

**VILMA MAURO**

**PESQUISA, PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM INVERSOR DE  
FREQUÊNCIA TRIFÁSICO ELETROMECÂNICO**

Guaratinguetá - SP

2016

VILMA MAURO

PESQUISA, PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM INVERSOR DE FREQUÊNCIA  
TRIFÁSICO ELETROMECAÂNICO

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador (a): Prof. Dr. João Zangrandi  
Filho

Guaratinguetá - SP  
2016

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M457p | <p>Mauro, Vilma</p> <p>Pesquisa, projeto e construção de um inversor de frequência trifásico eletromecânico / Vilma Mauro – Guaratinguetá, 2016.</p> <p>42 f : il.</p> <p>Bibliografia: f. 40</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. João Zangrandi Filho</p> <p>1. Inversores elétricos 2. Correntes contínuas 3. Correntes alternadas</p> <p>I. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 621.314.572</p> |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

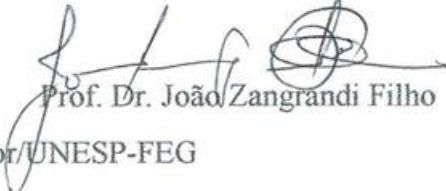
**VILMA MAURO**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
“GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM NOME DO CURSO

Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. João Zangrandi Filho  
Orientador/UNESP-FEG

Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins  
UNESP-FEG

  
Prof. Dr. José Elias Tomazini  
UNESP-FEG

## **DADOS CURRICULARES**

### **VILMA MAURO**

|                   |                                                                                                                                   |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>NASCIMENTO</b> | 11.07.1992 – Guaratinguetá / SP                                                                                                   |
| <b>FILIAÇÃO</b>   | Delmo Mauro<br>Maria de Fátima de Melo Lima Mauro                                                                                 |
| <b>2011/2016</b>  | Curso de Graduação<br>Engenharia Mecânica - Universidade Estadual Paulista<br>"Júlio de Mesquita Filho" - Campus de Guaratinguetá |

De modo especial, à minha família.

Aos que já foram.

E aos que ainda virão.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, *Prof. Dr. João Zangrandi*, pela atenção em guiar-me nesta tarefa.

À minha família: meu precioso pai *Delmo Mauro*, às minhas mães *Fátima Melo e Flávia Mutran*, e ao meu único irmão *Telmo Mauro*, pessoas especiais por quem tenho grande consideração, pelo companheirismo e confiança nesta caminhada.

Àqueles que contribuíram para o meu desenvolvimento, em especial a *Carlos Eduardo, Valquíria Santos, Licio Queiji, Raquel Costa, Waldiney Pezzuol e Juliana Sousa*, pelos ensinamentos e valores transmitidos no ambiente corporativo.

Aos colegas da turma 511 do curso de engenharia mecânica noturno da FEG, por compartilharem comigo esta caminhada acadêmica.

Ao *Prof. Dr. Marcelo Sampaio*, sempre disposto a dar suporte aos alunos nos momentos de dificuldade.

Finalmente, a todos que contribuíram indiretamente para que este trabalho fosse concluído.

*"A vida não é como a gente quer,  
a vida é como ela é."*

(Delmo Mauro)



MAURO; V. Pesquisa, Projeto e Construção de um inversor de frequência trifásico eletromecânico. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, 2016. 42f. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

## **RESUMO**

Neste trabalho, inicialmente apresenta-se os sistemas de conversão de energia, e especificamente, o conversor CC-CA. Discute-se a importância do inversor de frequência trifásico eletrônico, seus componentes, princípio de funcionamento e possíveis aplicações dentro da Eletrônica de Potência. Num segundo momento discute-se a obtenção da tensão alternada trifásica e como foi possível obtê-la sem utilizar a forma convencional que é através dos inversores eletrônicos. Para chegar à proposta de um novo sistema inexistente no mercado que proporcionasse a tensão alternada trifásica, algumas etapas de Projetos Mecânicos foram seguidas, que envolvem desde o estudo bibliográfico até a montagem final do conjunto proposto e a realização dos testes do mesmo. Por fim foi possível se projetar, construir e implementar o inversor eletromecânico e desta forma compará-lo ao inversor eletrônico já existente.

**PALAVRAS-CHAVE:** inversor eletrônico. inversor eletromecânico. tensão contínua. tensão alternada trifásica.

MAURO; V. Research, Design and Assembly of an electromechanical three-phase frequency inverter. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016. 42p.

### **ABSTRACT**

In this work, first of all, the converters of energy are shown, and specifically, the CC-CA converter. The importance of the electronic three-phase frequency inverter, its components, how it works and possible applications inside the Power Electronics is discussed. Second of all, the aim of this work is emphasized, this is, about taking the alternate three-phase voltage and how to get it without making use of the conventional way, through the electronics inverters. In order to make a proposal of a new nonexistent system in the market that could provide the alternate three-phase voltage, some steps of Mechanical Project were followed, considering everything from the bibliographic study to the final assembly parts and the accomplishment of the tests. In the end of the work, it was possible to design assembly and implement the electromechanical inverter and also was possible compare it to the existent electronic inverter.

**KEYWORDS:** electronic inverter. electromechanical inverter. continue voltage. alternate three-phase voltage.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Inversor trifásico tipo fonte tensão .....                          | 18 |
| Figura 2 - Classificação do inversor eletromecânico .....                      | 20 |
| Figura 3 - Inversor de frequência eletrônico .....                             | 21 |
| Figura 4 - Estrutura do inversor trifásico .....                               | 22 |
| Figura 5 - Comando de pulsos do inversor trifásico tipo 180° .....             | 23 |
| Figura 6 - Inversor trifásico eletromecânico .....                             | 24 |
| Figura 7 - Circuito elétrico do inversor eletromecânico .....                  | 25 |
| Figura 8 - 1ª etapa de condução dos interruptores .....                        | 26 |
| Figura 9 - 2ª etapa de condução dos interruptores .....                        | 26 |
| Figura 10 - 3ª etapa de condução dos interruptores .....                       | 27 |
| Figura 11 - 4ª etapa de condução dos interruptores .....                       | 27 |
| Figura 12 - 5ª etapa de condução dos interruptores .....                       | 28 |
| Figura 13 - 6ª etapa de condução dos interruptores .....                       | 28 |
| Figura 14 - Desenho de conjunto do inversor eletromecânico.....                | 30 |
| Figura 15 – Disposição dos fios do inversor eletromecânico. ....               | 31 |
| Figura 16 – Disposição dos anéis do inversor eletromecânico .....              | 32 |
| Figura 17 - Disposição das escovas de contato do inversor eletromecânico ..... | 33 |
| Figura 18 - 1ª etapa de condução dos interruptores .....                       | 33 |
| Figura 19 - 2ª etapa de condução dos interruptores .....                       | 34 |
| Figura 20 - 3ª etapa de condução dos interruptores .....                       | 34 |
| Figura 21 - 4ª etapa de condução dos interruptores .....                       | 34 |
| Figura 22 - 5ª etapa de condução dos interruptores .....                       | 35 |
| Figura 23 - 6ª etapa de condução dos interruptores .....                       | 35 |
| Figura 24 - Obtenção da tensão alternada trifásica .....                       | 36 |
| Figura 25 - Inversor eletromecânico .....                                      | 36 |
| Figura 26 - Micromotor trifásico síncrono .....                                | 37 |

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Material utilizado para construção do inversor..... | 30 |
|----------------------------------------------------------------|----|

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|     |                                     |
|-----|-------------------------------------|
| CC  | Corrente Contínua                   |
| CA  | Corrente Alternada                  |
| DC  | <i>Direct Current</i>               |
| AC  | <i>Alternate Current</i>            |
| UPS | <i>Uninterruptible power supply</i> |
| CSI | <i>Current-source inverter</i>      |
| VSI | <i>Voltage-source inverter</i>      |
| Vca | Tensão da fonte corrente alternada  |
| Vcc | Tensão da fonte corrente contínua   |
| PWM | <i>Pulse Width Modulation</i>       |

## SUMÁRIO

|          |                                             |    |
|----------|---------------------------------------------|----|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>                           | 13 |
| 1.1      | OBJETIVOS DA PESQUISA                       | 14 |
| 1.2      | METODOLOGIA DE PESQUISA                     | 14 |
| 1.3      | JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA      | 15 |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>                | 17 |
| 2.1      | CONVERSORES CC-CA                           | 17 |
| 2.2      | TIPOS DE CONVERSORES CC-CA                  | 17 |
| 2.2.1    | Alimentação                                 | 18 |
| 2.2.2    | Tensão alternada de saída                   | 19 |
| 2.2.3    | Estrutura da etapa de potência              | 19 |
| 2.2.4    | Forma de controle da estrutura de potência  | 19 |
| 2.3      | INVERSOR DE FREQUÊNCIA TRIFÁSICO ELETRÔNICO | 21 |
| 2.4      | INVERSOR TIPO SEIS PASSOS OU SEIS PULSOS    | 22 |
| 2.4.1    | Inversor trifásico tipo 180°                | 22 |
| <b>3</b> | <b>INVERSOR TRIFÁSICO ELETROMECHANICO</b>   | 24 |
| 3.1      | CIRCUITO ELÉTRICO                           | 24 |
| 3.2      | SEQUÊNCIA DOS INTERRUPTORES                 | 25 |
| <b>4</b> | <b>PROJETO INVERSOR ELETROMECHANICO</b>     | 30 |
| 4.1      | PRÉ-DIMENSIONAMENTO E DESENHO DO PROJETO    | 30 |
| 4.2      | CONSTRUÇÃO DO INVERSOR ELETROMECHANICO      | 30 |
| 4.3      | SEQUÊNCIA DOS INTERRUPTORES NO ESPAÇO       | 33 |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>              | 36 |
| <b>6</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>                 | 38 |
| 6.1      | VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS DA PESQUISA       | 38 |
| 6.2      | RECOMENDAÇÕES PARA NOVAS PESQUISAS          | 39 |
|          | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>           | 40 |

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, visto que estamos contextualizados em uma era de reinvenção industrial, pode-se dizer que a Eletrônica de Potência é uma área da Engenharia extremamente importante. Aliada à área computacional, a Eletrônica de Potência se torna a base para as indústrias automatizadas.

