



As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente 3

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

As Engenharias frente a Sociedade, a
Economia e o Meio Ambiente 3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

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

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
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
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
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.^a Dr.^a 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 Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E57	As engenharias frente a sociedade, a economia e o meio ambiente 3 [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (As Engenharias Frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente; v. 3) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-432-0 DOI 10.22533/at.ed.320192506 1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Engenharia – Aspectos econômicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Série. CDD 658.5
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

APRESENTAÇÃO

As obras As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente Volume 1, 2, 3 e 4 abordam os mais diversos assuntos sobre métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação do homem com o meio ambiente e seus recursos.

O Volume 1 está disposto em 31 capítulos, com assuntos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Já o Volume 2, está organizado em 32 capítulos e apresenta uma vertente ligada ao estudo dos solos e águas, com estudos de sua melhor utilização, visando uma menor degradação do ambiente; com aplicações voltadas a construção civil de baixo impacto.

O Volume 3 apresenta estudos de materiais para aplicação eficiente e econômica em projetos, bem como o desenvolvimento de projetos mecânico e eletroeletrônicos voltados a otimização industrial e a redução de impacto ambiental, sendo organizados na forma de 28 capítulos.

No último Volume, são apresentados capítulos com temas referentes a engenharia de alimentos, e a melhoria em processos e produtos.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS CERÂMICOS DE ALUMINA-ZIRCÔNIA PARA APLICAÇÃO COMO FERRAMENTAS DE CORTE	
Miguel Adriano Inácio	
Maria do Carmo de Andrade Nono	
José Vitor Cândido de Souza	
Sergio Luiz Mineiro	
Daniel Alessander Nono	
DOI 10.22533/at.ed.3201925061	
CAPÍTULO 2	10
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE MODELO ELASTOPLÁSTICO EM ROCHA CARBONÁTICA CARSTIFICADA	
Rayane Conceição Ribeiro da Silveira Mattos	
Daniel Araújo Farias de Melo	
Marinésio Pinheiro de Lima	
Tiago de Freitas Viana	
Igor Fernandes Gomes	
Leonardo José do Nascimento Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.3201925062	
CAPÍTULO 3	26
A INFLUÊNCIA DO NITROGÊNIO EM AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS COM APLICAÇÃO EM PRÓTESES ORTOPÉDICAS	
Glauber Rodrigues Cerqueira de Cerqueira	
Pedro Eliézer de Araújo Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.3201925063	
CAPÍTULO 4	42
MICROPOROUS ACTIVATED CARBON FIBER FELT FROM BRAZILIAN TEXTILE PAN FIBER: PREPARATION, CHARACTERIZATION AND APPLICATION AS SUPERCAPACITOR ELECTRODE	
Jossano Saldanha Marcuzzo	
Aline Castilho Rodrigues	
Andres Cuña	
Nestor Tancredi	
Eduardo Mendez	
Heide Heloise Bernardi	
Mauricio Ribeiro Baldan	
DOI 10.22533/at.ed.3201925064	
CAPÍTULO 5	55
ANÁLISE COMPARADA DE UM AGREGADO DE ESCÓRIA DE ACIARIA COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA LASTRO DE VIAS FÉRREAS DO TIPO <i>HEAVY HAUL</i> POR MEIO DE ENSAIOS TRIAXIAIS	
Bruno Guimarães Delgado	
Antônio Viana da Fonseca	
Eduardo Fortunato	
Daniela Raquel Ferreira Coelho	
DOI 10.22533/at.ed.3201925065	

CAPÍTULO 6	71
CARACTERIZAÇÃO EM FADIGA POR FLEXÃO ROTATIVA DE FIOS DE ARAME DE SOLDA	
Ingrid Ariani Belineli Barbosa	
Heide Heloise Bernardi	
William Marcos Muniz Menezes	
DOI 10.22533/at.ed.3201925066	
CAPÍTULO 7	80
ESTUDO DA MICROESTRUTURA NA ZONA TERMICAMENTE AFETADA COM A VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM	
Luís Henrique Pires da Silva	
Alex Sander Chaves da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.3201925067	
CAPÍTULO 8	92
ESTUDO DA USINAGEM DA SUPERLIGA A BASE DE FERRO-NÍQUEL UTILIZANDO FERRAMENTA CERÂMICA	
Eduardo Pires Bonhin	
Sarah David Müzel	
Marcel Yuzo Kondo	
Lúcia de Almeida Ribeiro	
José Vitor Candido de Souza	
Marcos Valério Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.3201925068	
CAPÍTULO 9	100
CONSTRUÇÃO DE UMA MÁQUINA DE NÉVOA SALINA ATENDENDO AOS REQUISITOS MÍNIMOS CONTIDOS NAS NORMAS ISO 9227 e ASTM B-117	
Leonardo de Souza Coutinho	
Alexandre Alvarenga Palmeira	
DOI 10.22533/at.ed.3201925069	
CAPÍTULO 10	111
MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA: COLHEITADEIRAS AXIAIS X RADIAIS	
Filipi José Arantes Lemos	
João Mario Mendes de Freitas	
DOI 10.22533/at.ed.32019250610	
CAPÍTULO 11	127
MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO TOPOLÓGICA PARA O PROJETO DE MODELOS DE BIELAS E TIRANTES	
Jamile Maria Araujo Tavares	
Rejane Martins Fernandes Canha	
DOI 10.22533/at.ed.32019250611	
CAPÍTULO 12	142
ESTUDO NUMÉRICO DE UM EQUIPAMENTO DE SECAGEM	
Eduardo Dal Piva Schuch	
Magaiver Gabriel Lamp	
Conrado Mendes Morais	
Ângela Beatrice Dewes Moura	
DOI 10.22533/at.ed.32019250612	

