 60° para a MaRV 8/6, assim inicia-se a análise de cada ponto destacado na Figura 6.

Ponto 0° : Neste ponto os polos do estator e do rotor estão completamente desalinhados, de forma que a distância entre seus centros será de π/Nr rad, conforme Figura 7.

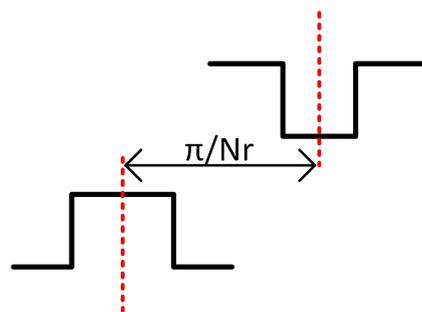


Figura 7 - Posicionamento entre os polos do estator e do rotor para 0° .

Fonte: Autoria própria.

Ponto θ_1 : Neste ponto inicia-se a sobreposição dos polos do estator e do rotor,

momento no qual começamos a ter um perfil crescente de indutância a partir de L_{\min} .

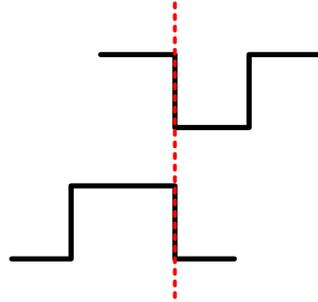


Figura 8 - Posicionamento entre os polos do estator e do rotor para θ_1 .

Fonte: Autoria própria.

A partir dos dados da Tabela 1, pode-se calcular os valores específicos para os pontos abordados para a MaRV 8/6, tal que.

$$\theta_1 = \frac{1}{2} \left[\frac{2\pi}{N_r} - (\beta_s + \beta_r) \right]$$

$$\theta_1 = \frac{1}{2} \left[\frac{360^\circ}{6} - (22,5^\circ + 24,5^\circ) \right] \quad (2)$$

$$\theta_1 = 6,5^\circ$$

Portanto, a partir do ponto tomado como referência de 0° até o ponto angular θ_1 , ocorrerá um deslocamento de $6,5^\circ$ do rotor em relação ao estator.

Ponto θ_2 : Entre os pontos θ_1 e θ_2 existirá um perfil crescente de indutância, visto que em θ_1 tem-se o início da sobreposição dos polos do estator e do rotor, e em θ_2 os polos estão completamente sobrepostos. O deslocamento angular entre os pontos supracitados é equivalente a medida do ângulo do polo do estator, tal que o posicionamento relativo entre os polos do rotor e do estator para este ponto é ilustrado na Figura 9.

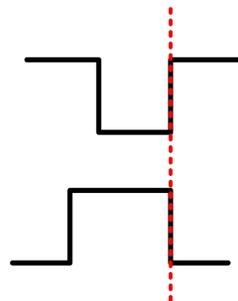


Figura 9 - Posicionamento entre os polos do estator e do rotor para θ_2 .

Fonte: Autoria própria.

Equacionando-se este ponto, tem-se:

$$\theta_2 = \theta_1 + \beta_s$$

$$\theta_2 = 6,5^\circ + 22,5^\circ \quad (3)$$

$$\theta_2 = 29^\circ$$

Ponto θ_3 : Neste ponto teremos o alinhamento completo entre os polos do estator e do rotor, pois, seus centros estão alinhados, Figura 10. O deslocamento para atingir este ponto a partir de θ_2 é igual a metade da diferença entre as medidas angulares dos polos do rotor e do estator. Neste momento a indutância ainda mantém seu valor máximo, visto que a sobreposição entre os polos é mantida.

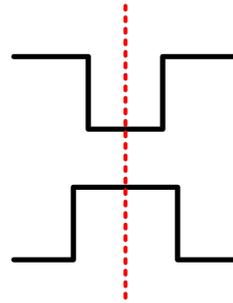


Figura 10 - Posicionamento entre os polos do estator e do rotor para θ_3 .

Fonte: Autoria própria.

Equacionando-se este ponto, tem-se:

$$\theta_3 = \theta_2 + \left(\frac{\beta_r - \beta_s}{2} \right)$$

$$\theta_3 = 29^\circ + \left(\frac{24,5^\circ - 22,5^\circ}{2} \right) \quad (4)$$

$$\theta_3 = 30^\circ$$

Ponto θ_4 : Neste ponto a sobreposição ainda é mantida, Figura 11, entretanto, a partir do mesmo o perfil da indutância tornara-se decrescente. O deslocamento angular em relação ao ponto anterior será novamente a metade da diferença entre as medidas angulares dos polos do rotor e do estator.

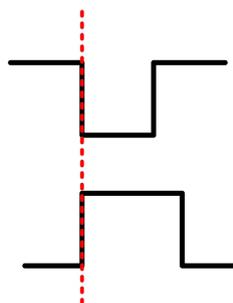


Figura 11 - Posicionamento entre os polos do estator e do rotor para θ_4 .

Fonte: Autoria própria.