Clóvis Petry (2013) sintetiza que a Eletrônica de Potência é uma área da Engenharia Elétrica que tem a finalidade de estudar e construir conversores de energia visando o processamento eletrônico da energia elétrica. Inicialmente era destinada a aplicações industriais, mas que no decorrer do tempo evolui para ser utilizada em ambientes residenciais e comerciais também.

Clóvis Petry (2013) também afirma que, atualmente, praticamente todos os equipamentos eletrônicos utilizam algum tipo de conversão de energia, que é a atividade fim da eletrônica de potência. Portanto, o crescimento desse ramo tem possibilitado o surgimento de inúmeros tipos de conversores, com desempenhos cada vez melhores, contribuindo também para o avanço e expansão desta importante área do conhecimento.

Tendo em vista que a conversão de energia está presente em diversas tecnologias, torna-se imprescindível o emprego da mesma com finalidade de se obter determinadas amplitudes e frequências, além de permitir a alteração da forma (quadrada, senoidal, triangular ou dente de serra).

Sendo assim, surgiram os conversores rotativos, que atualmente foram substituídos pelos conversores estáticos. Um conversor rotativo é aquele que converte energia usando mecanismos móveis (gerador motor-gerador). Já um conversor estático é um dispositivo eletrônico que converte energia sem usar componentes móveis (giratórios) (PETRY, C. A. et al., 2013).

Neste contexto, segundo Petry, a eletrônica de potência é dividida em quatro grupos de conversores:

- CA-CC: denominados de retificadores, os quais convertem a tensão alternada da rede de energia elétrica em uma tensão contínua;
- CA-CA: denominados de *choppers* CA. Estes convertem a tensão alternada da rede de energia elétrica em tensão alternada estabilizada, por exemplo;

- CC-CC: denominados de *choppers*, que convertem tensão contínua em tensão contínua;
- CC-CA: denominados de inversores, os quais convertem tensão contínua em alternada. São muito usados em acionamento CA-CC.

Baseando-se neste último grupo citado acima (CC-CA), pode-se afirmar que o foco deste estudo se concentra nos sistemas conversores de tensão contínua (a partir de uma fonte DC) em tensão alternada trifásica (AC), isto é, os denominados inversores.

## 1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos deste trabalho são:

- Pesquisar os sistemas existentes para obtenção de tensão alternada trifásica, especificamente, o inversor de frequência trifásico eletrônico;
- Projetar um inversor para obter uma tensão alternada trifásica a partir de uma fonte de tensão DC, não de forma eletrônica como existe comercialmente, mas utilizando um sistema eletromecânico.

## 1.2 METODOLOGIA DE PESQUISA

Inicialmente foi feita uma pesquisa bibliográfica nos livros, publicações e pesquisas na Internet de modo a entender o funcionamento dos sistemas de conversão de energia CC-CA, especificamente os inversores de frequência eletrônicos. Em seguida, foi realizado um estudo mais aprofundado, tátil-visual, sobre os seus componentes e funcionamentos, utilizando material prático, disponível no Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, FEG, UNESP.

Numa outra etapa foi realizado o pré-dimensionamento do inversor trifásico eletromecânico utilizando os dados de projeto. Depois, pôde-se iniciar o desenho de conjunto seguido dos detalhes.

Resume-se a sequência amplamente utilizada em projeto mecânico, da seguinte forma:

- a) Estudo bibliográfico;
- b) Estudo tátil-visual;



- c) Pré-dimensionamento;
- d) Desenho de conjunto do inversor;
- e) Montagem dos componentes;
- f) Testes.

Cada uma destas etapas de trabalho pode ser então mais bem explicada como segue:

- Pesquisa bibliográfica: desenvolvida com a finalidade de se obter o maior número de informações possíveis sobre este tipo de sistema. Através da literatura é possível entender o funcionamento do circuito eletrônico. Também foram realizadas visitas à biblioteca da UNESP, assim como sites da internet, com o objetivo de levantar a literatura existente sobre este tipo de sistema.
- Pesquisa tátil-visual: foram utilizados inversores comerciais eletrônicos para se conhecer o funcionamento e os seus componentes.
- Pré-dimensionamento: os primeiros cálculos são desenvolvidos utilizando os dados iniciais de projeto, ou seja, a estrutura do circuito elétrico e componentes do inversor, disponíveis no campus de Guaratinguetá e que foram totalmente projetados e montados neste campus;
- Desenho: nesta fase o desenho é iniciado utilizando-se os cálculos preliminares e as decisões sobre cada elemento de máquina a ser utilizado. Realizam-se os desenhos das peças que serão montadas. Este processo é dinâmico e iterativo continuando até a finalização dos desenhos e a montagem dos componentes;
- Montagem dos componentes e testes: nesta etapa é então montado todo o conjunto do inversor na bancada de testes projetada e então serão realizados os testes.

### 1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

Verificou-se que a tensão alternada trifásica é obtida através de inversores eletrônicos, ou seja, através de sistemas projetados e construídos com componentes

estáticos eletrônicos, como diodos e transistores, por exemplo. Também se sabe que estes sistemas são fabricados por diversas empresas e que o mercado nessa área vem se expandindo.

Considerando que ainda não se tem uma pesquisa relacionada à construção de um inversor com componentes mecânicos, torna-se interessante a obtenção do conhecimento para a construção de um inversor eletromecânico, pois será mais um meio de se obter tensão alternada trifásica a partir de uma fonte de tensão DC, ou seja, desta forma também se obtém a tensão alternada trifásica, porém com uma tecnologia específica que ainda não foi desenvolvida comercialmente.

Sendo assim, a principal motivação para este trabalho é a ausência de um inversor construído eletromecanicamente no mercado. Não se tem notícia de alguma pesquisa neste sentido, portanto, a proposta deste trabalho é implementar este sistema.

É importante salientar que através desta pesquisa, dependendo da potência, ela poderá ser utilizada para acionar sistemas trifásicos ou, então, para explicar, como um meio didático, o funcionamento deste sistema e compará-lo ao sistema eletrônico já existente.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONVERSORES CC-CA

Os conversores CC-CA são denominados “inversores de frequência” cuja função é, como o próprio nome já diz, é inverter uma fonte contínua (de tensão ou de corrente) aplicada na entrada em uma fonte alternada (também de tensão ou de corrente) na saída.

A tensão alternada de saída é simétrica com módulo e frequência determinados. Além disso, a frequência da tensão de saída do inversor depende da estrutura do circuito, ou seja, ela é determinada pelo chaveamento dos dispositivos semicondutores que formam o inversor.

Segundo Petry (2008), os inversores de frequência são aplicáveis para:

- Acionamento de motores de corrente contínua;
- Acionamento de motores de corrente alternada;
- Reatores eletrônicos;
- Isolamento em alta frequência;
- Filtros ativos;
- Estabilizadores de tensão;
- Sistemas de alimentação ininterrupta (UPS);
- Aplicações espaciais, aeronáuticas e veiculares.

### 2.2 TIPOS DE CONVERSORES CC-CA

Classificam-se os inversores de acordo com alguns critérios:

- Alimentação;
- Tensão alternada de saída;
- Estrutura da etapa de potência;
- Forma de controle da estrutura de potência;

### 2.2.1 Alimentação

Em relação ao tipo de fonte utilizada, podem-se classificar os inversores de duas maneiras como sendo CSI ou VSI.