CAPÍTULO 13	153
SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA A COMBUSTÃO DE GASOLINA	
Felipe Michael Grein	
Jean Lucas Pereira	
Luiz Felipe Weck	
Olaf Graupmann	
DOI 10.22533/at.ed.32019250613	
CAPÍTULO 14	156
MODELAGEM DE PID PARA SISTEMA DE CONTROLE DE RAMPAS DE TEMPERATURA EM BRASSAGEM	
Gabriel Queiroz	
Marcelo Barros de Almeida	
Márcio Jose da Cunha	
DOI 10.22533/at.ed.32019250614	
CAPÍTULO 15	168
MODELAGEM MATEMÁTICA DE SISTEMAS DINÂMICOS: UMA ABORDAGEM DIDÁTICA	
Lucas Divino Alves	
Neylor Makalister Ribeiro Vieira	
Emerson Paulino dos Reis	
DOI 10.22533/at.ed.32019250615	
CAPÍTULO 16	183
APLICAÇÃO E ANÁLISE VIA MEC EM PROBLEMAS DE TERMOELASTICIDADE 2D	
Luis Vinicius Pereira Silva	
Gilberto Gomes	
João Carlos Barleta Uchôa	
DOI 10.22533/at.ed.32019250616	
CAPÍTULO 17	198
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA INJEÇÃO DE ÁGUA EM RESERVATÓRIO DE PETRÓLEO HETEROGÊNIO	
Raquel Oliveira Lima	
José Arthur Oliveira Santos	
Antônio Jorge Vasconcellos Garcia	
Felipe Barreiros Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.32019250617	
CAPÍTULO 18	207
TANQUES FLASH: DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE CUSTOS NO SOFTWARE DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO EMSO	
Erich Potrich	
Sérgio Correia da Silva	
Larissa Souza Amaral	
DOI 10.22533/at.ed.32019250618	

CAPÍTULO 19	215
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE DEPOSIÇÃO ORGÂNICA EM OPERAÇÕES DE MISTURA DE PETRÓLEOS NO TANQUE DE ESTOCAGEM EM REFINARIAS DE PETRÓLEO	
Rosberguer de Almeida Camargo	
Mauren Costa da Silva	
Rafael Beltrame	
Darci Alberto Gatto	
Antônio Carlos da Silva Ramos	
DOI 10.22533/at.ed.32019250619	
CAPÍTULO 20	223
AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA EMBARCADO PARA MENSURAR A ILUMINÂNCIA EM UM AVIÁRIO EXPERIMENTAL	
Giovanni Polette Dalla Libera	
Victor Moreira Leão	
Vitor Augusto de Sousa	
Matheus Fernando Lima Zuccherelli de Souza	
Renata Lima Zuccherelli de Oliveira	
Marcelo Eduardo de Oliveira	
Adriano Rogério Bruno Tech	
DOI 10.22533/at.ed.32019250620	
CAPÍTULO 21	230
CONTROLADOR FUZZY SINTONIZADO POR ALGORITMO GENÉTICO EM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	
Lenon Diniz Seixas	
Diego Solak Castanho	
Hugo Valadares Siqueira	
Fernanda Cristina Corrêa	
DOI 10.22533/at.ed.32019250621	
CAPÍTULO 22	243
CONTROLADORES ROBUSTO APLICADO A CONVERSORES CC-CC	
Luiz Otávio Limurci dos Santos	
Luiz Antonio Maccari Junior	
DOI 10.22533/at.ed.32019250622	
CAPÍTULO 23	261
PROPOSTA DE PLATAFORMA PARA ESTUDO DE MOTOR A RELUTÂNCIA VARIÁVEL 8/6	
Marcos José de Moraes Filho	
Luciano Coutinho Gomes	
Darizon Alves de Andrade	
Josemar Alves dos Santos Junior	
Wanberton Gabriel de Souza	
Cássio Alves de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.32019250623	

CAPÍTULO 24	275
ESTUDO COMPARATIVO DE MODELAGENS DE ENROLAMENTOS DE UM TRANSFORMADOR UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS PARA ANÁLISES DE ESFORÇOS ELETROME CÂNICOS	
Pedro Henrique Aquino Barra Arnaldo José Pereira Rosentino Junior Antônio Carlos Delaiba	
DOI 10.22533/at.ed.32019250624	
CAPÍTULO 25	287
PROCEDIMENTO PARA AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DO LAÇO DE HISTERESE MAGNÉTICA	
Vitor Hörbe Pereira Da Costa Antônio Flavio Licarião Nogueira Leonardo José Amador Salas Maldonado	
DOI 10.22533/at.ed.32019250625	
CAPÍTULO 26	294
SIMULAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE CAMPO E CORRENTE ELÉTRICA EM TECIDOS BIOLÓGICOS	
Guilherme Brasil Pintarelli Afrânio de Castro Antonio Jr. Raul Guedert Sandra Cossul Daniela Ota Hisayasu Suzuki	
DOI 10.22533/at.ed.32019250626	
CAPÍTULO 27	307
SISTEMA DE PRESENÇA UTILIZANDO IDENTIFICAÇÃO POR RADIOFREQUÊNCIA	
Giovani Formaggio Mateus Ricardo Barroso Leite	
DOI 10.22533/at.ed.32019250627	
CAPÍTULO 28	322
SISTEMAS DEFASADORES EM ALTA FREQUÊNCIA UTILIZANDO MICROFITA EM SUBSTRATO FR4	
Jobson De Araújo Nascimento José Moraes Gurgel Neto Alexsandro Aleixo Pereira da Silva Regina Maria de Lima Neta	
DOI 10.22533/at.ed.32019250628	
CAPÍTULO 29	333
ANÁLISES DA RUPTURA EM TRECHO DA BR-060 NO MUNICÍPIO DE ALEXÂNIA, GOIÁS, E CONDIÇÕES APÓS SEIS ANOS DA RECUPERAÇÃO	
Rideci Farias Tiago Matias Lino Haroldo da Silva Paranhos Itamar de Souza Bezerra Ranieri Araújo Farias Dias Alexsandra Maiberg Hausser	
DOI 10.22533/at.ed.32019250629	
SOBRE O ORGANIZADOR	346

PROPOSTA DE PLATAFORMA PARA ESTUDO DE MOTOR A RELUTÂNCIA VARIÁVEL 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

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

Cássio Alves de Oliveira

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

RESUMO: Neste artigo é apresentada a implementação de uma plataforma de acionamento e estudo para uma máquina a relutância variável 8/6, sendo acionada como motor. O sistema de acionamento tem como

elemento principal um conversor *half-bridge*, e o sistema de controle é fundamentado em microcontrolador, isoladores, transdutores de corrente, transdutores de tensão e encoder. A proposta é fazer com que todos os elementos citados anteriormente trabalhem de forma integrada a fim criar uma plataforma robusta, é que além do acionamento da máquina em questão propicie o estudo de diversas grandezas e aspectos da mesma, tal como o perfil de indutância, o perfil de conjugado, a potência, o efeito da sobreposição de fases, a imposição de conjugado, dentre outros.