Equacionando este ponto teremos:

$$\theta_4 = \theta_3 + \left(\frac{\beta_r - \beta_s}{2} \right)$$

$$\theta_4 = 30^\circ + \left(\frac{24,5^\circ - 22,5^\circ}{2} \right) \quad (5)$$

$$\theta_4 = 31^\circ$$

Ponto θ_5 : Entre os pontos θ_4 e θ_5 dispõe-se de um perfil decrescente de indutância, visto que no decorrer deste deslocamento a sobreposição dos polos está sendo reduzida, até atingir θ_5 , ponto no qual não existe sobreposição entre os polos do estator e do rotor, e a indutância atinge o valor mínimo. Entre os pontos θ_4 e θ_5 o deslocamento angular é equivalente a medida do ângulo do polo do estator, conforme enfatizado na Figura 12.

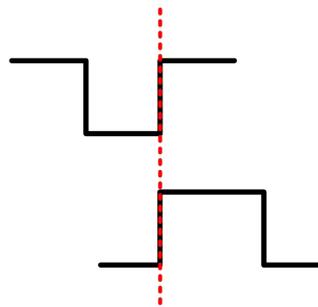


Figura 12 - Posicionamento entre os polos do estator e do rotor para θ_5 .

Fonte: Autoria própria.

Obtém-se o valor de θ_5 de forma que:

$$\theta_5 = \theta_4 + \beta_s$$

$$\theta_5 = 31^\circ + 22,5^\circ \quad (6)$$

$$\theta_5 = 53,5^\circ$$

Ponto θ_6 : Neste ponto tem-se novamente os polos do estator e do rotor totalmente desalinhados, conforme Figura 13.

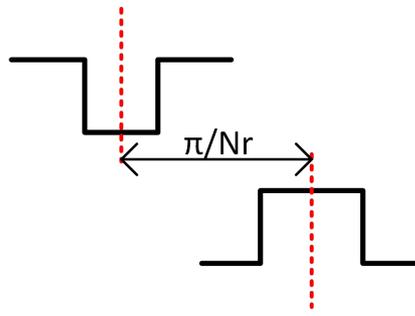


Figura 13 - Posicionamento entre os polos do estator e do rotor para θ_6 .

Fonte: Autoria própria.

Matematicamente a partir de θ_5 obtém-se:

$$\theta_6 = \theta_5 + \frac{\pi}{N_r} - \left(\frac{\beta_s + \beta_r}{2} \right) = \frac{2\pi}{N_r}$$

$$\theta_6 = \frac{360^\circ}{6} \tag{7}$$

$$\theta_6 = 60^\circ$$

Findada a análise no ponto angular θ_6 , compõe-se um período completo para o perfil de indutância da MaRV. Dois conceitos angulares importantes quando se analisa o perfil de indutância para efetuar o acionamento da máquina em questão são: zona de torque efetivo (τ_e) e o ângulo de condução de energia (ε).

A zona de torque efetivo indica o ângulo através do qual uma fase pode produzir torque útil comparável ao torque nominal, e é análoga ao menor arco oriundo da sobreposição entre os polos do rotor e do estator (MILLER, 2001), logo:

$$\tau_e = \beta_s \tag{8}$$

O ângulo de condução de energia representa o intervalo de comutação de uma fase para outra em um ciclo mecânico da máquina, e de forma analítica é definido por (MORAES FILHO; BIANCHI, 2016):

$$\varepsilon = \frac{2\pi}{\frac{N_s}{2} N_r} \tag{9}$$

No caso específico da MaRV, foco deste trabalho, teremos:

$$\tau_e = 22,5^\circ \tag{10}$$

$$\varepsilon = 15^\circ$$

A importância destes ângulos encontra-se no fato de que durante o acionamento, a fim de garantir o melhor aproveitamento da máquina, é interessante que seja mantido o ângulo de condução com um valor inferior a $22,5^\circ$ para cada fase, a partir do momento em que se inicia a sobreposição dos polos, evitando a geração de torque em sentido contrário. Com relação ao ângulo de condução de energia, este indica a partir de qual ponto inicia-se a sobreposição das fases, ou seja, 15° após a sobreposição dos polos ocorrerá um perfil de indutância crescente da fase subsequente, observado na Figura 14, o que permite que seja tomada a decisão de durante o acionamento se trabalhar ou não com fases sobrepostas.

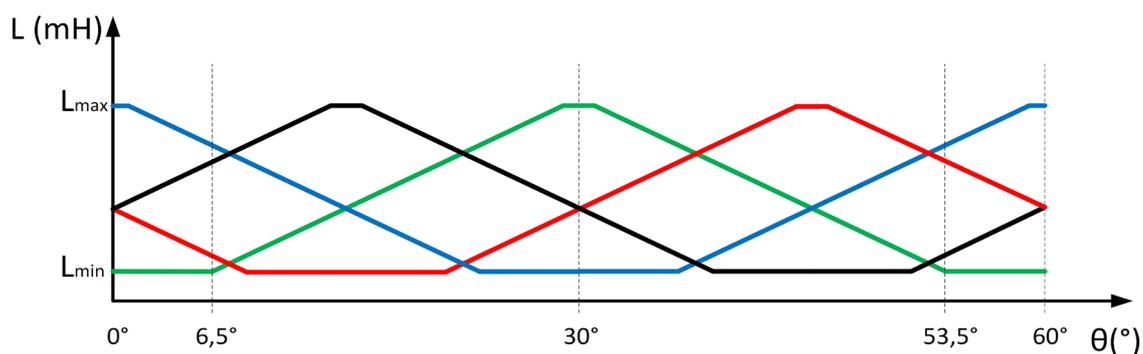


Figura 14 - Perfil de indutância ideal para as quatro fases da MaRV 8/6.