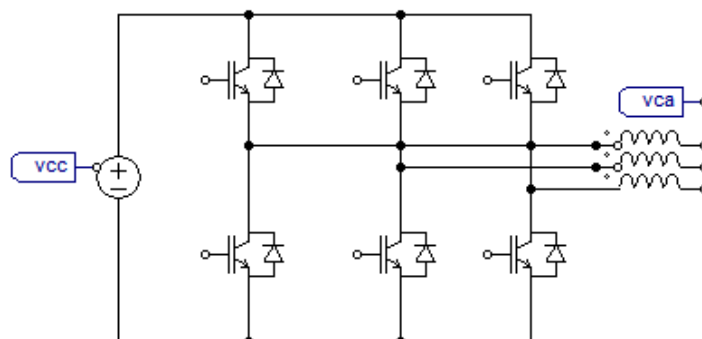
- VSI

O inversor de fonte de tensão é o mais empregado. Nele, a tensão da fonte de entrada DC é essencialmente constante e independente da corrente puxada pela carga. A tensão de entrada DC pode vir de uma fonte independente, como uma bateria, ou pode ser a saída de um retificador controlado. O inversor converte a tensão de entrada DC em uma onda quadrada AC na saída da fonte (AHMED, 2000).

A configuração básica de um inversor tipo fonte de tensão (VSI) é mostrada na Figura 1 para uma conexão trifásica. É importante lembrar que uma saída monofásica pode ser obtida utilizando-se apenas dois ramos, ao invés de três. A construção do circuito é feita através de interruptores que sejam comandados para ligar e desligar com tempos de comutação pequenos.

Como não se sabe, a priori, o que estará conectado no lado CA, a conexão sempre deverá ser feita por meio de indutores. Tais elementos permitem limitar a corrente (na verdade sua derivada) nas situações em que a tensão  $V_{ca}$  for diferente do valor  $V_{cc}$ , ou seja, o que acontece praticamente todo o tempo. Os diodos presentes no circuito garantem uma bidirecionalidade no sentido da corrente, necessária à correta operação do conversor (POMILIO, J. et al., 2012).

Figura 1 - Inversor trifásico tipo fonte tensão



Fonte: (Elaborado pelo autor)

- CSI

Uma fonte de corrente CC é tipicamente obtida com retificadores controlados e com o uso de indutores com valor elevado de indutância atuando como filtro. O retificador é controlado de modo a manter constante o valor médio da corrente. Os interruptores a serem usados no circuito devem permitir passagem de corrente num único sentido e serem capazes de bloquear tensões com ambas polaridades (POMILIO, J. et al., 2012).

### **2.2.2 Tensão alternada de saída**

Os inversores de frequência podem também ser classificados de acordo com o número de fases. Pode-se ter desde inversores monofásicos até quantas fases forem necessárias dependendo do tipo de aplicação. Os inversores mais comuns possuem saída monofásica ou trifásica.

### **2.2.3 Estrutura da etapa de potência**

Os inversores de frequência também são classificados de acordo com a sua estrutura. São divididos basicamente em três vertentes:

- Meia-ponte;
- Ponte completa ou Ponte trifásica;
- *Push Pull*.

Essas estruturas possuem saída monofásica, com exceção da Ponte trifásica, que também é conhecida como circuito do tipo Seis Passos ou Seis Pulsos.

### **2.2.4 Forma de controle da estrutura de potência**

Segundo Canesin (2002), os métodos empregados para se controlar ou regular a tensão de carga se agrupam da seguinte maneira:

- Controle da tensão na entrada do inversor;
- Controle da tensão dentro do inversor, por modulação ou defasagem;
- Controle da tensão na saída do inversor.

O controle na entrada é muito comum e para isto são empregados dois métodos, dependendo do tipo de fonte. Quando se trata de uma bateria, emprega-se um conversor

CC-CC e quando se trata da rede alternada comercial, emprega-se um retificador controlado.

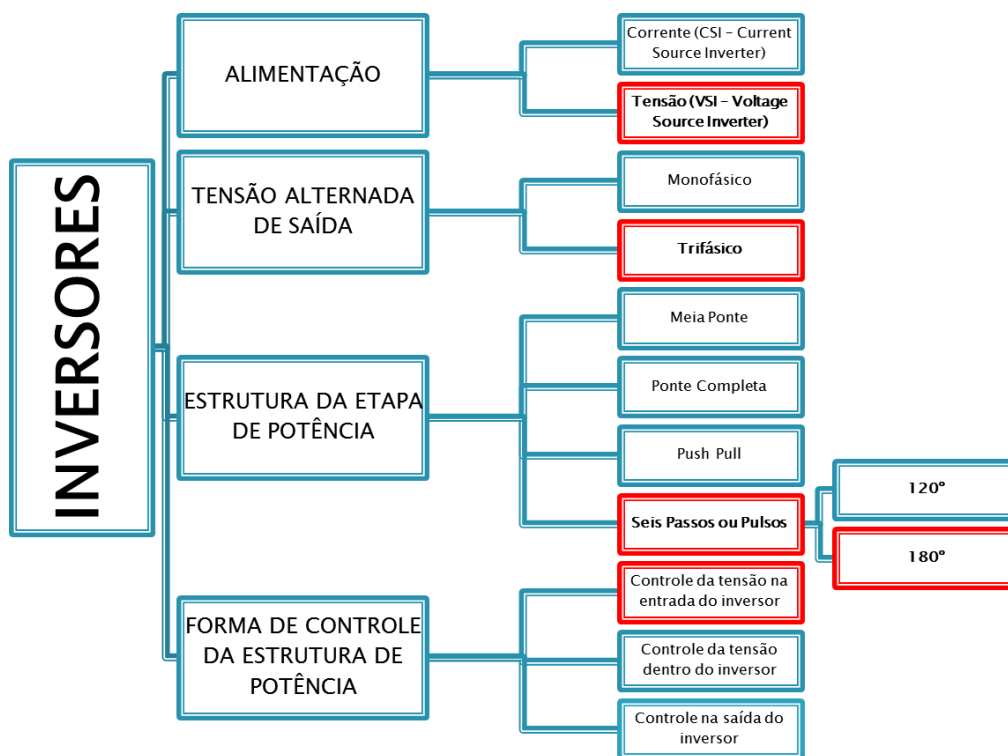
Por outro lado, o controle da tensão na saída é raramente empregado, por ser mais complicado e por gerar normalmente muitas harmônicas na carga.

Já em diversas aplicações industriais, o método mais eficiente de controle de tensão de saída consiste em incorporar o controle de modulação por largura de pulso (PWM) dentro do inversor. As técnicas comumente utilizadas são:

- modulação por largura de pulso único;
- modulação por largura de pulsos múltiplos;
- modulação por largura de pulsos senoidal;
- modulação por largura de pulsos senoidal modificada;
- controle por deslocamento de fase.

Neste estudo, o inversor é classificado de acordo com a Figura 2.

Figura 2 - Classificação do inversor eletromecânico



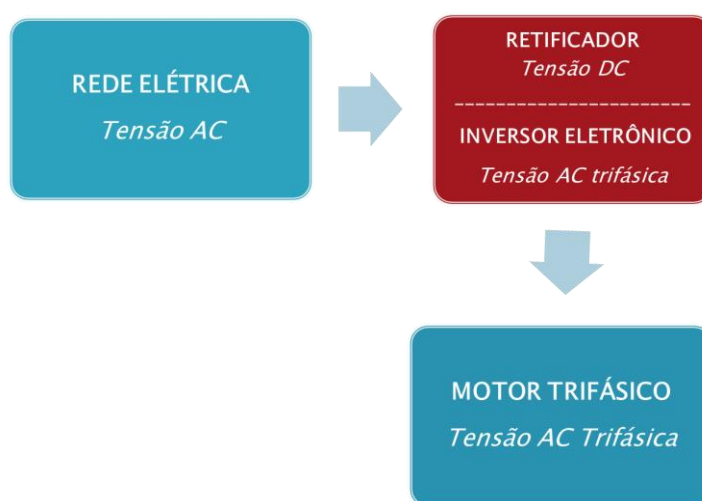
Fonte: (Elaborado pelo autor)

## 2.3 INVERSOR DE FREQUÊNCIA TRIFÁSICO ELETRÔNICO

O conversor CC-CA trifásico de tensão, com forma de onda retangular na saída, é uma das estruturas mais empregadas na indústria, é normalmente aplicado em altas potências. Sua popularidade deve-se em princípio pelo fato de ser um eficiente meio de se obter tensões trifásicas com frequência controlável (MARTINS; BARBI, 2005).

Na Figura 3 pode-se observar como a tensão alternada da rede elétrica é transformada em tensão alternada trifásica utilizando o inversor eletrônico.

Figura 3 - Inversor de frequência eletrônico



Fonte: (Elaborado pelo autor)

O funcionamento básico do inversor trifásico é essencialmente o mesmo do inversor monofásico em ponte. Para se conseguir o efeito de fonte trifásica, cada terminal de saída de cada braço inversor é conectado alternadamente, a cada meio período, no terminal positivo e negativo da fonte de alimentação CC (RASHID, 1999).

A tensão de saída trifásica é obtida preservando um ângulo de defasagem de  $120^\circ$  entre as sequências de chaveamento de cada braço inversor. Desse modo, tem-se para cada braço inversor, uma tensão de saída que se encontra  $120^\circ$  atrasada em relação ao braço inversor chaveado anteriormente, e  $120^\circ$  adiantada em relação ao braço inversor chaveado posteriormente, de forma a se produzir o mesmo comportamento dos sistemas trifásicos convencionais (RASHID, 1999).