PALAVRAS-CHAVE: Acionamento, conversor, DSP, motor, máquina a relutância variável 8/6.

ABSTRACT: In this article is presented the implementation of a drive platform and study for a switched reluctance machine 8/6, being operated as a motor. The drive system has as its main element a half-bridge converter, and the control system is based on microcontroller, insulators, current transducers, voltage transducers and encoder. The proposal is to make all the aforementioned elements work seamlessly to create a robust platform, is that in addition to drive the machine in question would encourage the study of various magnitudes and aspects of it, such as inductance profile, conjugate profile, the power, the effect of overlapping phases, the torque control, among

others.

KEYWORDS: Converter, drive, DSP, motor, switched reluctance machine 8/6.

1 | INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas devido ao grande avanço de diversas áreas da engenharia elétrica, tais como a eletrônica de potência, sistemas de controle, microcontroladores, sistemas de sensoriamento, dentre outras; muitas máquinas não convencionais vêm tornando-se cada vez mais acessíveis, e dentre estas máquinas temos a máquina a relutância variável (MRV).

A MRV tem sido foco de diversos trabalhos na área de máquinas e acionamentos elétricos, em suas diversas configurações, tais como 4/4 (quatro polos no estator e quatro polos no rotor), 6/4 (seis polos no estator e quatro polos no rotor), 6/6 (seis polos no estator e seis polos no rotor), 8/6 (oito polos no estator e seis polos no rotor), dentre outras configurações, sendo a mesma acionada tanto como motor quanto como gerador.

Do ponto de vista construtivo a máquina a relutância variável apresenta polos salientes tanto no rotor quanto no estator e enrolamento concentrado, característica que torna o efeito da indutância mútua desprezível ou inexistente para máquinas com pequena quantidade de polos, com reflexos positivos no acionamento e controle de operação da mesma (MORAES FILHO et al., 2014). Na Figura 1 temos o perfil da máquina utilizada neste trabalho.

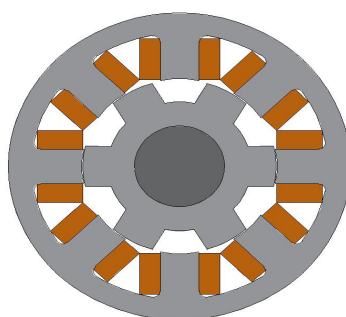


Figura 1 - Perfil transversal da máquina a relutância variável 8/6.

Fonte: Autoria própria.

Os enrolamentos são formados por pares de bobinas concentradas que envolvem os polos do estator, diametralmente opostos, e podem ser ligadas em série ou paralelo. A escolha da ligação como série ou paralelo ocorrerá de acordo com os níveis de tensão e corrente desejados, ou de acordo com os limites destas grandezas por fatores elétricos ou mecânicos da máquina em questão. Abaixo temos a representação dos dois tipos de ligação para as bobinas do estator.

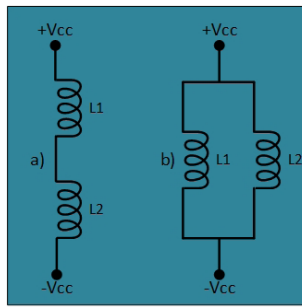


Figura 2 - a) Ligação série. b) Ligação paralelo.

Fonte: Autoria própria.

O princípio de funcionamento da MRV baseia-se na variação da indutância, grandeza a qual é função da posição do rotor em relação ao estator e também da corrente no estator. Temos o perfil da indutância não saturado para esta máquina (KRISHNAN, 2001), conforme segue abaixo.

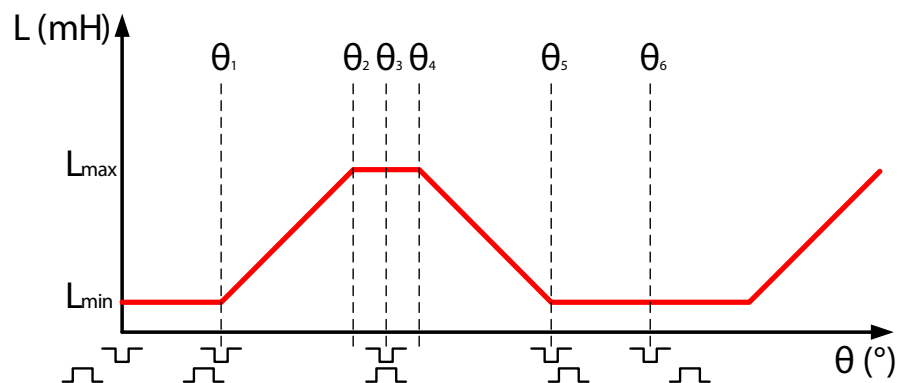


Figura 3 - Perfil de indutância para máquina a relutância variável não saturada.

Fonte: Autoria própria.

Apesar da impossibilidade prática de termos o perfil de indutância ideal devido a saturação magnética da MRV, sabemos que a saturação causa uma curvatura no perfil de indutância próximo aos pontos de alinhamento dos polos do estator e do rotor (L_{max}), e exerce uma influência negativa no torque da máquina (KRISHNAN, 2001). Mas o perfil apresentado na Figura 3 nos traz pontos angulares que são de extrema importância na etapa de acionamento da máquina, pois, a partir dos mesmos podemos determinar os momentos de energização e desenergização de cada fase da MRV, tal que:

θ_1 - Esta posição indica o ponto na qual inicia-se a sobreposição entre os polos do rotor e do estator, e também o ponto no qual deve-se iniciar a alimentação da fase, pois, no sistema apresentado propõe-se que a máquina seja acionada como motor.