Fonte: Autoria própria.

Todas as fases apresentam perfis de indutância idênticos, todavia, com um deslocamento ao longo do eixo horizontal. Para que a MaRV seja acionada como motor é necessário que a magnetização das fases seja efetuada durante o crescimento do valor da indutância, em relação à variação da posição rotórica, e de forma a sempre acionar as fases sequencialmente. Para que a MaRV seja acionada como gerador é necessário que a magnetização das fases da máquina ocorra durante o decréscimo do valor da indutância, em relação à variação da posição rotórica, e também de forma sequencial. Portanto, no tocante ao acionamento como motor ou gerador a MaRV é extremamente versátil, exigindo basicamente o ajuste do momento da magnetização de suas fases para operar de acordo com a forma desejada.

Ao longo do desenvolvimento exposto foram utilizados os valores angulares dos polos do rotor e do estator para a máquina foco do trabalho, porém, tanto as figuras quanto o equacionamento são válidos para qualquer MaRV, independentemente da quantidade de polos do rotor e do estator, assim como o valor dos ângulos dos mesmos.

4 | 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.

A fim de estimular o uso da MaRV este trabalho vem disseminar o princípio de funcionamento e algumas particularidades relativas a esta máquina, pois, dentre os diversos setores nos quais a MaRV pode agregar contribuições, atualmente destacam-se: setor aeronáutico e espacial, automotivo, principalmente na área de tração elétrica, e na geração de energia eólica. Os estudos referentes às MaRVs concentram-se em aplicações nas quais necessitam-se de velocidades variáveis e, em que há a presença da eletrônica de potência, pois, nestas aplicações mesmo máquinas convencionais como as máquinas de indução, máquinas de corrente contínua ou máquinas síncronas necessitam de conversores eletrônicos.

5 | AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

BIANCHI, R. B.; ANDRADE, D. A. **Projeto, Modelagem e Levantamento de Curva de Indutância de Máquina a Relutância Variável 8x6 Utilizando Elementos Finitos**. XI Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica - XI CBQEE. Campina Grande - PB. 2015.

KRISHNAN, R. **Switched Reluctance Motor Drives: Modeling, Simulation, Analysis, Design, and Applications**. CRC Press 2001. 432. ISBN ISBN-10: 0849308380. ISBN-13: 9780849308383.

MILLER, T. J. E. **Electronic Control of Switched Reluctance Machines**. Newnes, 2001. 272. ISBN ISBN-10: 0750650737. ISBN-13: 9780750650731.

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**. XXI Congresso Brasileiro de Automática - CBA 2016. Vitória - ES. 2016.

VIJAYRAGHAVAN, P. **Design of Switched Reluctance Motors and Development of a Universal Controller for Switched Reluctance and Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives**, dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy in electrical engineering, 2001.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorção 38, 39, 202, 203, 204, 205, 206, 208, 209, 210

Agregado artificial 1, 11, 13

B

Biomassa 47, 49, 52, 54

Bloco estrutural 13, 20

C

Cimento Portland 3, 113, 120

Concreto reciclado 1, 13, 15

Controle estrutural 77, 80, 84, 85

Corrosão 202, 203

D

Desperdícios 127, 135, 140, 142

Dinâmica estrutural 190, 191, 200

Drenabilidade 55, 56, 57, 58, 60, 61, 64, 65, 66, 67, 68

Drenagem urbana 218, 219, 231

E

Energia 14, 27, 38, 43, 47, 52, 53, 54, 96, 97, 98, 103, 115, 126, 127, 133, 232

Ensino 139, 190, 232

F

Farinha de mandioca 47, 49, 50, 52, 54

I

Índice de confiabilidade 153, 154, 155, 156, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 165, 166

Inovação 76, 122, 124, 125, 126, 127, 232

Irrigação 99, 100, 108

M

Madeira 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 51, 52

N

Nanossílica 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121

P

Pozolana 109, 110

Propriedade mecânica 25, 27

Propriedades físicas 25, 26, 27, 28, 71, 111

R

Resíduos 1, 2, 4, 10, 12, 13, 14, 15, 19, 22, 23, 47, 49, 52, 53, 54, 69, 70, 71, 72, 74, 76, 110, 208, 229

Resíduos de pneu 13, 15

S

Sílica de casca de arroz 109, 110, 111, 112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120

Solução analítica 144, 151

Sustentabilidade 1, 14, 24, 35, 74, 127, 138, 142, 232

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-701-7



9 788572 477017