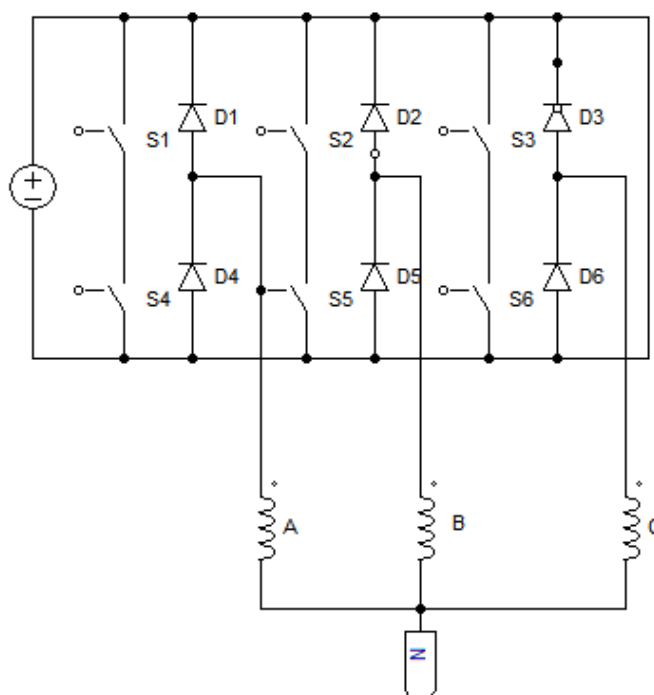
## 2.4 INVERSOR TIPO SEIS PASSOS OU SEIS PULSOS

O inversor trifásico de tensão em ponte apresenta dois tipos de operação. O tipo  $180^\circ$ , onde cada chave comandada conduz por  $180^\circ$ , e o tipo  $120^\circ$ , aonde cada chave conduz por apenas  $120^\circ$  de cada semi-período. O tipo  $180^\circ$  é em geral o mais empregado por dois motivos: 1º) as chaves semicondutoras são melhores aproveitadas quando operam conduzindo em  $180^\circ$ , e 2º) no tipo  $180^\circ$  a forma de onda da tensão de saída não é afetada pela natureza da carga (RASHID, 1999).

### 2.4.1. Inversor trifásico tipo $180^\circ$

A estrutura do inversor trifásico eletrônico seis pulsos tipo  $180^\circ$  está representada na Figura 4.

Figura 4 - Estrutura do inversor trifásico



Fonte: (Elaborado pelo autor)

Os componentes eletrônicos do circuito são:

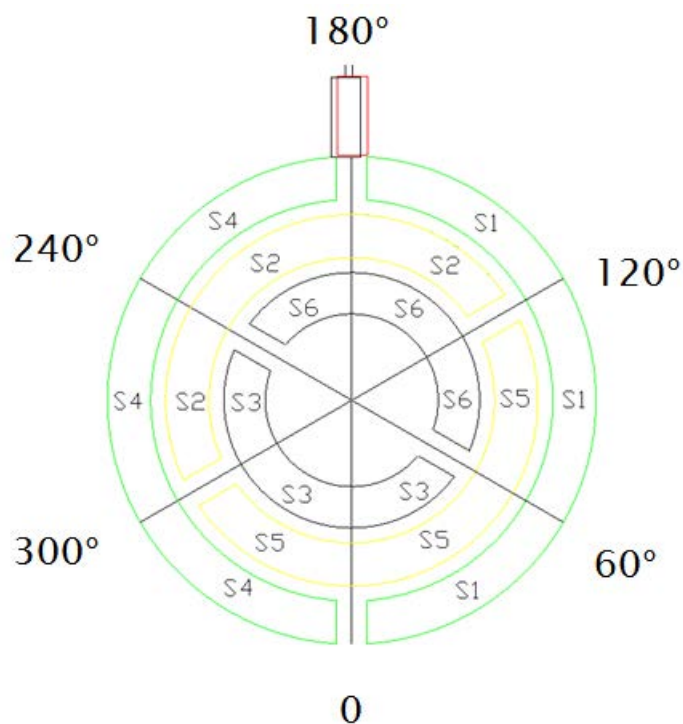
- S1, S2, S3, S4, S5 e S6 que representam os interruptores.
- D1, D2, D3, D4, D5 e D6 são os diodos.



- A, B e C são os enrolamentos.

A cada instante três interruptores entram em condução, sendo dois deles no grupo positivo e o terceiro no grupo negativo, ou ao contrário, sendo dois deles no grupo negativo e o terceiro no grupo positivo. Cada chave fica habilitada durante  $180^\circ$  ocorrendo uma comutação a cada  $60^\circ$ . Esta comutação pode ser representada de acordo com o esquema na Figura 5.

Figura 5 - Comando de pulsos do inversor trifásico tipo  $180^\circ$



Fonte: (Elaborado pelo autor)

Na Figura 5, pode-se observar que a cada comutação de  $60^\circ$ , há uma sequência de interruptores que estão conduzindo.

1ª Etapa (0 a  $60^\circ$ ): S1 S5 S3 estão habilitados.

2ª Etapa ( $60^\circ$  a  $120^\circ$ ): S1 S5 S6 estão habilitados.

3ª Etapa ( $120^\circ$  a  $180^\circ$ ): S1 S2 S6 estão habilitados.

4ª Etapa ( $180^\circ$  a  $240^\circ$ ): S4 S2 S6 estão habilitados.

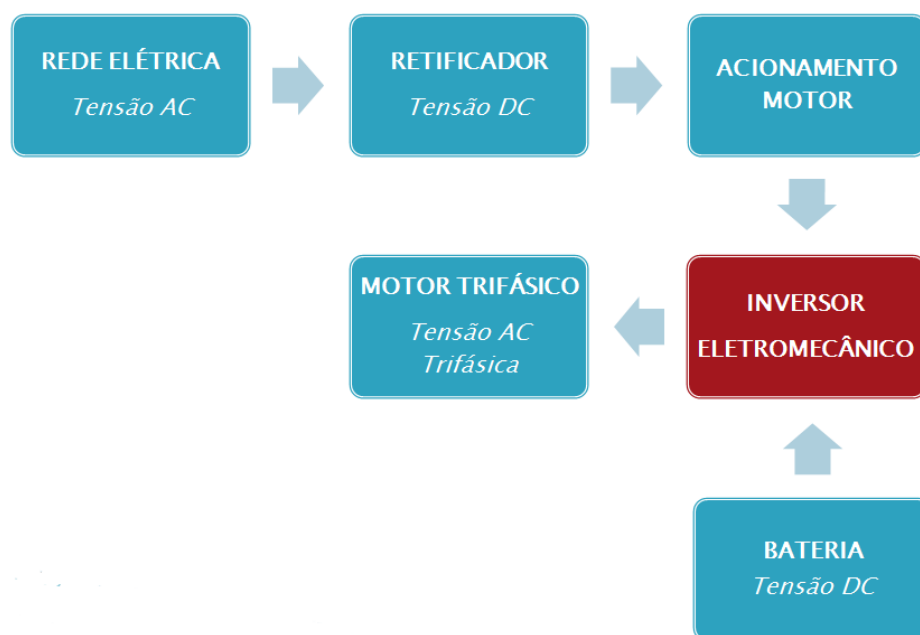
5ª Etapa ( $240^\circ$  a  $300^\circ$ ): S4 S2 S3 estão habilitados.

6ª Etapa ( $300^\circ$  a  $360^\circ$ ): S4 S5 S3 estão habilitados.

### 3 INVERSOR TRIFÁSICO ELETROMECAÂNICO

A conversão de energia do inversor trifásico eletromecânico segue a mesma linha do inversor de frequência eletrônico com algumas diferenças como estão indicadas na Figura 6.

Figura 6 - Inversor trifásico eletromecânico



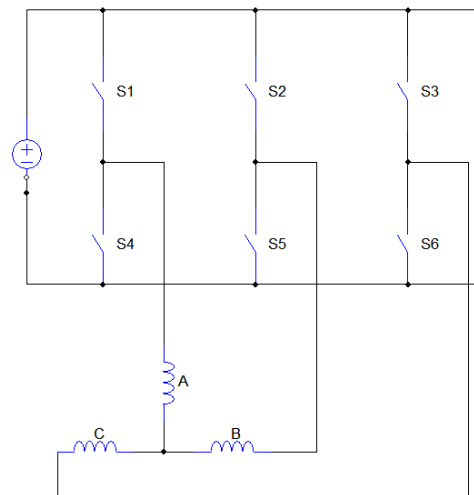
Fonte: (Elaborado pelo autor)

A partir do esquema mostrado na Figura 6, pode-se observar que a tensão DC proveniente da bateria é transformada em tensão AC trifásica, esta utilizada para o acionamento do motor trifásico.