θ_2 - Este ponto indica a posição na qual o polo do rotor percorre toda a extensão do polo do estator, e ponto máximo na qual a fase deve ser desenergizada.

θ_3 - Indica a posição na qual os polos do rotor e do estator estão completamente alinhados.

Os pontos θ_4 , θ_5 e θ_6 não serão abordados devido a sua importância principalmente no acionamento da máquina como gerador, evento o qual não ocorre nesta etapa de nosso estudo. A partir deste perfil de indutância o sistema proposto deverá impor a energização de cada fase e o controle de corrente sobre a mesma, a fim de obter o melhor aproveitamento da MVR 8/6 acionada como motor.

2 | MÁQUINA UTILIZADA NO PROJETO

A máquina utilizada neste projeto é uma máquina 8/6, a qual foi inteiramente desenvolvida dentro do laboratório que dá suporte ao estudo em questão, desde as etapas referentes ao estudo elétrico e magnético, passando pelas etapas de modelagem, simulações e definição de medidas e materiais a serem utilizados (BIANCHI; ANDRADE, 2015) em sua construção e findando na construção efetiva. Abaixo temos as fotos da máquina, de seu estator e de seu rotor, respectivamente.

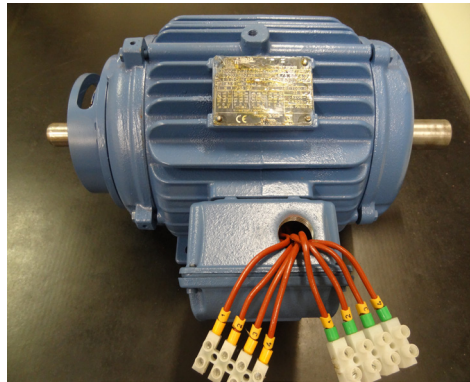


Figura 4 - Máquina utilizada no projeto.

Fonte: A autoria própria.

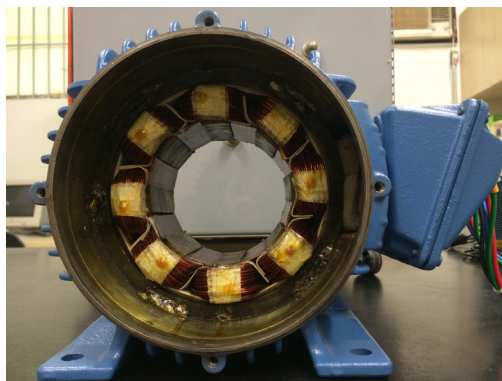


Figura 5 - Estator da máquina utilizada no projeto.

Fonte: A autoria própria.

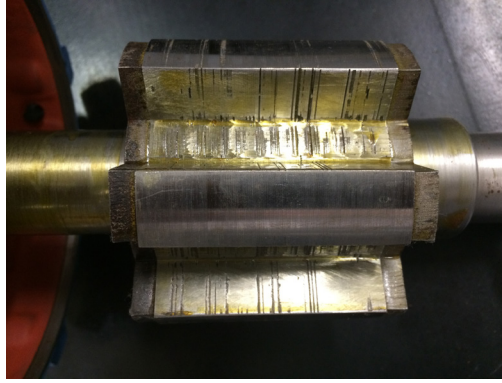


Figura 6 - Rotor da máquina utilizada no projeto.

Fonte: Autoria própria.

A Figura 7 retrata a localização das grandezas de projeto apresentadas na Tabela 1 através de suas siglas.

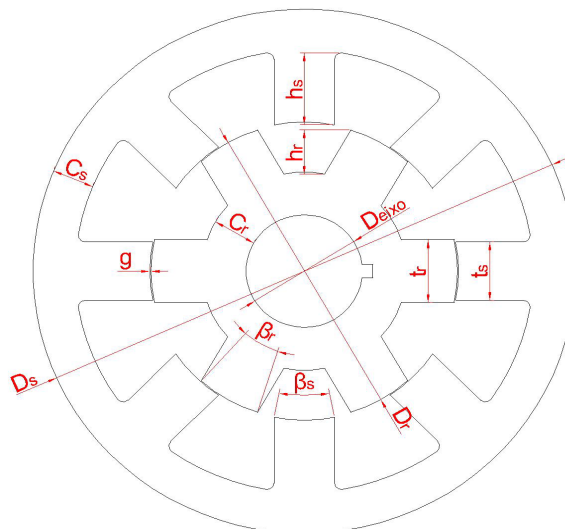


Figura 7 - Localização das grandezas de projeto.

Fonte: Autoria própria.

A tabela abaixo reúne os principais parâmetros da máquina foco deste estudo:

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: A autoria própria.

3 | SIMULAÇÃO DINÂMICA DO MRV 8/6

Na etapa de projeto da máquina, na qual foram simulados o comportamento da máquina para diversos valores de correntes e posições, foram obtidas as curvas de indutância e fluxo; as quais foram utilizadas para iniciar uma simulação dinâmica através do software MATLAB/ Simulink®.

A topologia de conversor escolhida para acionar a máquina a relutância é a *half-bridge*, que caracteriza-se por possuir duas chaves controladas em série com cada fase da máquina e dois diodos, utilizados para desmagnetização da bobina de cada fase após o período de magnetização da mesma. O conversor *half-bridge* para a MRV 8/6 pode ser visualizado na Figura 8.

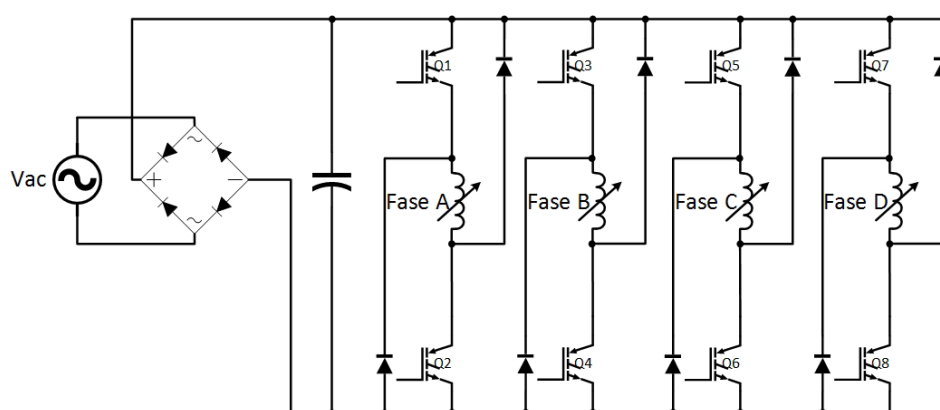


Figura 8 - Topologia do conversor *half-bridge* para a MRV 8/6.

Fonte: A autoria própria.

A partir da definição do conversor que seria utilizado, (MILLER, 2001), montou-se a simulação pautada no mesmo e o controle foi implementado, tendo como principais elementos de controle o sensor de posição do rotor em relação ao estator e o controle

de corrente por fase. A Figura 9 mostra o ambiente completo de simulação.

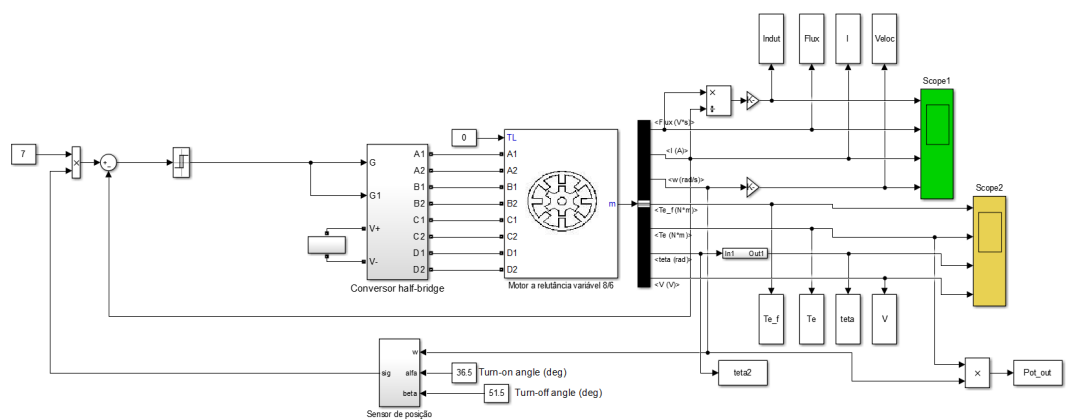


Figura 9 - Ambiente completo de simulação.

Fonte: Autoria própria.

A estratégia de acionamento implementada consiste em acionar a MRV mantendo um controle sobre a corrente, e também sobre o alinhamento dos polos do estator com os polos do rotor para cada fase. No Simulink® podemos dividir esta estratégia em 2 etapas básicas:

1 - Em uma primeira etapa é aplicada tensão positiva ao enrolamento do motor através do fechamento das duas chaves do conversor, referentes a fase sobre a qual se realiza o controle. As chaves são mantidas acionadas até que a corrente atinja o valor máximo previamente escolhido, ou até que os polos do estator e do rotor estejam fora do intervalo permitido para o acionamento de cada fase.

2 - Quando a corrente alcança seu valor máximo ou o ângulo entre o rotor e o estator está fora do intervalo escolhido para a alimentação da fase em questão, inicia-se a etapa 2; que consiste na abertura das chaves e então a corrente que circula pela fase é forçada a passar pelos diodos do conversor, e o enrolamento do motor fica submetido à tensão negativa (tensão reversa). Estando a fase submetida à tensão reversa, a corrente da fase decresce rapidamente.

O intervalo de histerese da corrente foi definido entre 6,5 e 7,5 A, tendo como set point 7 A. O ângulo de condução para cada fase foi estabelecido de 36,5° até 51,5°; valores os quais são obtidos respeitando-se (MILLER, 2001; KRISHNAN, 2001) e ajustados ao sistema de referências do MATLAB®. A partir dessas definições temos alguns gráficos de grandezas importantes na MRV 8/6 acionada como motor.

A Figura 10 ilustra o perfil de indutância da MRV 8/6 e o controle de corrente atuando sobre a mesma, e devido à imposição do controle não teremos sobreposição de fases neste acionamento.

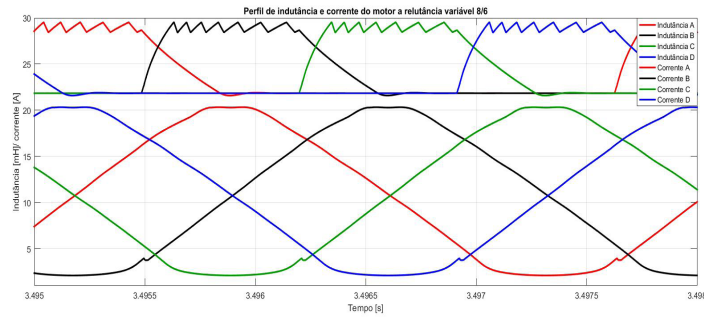


Figura 10 - Perfil da indutância e corrente no estator da MRV 8/6.

Fonte: Autoria própria.

Abaixo temos os gráficos que ilustram o comportamento do fluxo da máquina foco deste trabalho e o comportamento do conjugado eletromecânico, respectivamente.

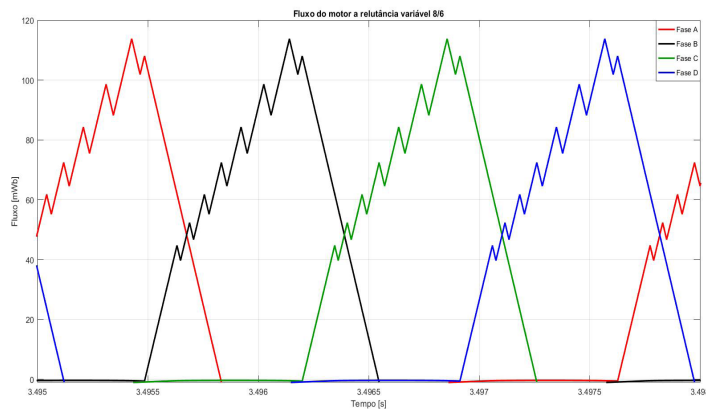


Figura 11 - Perfil do fluxo do motor a relutância variável 8/6.