#### 3.1 CIRCUITO ELÉTRICO

Para melhor entender o funcionamento do inversor eletromecânico será demonstrado, isoladamente, cada etapa do acionamento dos interruptores do circuito elétrico do sistema, este mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Circuito elétrico do inversor eletromecânico



Fonte: (Elaborado pelo autor)

O circuito elétrico é composto por:

- uma fonte de tensão contínua;
- seis chaves ou interruptores representadas por S1, S2, S3, S4, S5 e S6.
- Três enrolamentos representados por A, B e C.

### 3.2 SEQUÊNCIA DOS INTERRUPTORES

Como mencionado na seção 2.3.1 deste trabalho, os interruptores conduzem de acordo com uma sequência pré-determinada. Abaixo pode-se observar a condução dos interruptores de acordo com a sequência pré-estabelecida:

1ª Etapa: S1 S5 S3

2ª Etapa: S1 S5 S6

3ª Etapa: S1 S2 S6

4ª Etapa: S4 S2 S6

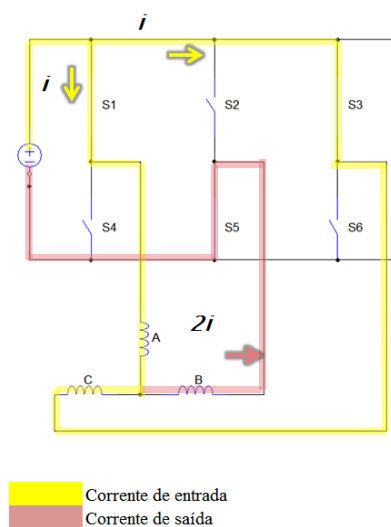
5ª Etapa: S4 S2 S3

6ª Etapa: S4 S5 S3

As etapas acima podem ser respectivamente representadas no circuito elétrico de acordo com as Figuras 8, 9, 10, 11, 12 e 13.

Na Figura 8 temos os interruptores S1, S5 e S3 conduzindo, onde  $i$  representa a corrente de entrada em cada ramo e  $2i$  representa a corrente de saída.

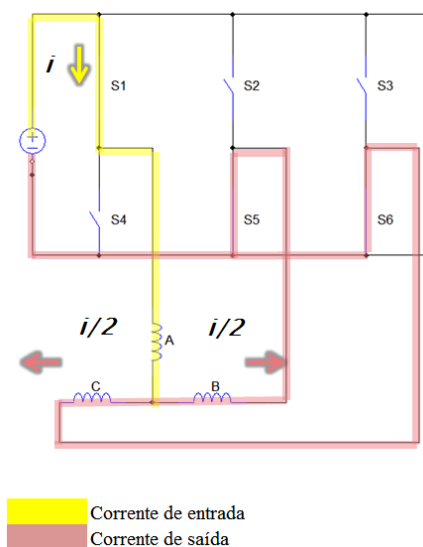
Figura 8 - 1ª etapa de condução dos interruptores



Fonte: (Elaborado pelo autor)

Na Figura 9 temos os interruptores S1, S5 e S6 conduzindo, onde  $i$  representa a corrente de entrada e  $i/2$  representa a corrente de saída em cada ramo.

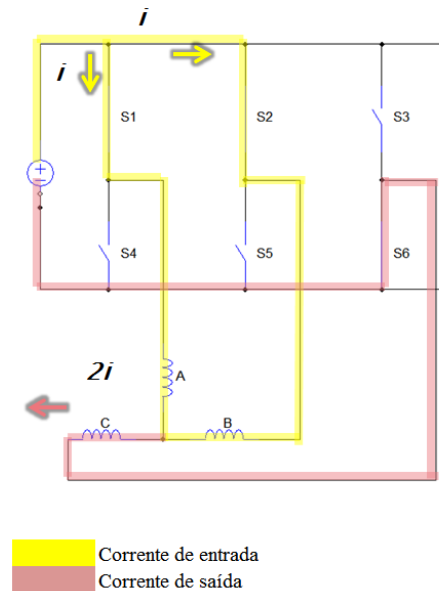
Figura 9 - 2ª etapa de condução dos interruptores



Fonte: (Elaborado pelo autor)

Na Figura 10 temos os interruptores S1, S2 e S6 conduzindo, onde  $i$  representa a corrente de entrada em cada ramo e  $2i$  representa a corrente de saída.

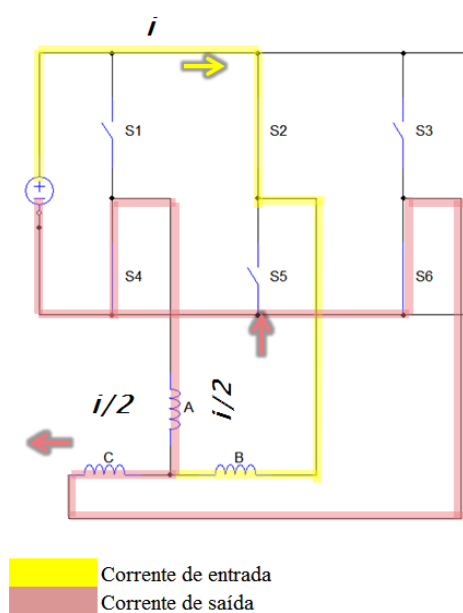
Figura 10 - 3ª etapa de condução dos interruptores



Fonte: (Elaborado pelo autor)

Na Figura 11 temos os interruptores S4, S2 e S6 conduzindo, onde  $i$  representa a corrente de entrada e  $i/2$  representa a corrente de saída em cada ramo.

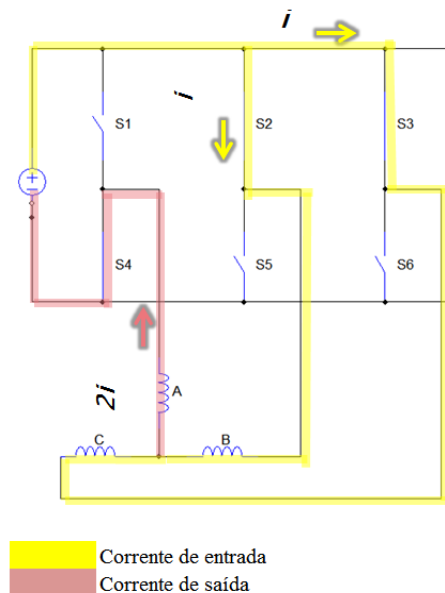
Figura 11 - 4ª etapa de condução dos interruptores



Fonte: (Elaborado pelo autor)

Na Figura 12 temos os interruptores S4, S2 e S3 conduzindo, onde  $i$  representa a corrente de entrada em cada ramo e  $2i$  representa a corrente de saída.

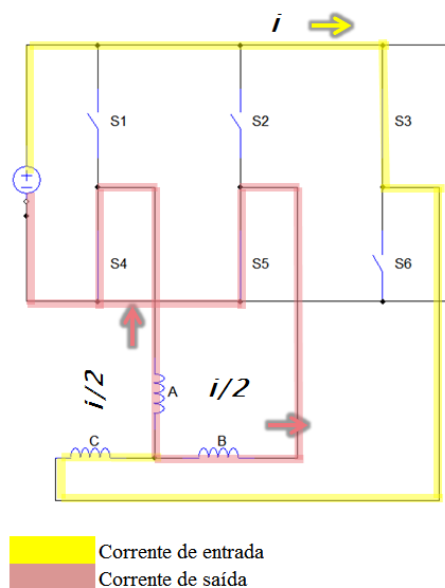
Figura 12 - 5ª etapa de condução dos interruptores



Fonte: (Elaborado pelo autor)

Na Figura 13 temos os interruptores S4, S5 e S3 conduzindo, onde  $i$  representa a corrente de entrada e  $i/2$  representa a corrente de saída em cada ramo.

Figura 13 - 6ª etapa de condução dos interruptores



Fonte: (Elaborado pelo autor)

Vale ressaltar que, conforme mostrado acima, a corrente pode se comportar de duas maneiras:

1. A intensidade da corrente de saída é a metade da intensidade da corrente de entrada;
2. A intensidade da corrente de saída é o dobro da intensidade da corrente de entrada.

Essas duas situações ocorrem devido aos enrolamentos serem iguais.

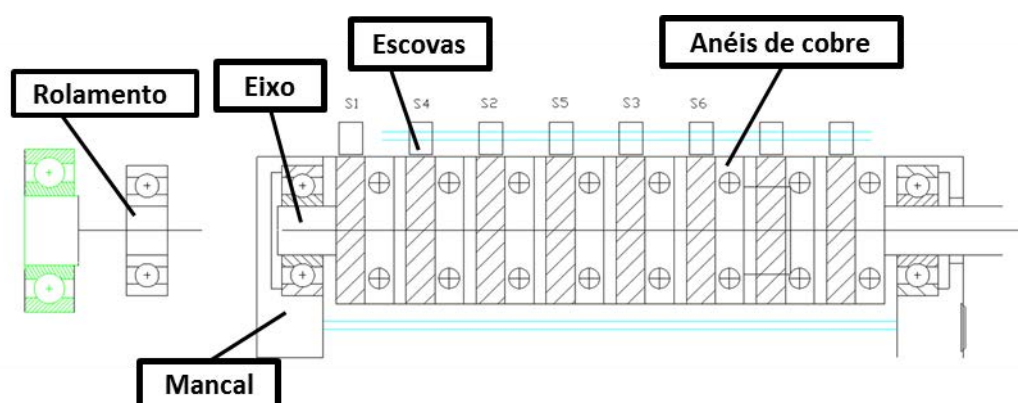
## 4 PROJETO INVERSOR ELETROMECHANICO

Após o embasamento teórico necessário adquirido deve-se montar todo o conjunto do inversor na bancada de testes projetada e então realizar os testes. Mas para isso algumas etapas foram realizadas.