Fonte: Autoria própria.

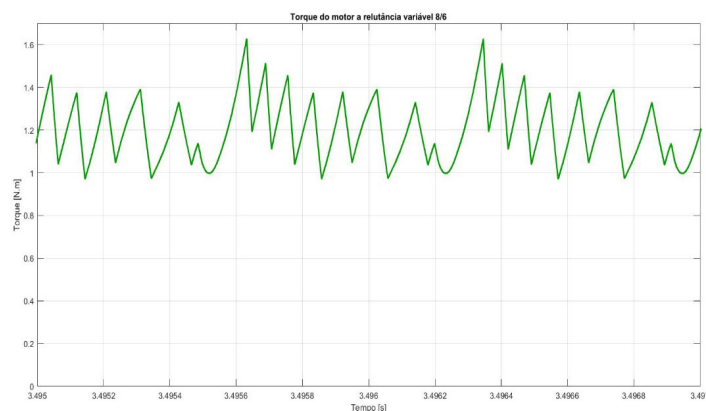


Figura 12 - Perfil do conjugado do motor a relutância variável 8/6.

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 13 temos o comportamento da velocidade da MRV 8/6, desde sua partida até que a mesma atinja sua velocidade nominal, 3500 rpm.

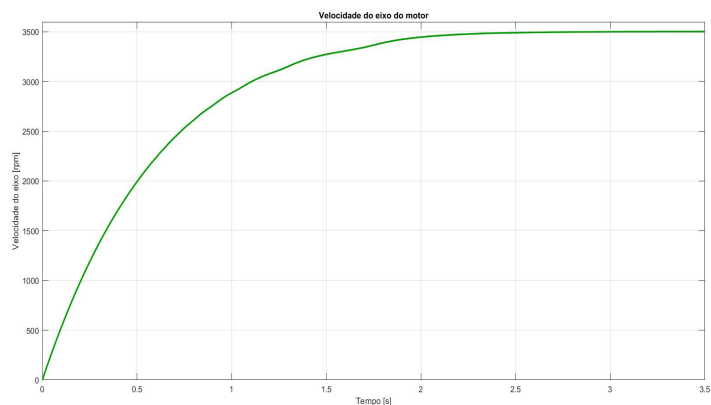


Figura 13 - Comportamento da velocidade do motor a relutância variável 8/6.

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 14 temos o gráfico que expressa o comportamento do ângulo do rotor em relação a cada fase, pois, para a máquina 8/6 teremos que a cada 60° mecânicos o perfil de indutância da referida fase se repete.

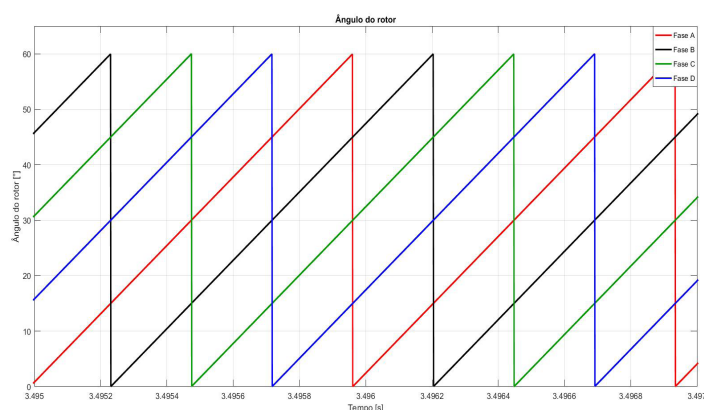


Figura 14 - Comportamento do ângulo do polo do rotor no motor a relutância variável 8/6.

Fonte: Autoria própria.

4 | MONTAGEM DE PLATAFORMA

Na etapa de montagem experimental trabalhamos com 6 circuitos principais, os quais em conjunto permitem o acionamento e controle da MRV 8/6, tal que:

1 - Conversor *half-bridge* e isoladores: O conversor *half-bridge* foi construído através de chaves do tipo insulated gate bipolar transistor (IGBT), adquiridas da empresa Fuji Electric, modelo 6MBI100S-060, tendo as ligações entre seus terminais alteradas de modo que tivéssemos um conversor com quatro braços (MORAES FILHO et al., 2014). A fim de implementar um desacoplamento elétrico entre sistemas de potência e de controle, foi inserido um circuito de acopladores óticos para cada chave. Além de isolar a parte de potência da parte de controle, o circuito isolador tem

a função de elevar a tensão de sua entrada de 3,3 V para 15 V em sua saída, pois, o valor de tensão na saída do microcontrolador utilizado não é suficiente para acionar os elementos utilizados como chaves no conversor estático, porém, após o sinal passar pelo circuito isolador a tensão recebe um ganho o qual garante o acionamento das chaves quando necessário. O layout final da placa que aloja o conjunto de chaves que exerce a função do conversor e os circuitos isoladores pode ser visualizada na Figura 15.

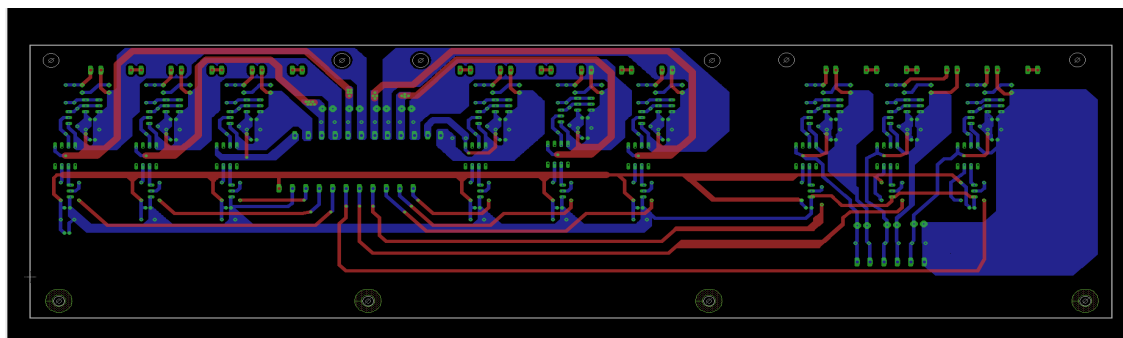


Figura 15 - Layout da placa de potência.

Fonte: Autoria própria.

2 - Fontes de alimentação: Como o circuito isolador necessita de fontes com referências de terras distintas, deveremos ter uma fonte de alimentação para cada circuito isolador. A Figura 16 mostra o layout da placa das fontes dos circuitos isoladores.

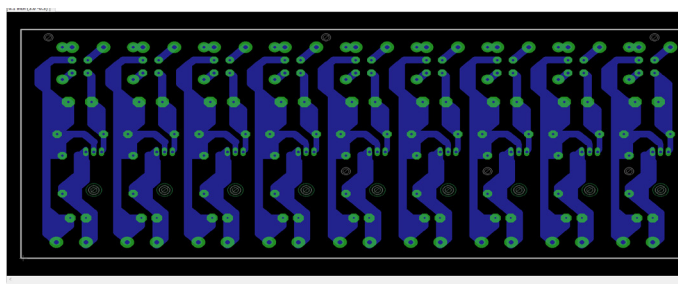


Figura 16 - Layout da placa das fontes dos isoladores.

Fonte: Autoria própria.

3 - Microcontrolador: O microcontrolador utilizado neste projeto é o DSC TMS320F28335, ilustrado na Figura 17, o qual é um microcontrolador da Texas Instruments® e pertence a um grupo específico de dispositivos de processamento digital chamado Digital Signal Controller (DSC). É um chip que combina o processamento de um processador digital de sinais a periféricos embarcados de um microcontrolador. Devido seu enorme potencial, velocidade de processamento, versatilidade para trabalhar com operações matemáticas complexas e a necessidade de se controlar o sistema em tempo real, um DSC é o dispositivo indicado para a aplicação abordada.

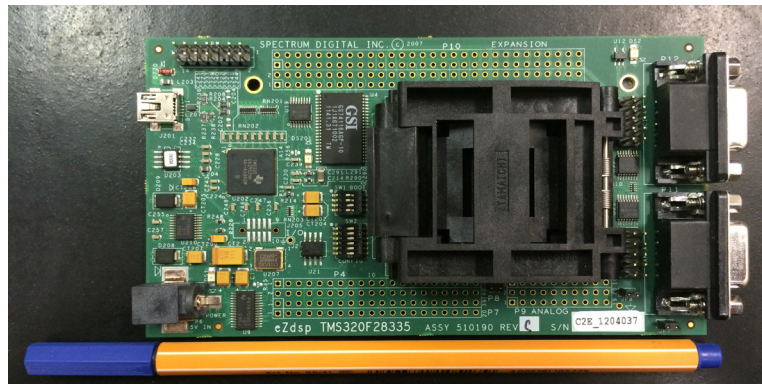


Figura 17 - DSC TMS320F28335.

Fonte: Autoria própria.

4 - Transdutores de tensão e corrente: A fim de implementar o controle e acionamento da MRV precisamos efetuar as medidas de alguns parâmetros da mesma, os quais são adquiridos pela placa ilustrada na Figura 18, que conta com transdutores de corrente e tensão, filtros, além de um sistema que adequa seu sinal de saída a patamares que podem ser trabalhados pelo microcontrolador utilizado no projeto. O projeto desta placa foi desenvolvido por professores do Núcleo de Pesquisa em Eletrônica de Potência (NUPEP), Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

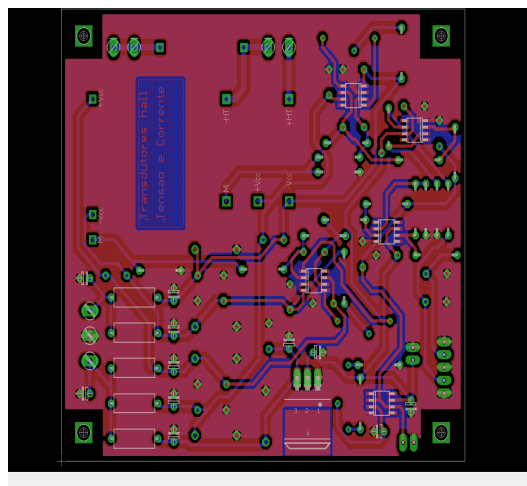


Figura 18 - Layout da placa dos transdutores de corrente e tensão.

Fonte: Autoria própria.

5 - Adaptadores de níveis de tensão: Alguns elementos presentes na plataforma proposta podem não ter sinais dentro de níveis (do ponto de vista de amplitude) aceitáveis pelo DSC utilizado, e a função desta placa é fazer a adaptação de sinais digitais de forma que possam ser utilizados como entradas no DSC. Um exemplo de aplicação da placa de adaptação de níveis de tensão é a saída do encoder, que apresenta níveis de tensão de 0 e 15 V, sendo os mesmos adaptados para níveis de 0 e 3,3 V, respectivamente. Assim como a placa dos transdutores de tensão e corrente

esta também teve seu projeto desenvolvido pelos professores do Núcleo de Pesquisa em Eletrônica de Potência (NUPEP), Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

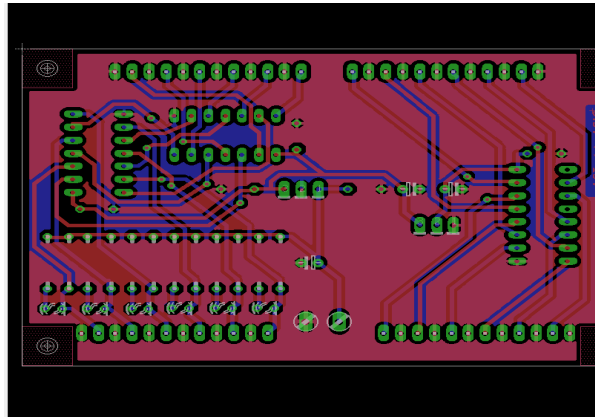


Figura 19 - Layout da placa para adaptação de níveis de tensão.

Fonte: Autoria própria.