### 4.1 PRÉ-DIMENSIONAMENTO E DESENHO DO PROJETO

Os primeiros cálculos foram desenvolvidos utilizando os dados iniciais de projeto, ou seja, a estrutura do circuito elétrico e componentes do inversor. Utilizando-se os cálculos preliminares e as decisões sobre cada elemento de máquina a ser utilizado iniciou-se o desenho de conjunto. O inversor eletromecânico foi desenhado utilizando o *software* AutoCAD conforme a Figura 14.

Figura 14 - Desenho de conjunto do inversor eletromecânico



Fonte: (Elaborado pelo autor)

### 4.2 CONSTRUÇÃO DO INVERSOR ELETROMECHANICO

Com o material reunido no Departamento de Engenharia Mecânica foi possível fazer a montagem dos componentes do inversor eletromecânico. Vale ressaltar que o material foi obtido a partir de sucata e estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 - Material utilizado para construção do inversor

| MATERIAL          | QUANTIDADE |
|-------------------|------------|
| Placa de acrílico | 02         |
| Mancal de celeron | 02         |
| Correia dentada   | 01         |
| Polia dentada     | 02         |

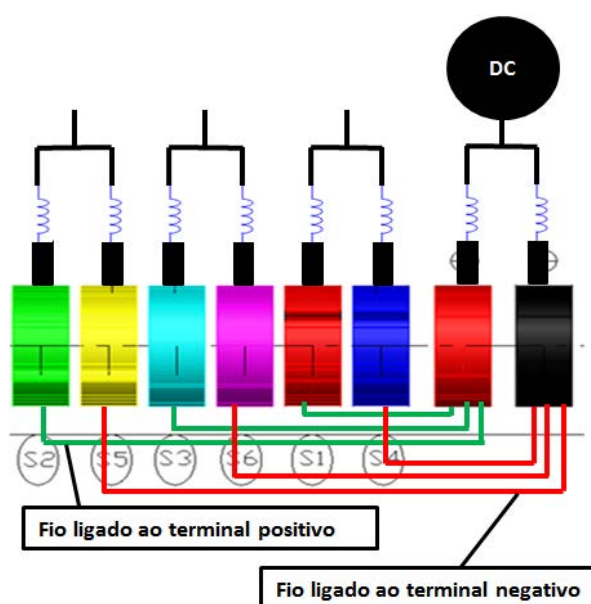


|                     |    |
|---------------------|----|
| Pino                | 01 |
| Rolamento de esfera | 02 |
| Eixo de Nylon       | 01 |
| Tubo de cobre       | 01 |
| Parafusos           | 20 |
| Fio de cobre        | 08 |
| Escova de grafite   | 08 |
| Molas               | 08 |

Fonte: (Elaborado pelo autor)

O inversor eletromecânico foi construído da seguinte maneira: primeiramente furou-se o eixo de nylon axialmente. O eixo foi revestido com o tubo de cobre e realizaram-se furos, agora, na direção radial, que serviram posteriormente para passar os fios e fixar os parafusos. Cortou-se o tubo de forma que obtivesse oito anéis. Prendeu-se com parafusos para que eles não ficassem soltos. Então se amarrou os três fios de cobre ao parafuso do terminal negativo e depois os outros três ao parafuso do terminal positivo. Optou-se por amarrar o fio de cobre aos parafusos ao invés de soldar, pois a área superficial dos anéis era consideravelmente grande para o ferro de solda aquecer (este não chegava à temperatura de 300°C). Posteriormente passou-se cada fio ligado aos terminais por dentro do eixo e com auxílio de uma pinça eles foram puxados nos respectivos furos de cada anel para prendê-los nos parafusos. Assim estabeleceu-se o contato como representado na Figura 15.

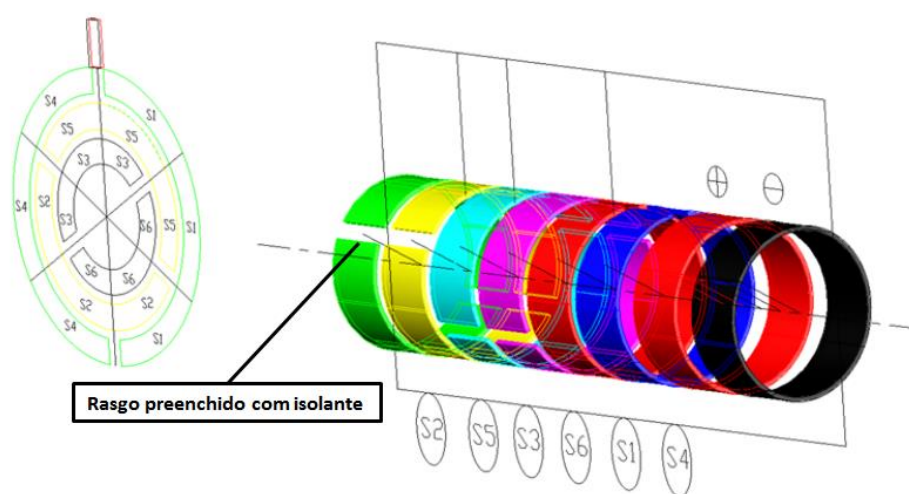
Figura 15 – Disposição dos fios do inversor eletromecânico.



Fonte: (Elaborado pelo autor)

O inversor eletromecânico foi projetado de forma que respeitasse a sequência dos interruptores mostrada anteriormente no Capítulo 03 deste trabalho. Para que essa sequência seja respeitada, a metade dos anéis deve ser condutora e a outra metade isolante (assim se respeita a condução de  $180^\circ$ ). Para isso, também se cortou os anéis na metade e preencheu-se o rasgo formado com material isolante. Pode-se ver melhor o inversor nesta etapa na Figura 16.

Figura 16 – Disposição dos anéis do inversor eletromecânico

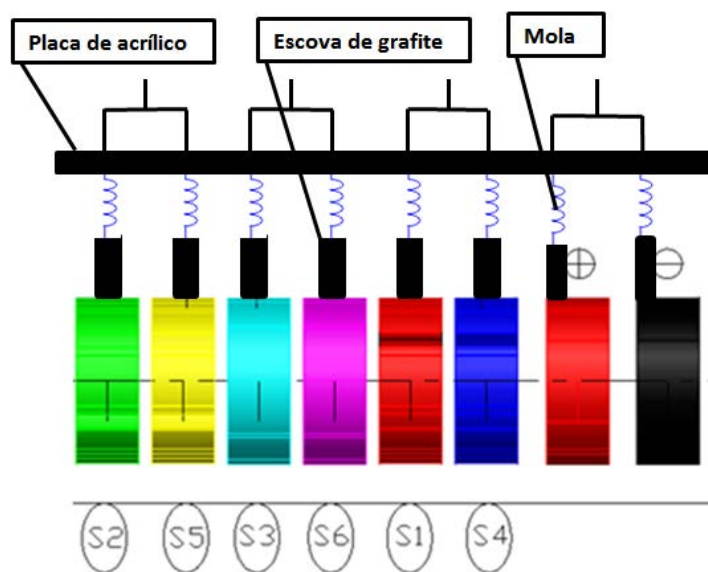


Fonte: (Elaborado pelo autor)

Com o auxílio de outra placa de acrílico funcionando como suporte, fez-se oito furos para passar as escovas de grafite. Estas foram presas à placa através de molas como representadas na Figura 17.

O inversor eletromecânico rotaciona porque está ligado ao motor DC que transmite movimento ao sistema através do eixo. Desta forma, com as escovas já em contato com os anéis, o sistema pode seguir fielmente, a cada instante, as etapas pré-estabelecida dos interruptores e realizar a comutação dos mesmos de acordo com a sequência já vista anteriormente.