6 - Encoder absoluto: A função deste elemento é fornecer de forma precisa a posição de rotor em relação ao estator, para que, a partir desta informação possamos identificar o momento correto de acionar cada fase da máquina. O encoder utilizado neste projeto necessariamente deve ser do tipo absoluto, pois, neste tipo de encoder a posição é dada pela leitura de um código único para cada posição, condição indispensável para o correto acionamento da MRV. O encoder utilizado apresenta uma resolução de $0,35^\circ$ mecânicos e é mostrado na Figura 20.



Figura 20 - Encoder utilizado na plataforma proposta.

Fonte: Autoria própria.

Após definidos os principais elementos que iriam compor a plataforma os mesmos foram divididos basicamente em dois subsistemas, tal que o primeiro mostrado na Figura 21 suporta um transformador com 9 saídas isoladas para alimentar as fontes dos isoladores, a placa com as fontes dos isoladores, a placa com os circuitos isoladores e ligações dos módulos IGBTs, os módulos IGBTs e o sistema de retificação que fornecerá a tensão contínua necessária ao funcionamento da MRV 8/6. O segundo subsistema é mostrado na Figura 22, e é composto pelas placas de transdutores,

placas de adaptadores de níveis de tensão, pelo DSP e pela fonte que irá alimentar todas esses circuitos, além do encoder, o qual estará acoplado ao eixo da máquina.

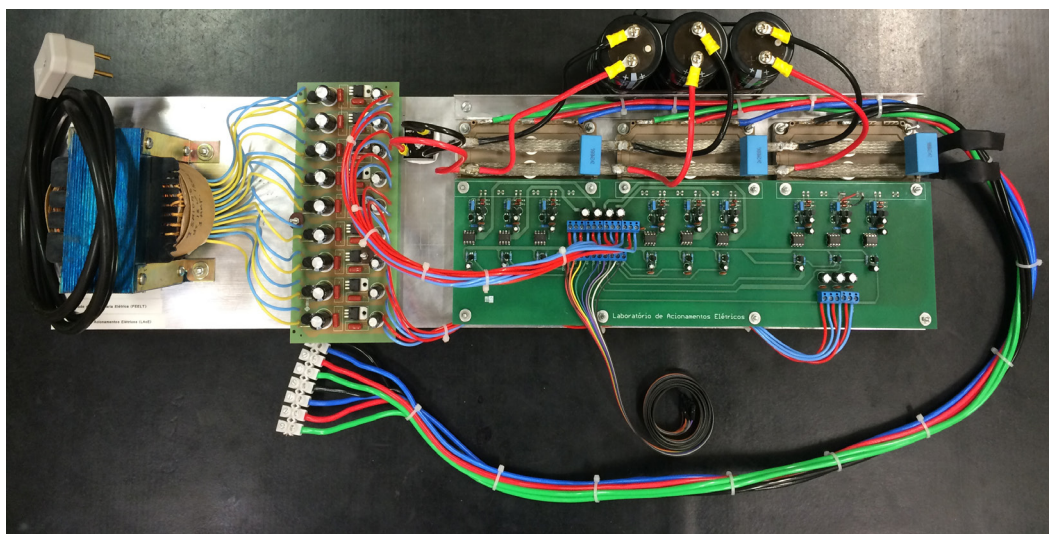


Figura 21 - Montagem final do sistema de potência.

Fonte: Autoria própria.

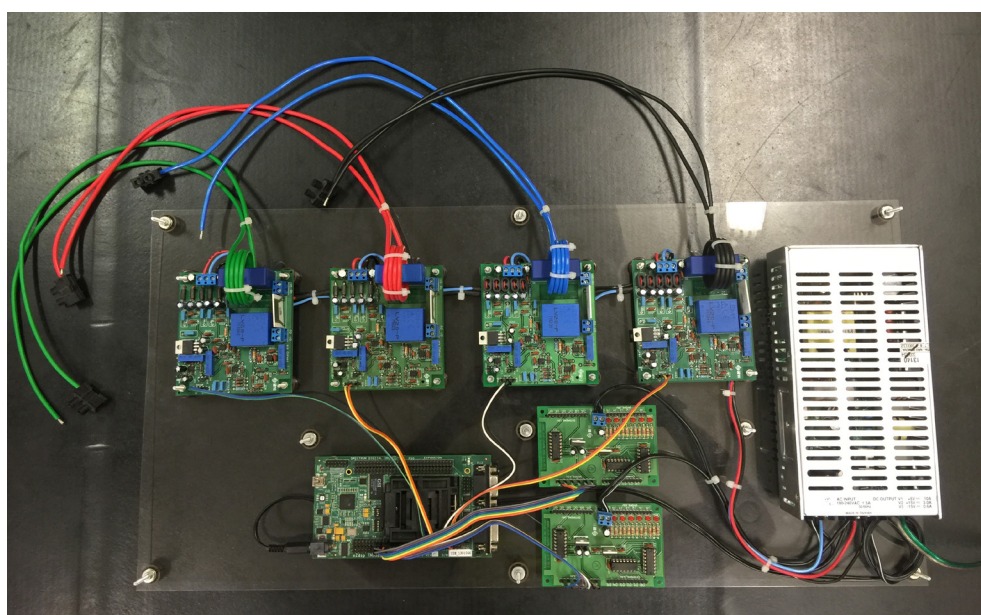


Figura 22 - Montagem final do sistema transdutores, placas de adaptação de níveis de tensão e microcontrolador.

Fonte: Autoria própria.

5 | CONCLUSÕES

A MRV 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 partir deste projeto temos estímulos a fim de continuar este estudo no âmbito experimental, abordando em quais situações e sobre quais máquinas a MRV 8/6

apresenta pontos positivos, negativos e possíveis adaptações ou melhorias, as quais podem ser implementadas a fim de extrair todo o potencial desta máquina.

6 | AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPEMIG 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.; GOMES, L. C.; ANDRADE, D. A.; SILVEIRA, A. W. F. V. **Estudo e implementação de um sistema de acionamento para motor a relutância variável 8/6**. XII Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica - XII CEEL. Uberlândia - MG. 2014.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-432-0