Figura 17 - Disposição das escovas de contato do inversor eletromecânico



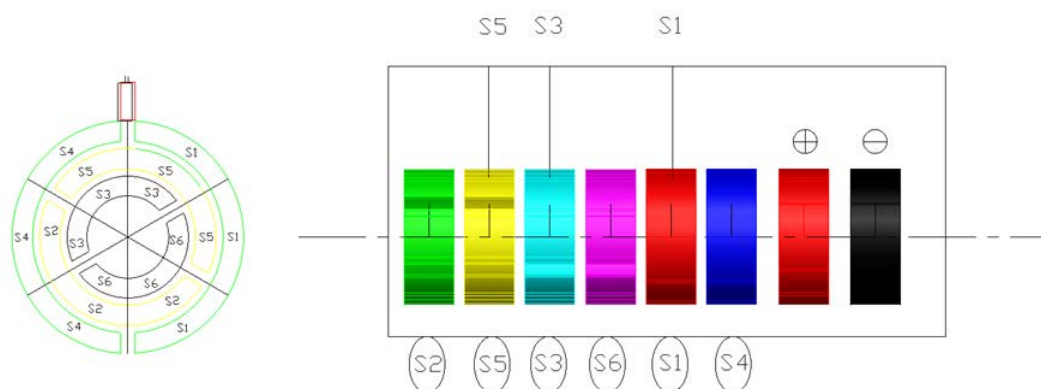
Fonte: (Elaborado pelo autor)

#### 4.3 SEQUÊNCIA DOS INTERRUPTORES NO ESPAÇO

De acordo com a seção 3.2 deste trabalho, a sequência dos interruptores no espaço é respeitada e cada etapa é representada nas Figuras 18, 19, 20, 21, 22 e 23.

Portanto, na Figura 18 temos os interruptores S1, S5 e S3 conduzindo.

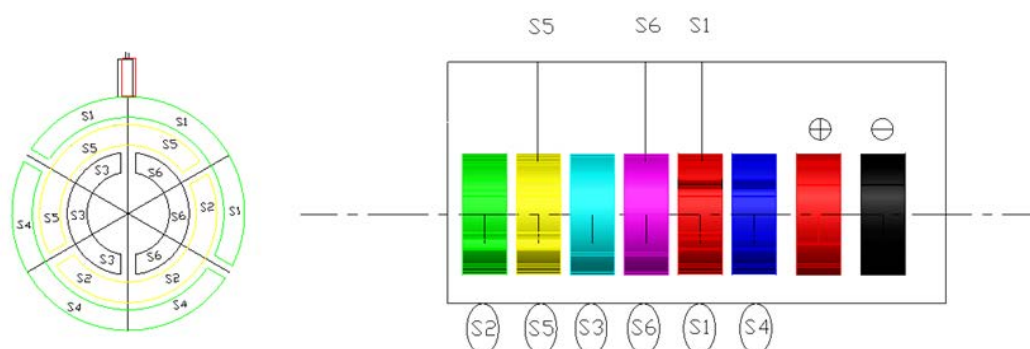
Figura 18 - 1ª etapa de condução dos interruptores



Fonte: (Elaborado pelo autor)

Na Figura 19 temos os interruptores S1, S5 e S6 conduzindo.

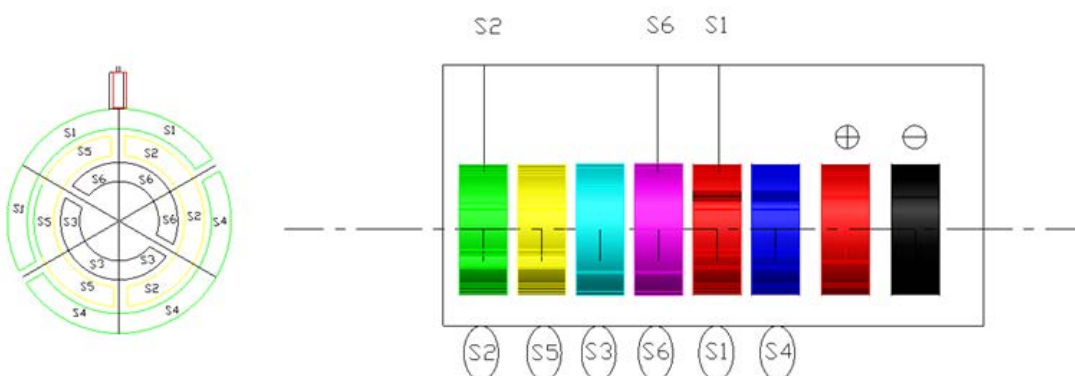
Figura 19 - 2ª etapa de condução dos interruptores



Fonte: (Elaborado pelo autor)

Na Figura 20 temos os interruptores S1, S2 e S6 conduzindo.

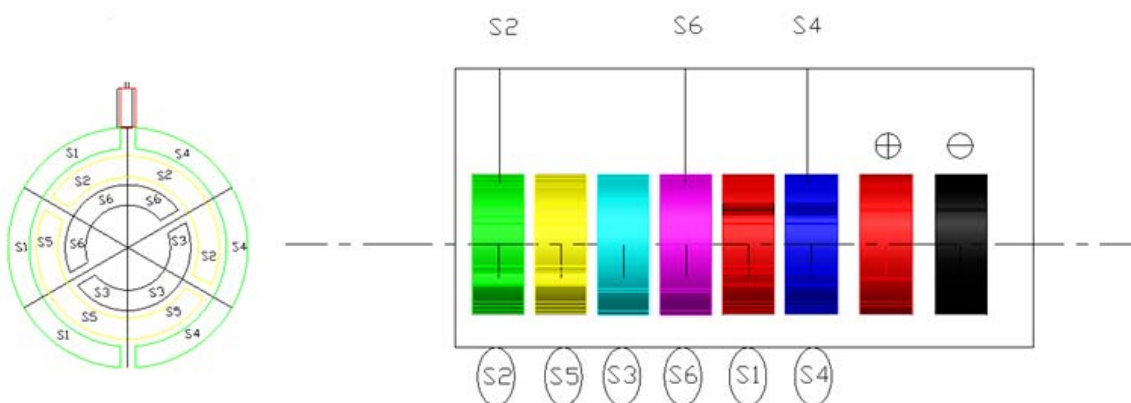
Figura 20 - 3ª etapa de condução dos interruptores



Fonte: (Elaborado pelo autor)

Na Figura 21 temos os interruptores S4, S2 e S6 conduzindo.

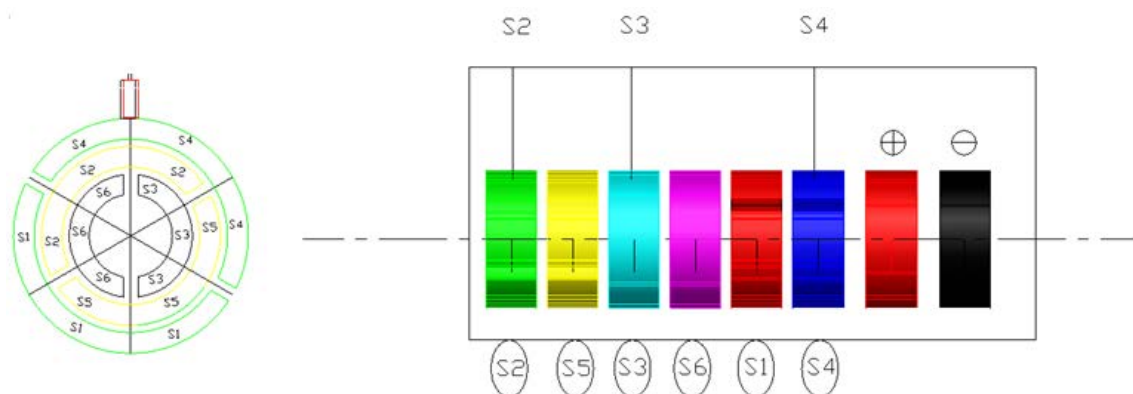
Figura 21 - 4ª etapa de condução dos interruptores



Fonte: (Elaborado pelo autor)

Na Figura 22 temos os interruptores S4, S2 e S3 conduzindo.

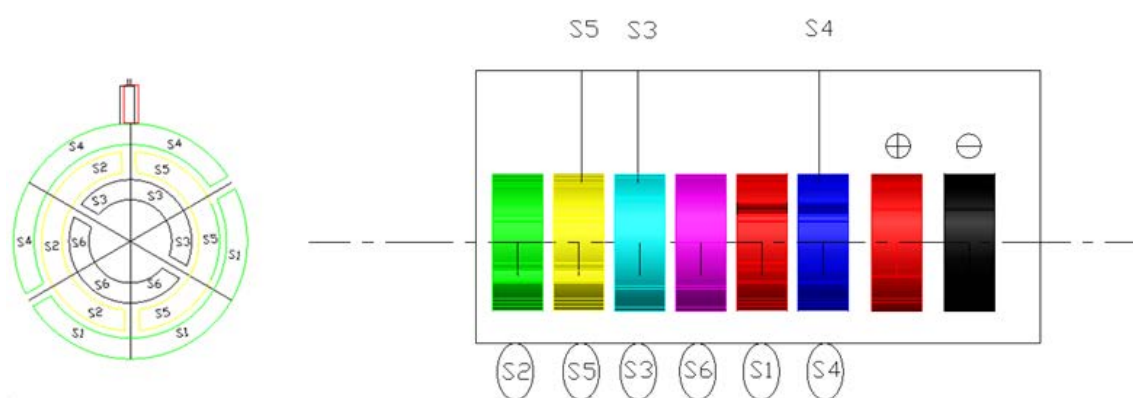
Figura 22 - 5ª etapa de condução dos interruptores



Fonte: (Elaborado pelo autor)

Na Figura 23 temos os interruptores S4, S5 e S3 conduzindo.

Figura 23 - 6ª etapa de condução dos interruptores



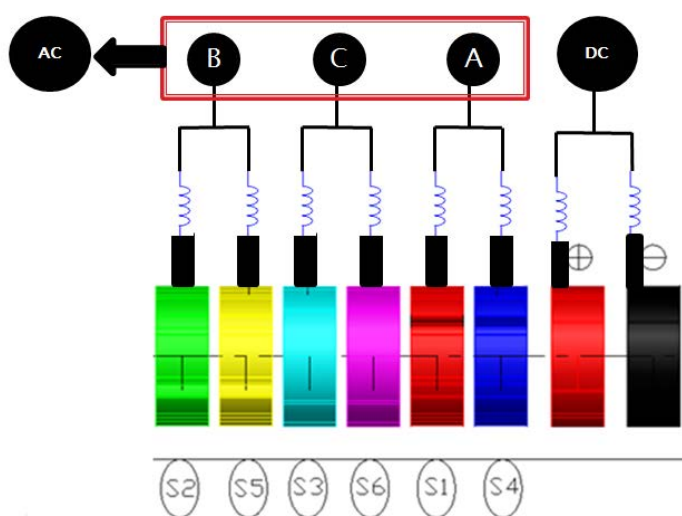
Fonte: (Elaborado pelo autor)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o conjunto do inversor montado na bancada de testes projetada obteve-se a tensão alternada trifásica como era previsto. A tensão alternada foi utilizada para o acionamento de um motor de HD.

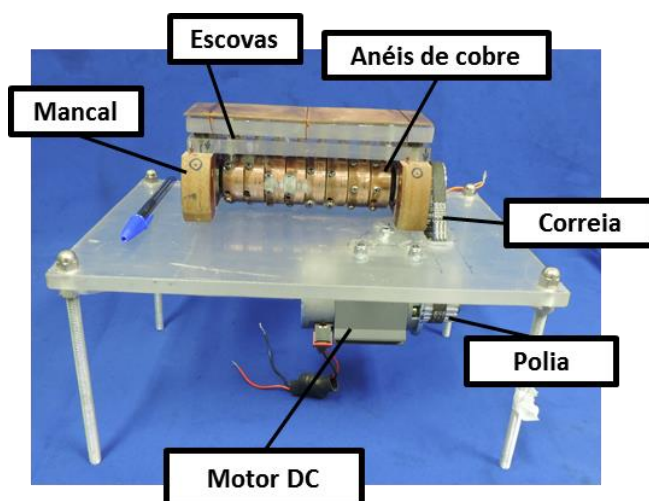
Na Figura 24 está representado o inversor eletromecânico. Há a conversão de energia proveniente da fonte DC em tensão AC trifásica. A saída trifásica é obtida devido aos enrolamentos representados por A, B e C ligados em estrela.

Figura 24 - Obtenção da tensão alternada trifásica



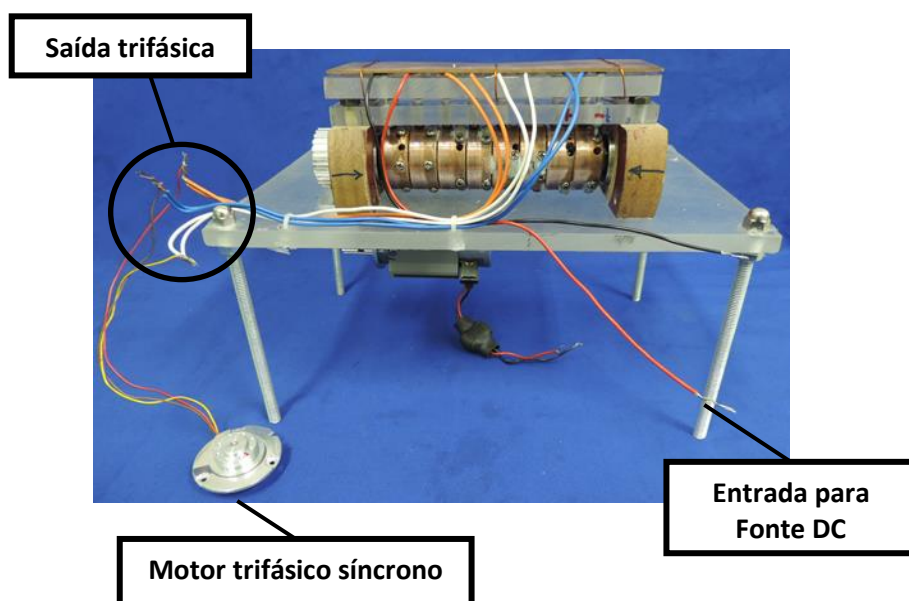
Fonte: (Elaborado pelo autor)

Figura 25 - Inversor eletromecânico



Fonte: (Elaborado pelo autor)

Figura 26 - Micromotor trifásico síncrono



Fonte: (Elaborado pelo autor)

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo desta monografia foi propor um sistema eletromecânico para obter a tensão trifásica alternada a partir de uma fonte de tensão contínua. Após a construção do inversor, e finalizada a fase de testes (abordada no Capítulo 5), pode-se considerar que o objetivo desejado no início do trabalho foi alcançado com êxito.

No Capítulo 2 e 3 desta monografia, introduziram-se os conceitos fundamentais dos conversores CC-CA. Através de revisão bibliográfica, o funcionamento do circuito eletrônico dos inversores de frequência foi descrito, para fornecer a fundamentação teórica necessária ao projeto e construção do inversor eletromecânico. Cada etapa das sequências dos interruptores do inversor eletrônico tipo seis passos é demonstrada para comparar como as etapas do inversor eletromecânico devem ser conduzidas.

No capítulo 4, cujo desenvolvimento está relacionado à construção do inversor, pôde-se observar que não existiram muitos obstáculos porque todo material necessário para a montagem do inversor eletromecânico já se encontrava no departamento de mecânica. Mas como em todo trabalho de pesquisa, tivemos algumas restrições relacionadas às disposições dos interruptores na construção do inversor, por ter sido construído por “tentativa e erro”.

Durante a pesquisa, os inversores de frequência eletrônicos foram estudados de forma que se conhecesse e entendesse melhor seu funcionamento. Desta forma o estudo tátil-visual de cada componente foi importante. Ressalta-se, ainda, que os resultados obtidos mostram que a metodologia aplicada teve extrema importância, uma vez que ainda não se tinha notícia de pesquisa neste sentido.

Com a elaboração deste trabalho foi possível conhecer às variações de conversão de energia as quais são abordadas pela área da Eletrônica de Potência. Também foi possível conhecer a fundo a vertente do inversor de frequência do tipo Seis Passos 180°. Os circuitos convencional e eletrônico foram estudados e testados visando um bom conhecimento teórico e prático.

Além disso, foi possível estudar os elementos de projetos mecânicos, os quais foram utilizados para a construção do inversor. Os conhecimentos de Desenho Técnico



Mecânico também foram necessários já que os desenhos esquemáticos utilizando CAD serviram de embasamento para o projeto.

Sendo assim, conhecimentos importantes envolvendo a parte da Eletrônica de Potência e de Projeto Mecânico foram adquiridos e aprimorados. Este conhecimento serviu para que se pudesse escrever sobre o respectivo tema.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES PARA NOVAS PESQUISAS

Como os objetivos da pesquisa foram cumpridos, existe margem para estudar as possíveis aplicações e implementações do sistema inversor eletromecânico.

Primeiramente pode-se pensar na implementação do sistema para acionamento de grandes potências, ou seja, projetar e construir um inversor eletromecânico com dimensões maiores que a proposta neste trabalho.

Também há possibilidade de elaborar uma nova disposição do circuito elétrico do inversor, isto é, modificar a sequência dos interruptores representados pelos anéis no espaço, desta forma alterando o projeto e construção do mesmo.

Além disso, abre-se campo para estudos da outra vertente do inversor do tipo seis passos. Pode-se fazer a mesma pesquisa, projeto e construção do inversor trifásico 120°, no qual cada chave conduz por apenas 120°.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, Ashfaq. **Eletrônica de potência**. 2. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2000. 478 p.

ANTUNES, Fernando. Conversores CC-CA. In: \_\_\_\_\_. **Inversores**. 2013. cap. 7, f. 56 p. (Apostila do Curso de Engenharia Elétrica). Fortaleza: UFC, 2009. Disponível em: <<http://www.dee.ufc.br/~fantunes/inversores.ppt>>. Acesso em: 17 mai. 2009.

BATSCHAUER, Alessandro; RECH, Cassiano. **Eletrônica de potência**. 2009. 17 p. (Apostila da disciplina de Controle de Conversores Estáticos). Joinville: UDESC, 2009. Disponível em: <[www.joinville.udesc.br/portal/professores/batschauer/materiais/Inversor\\_trifasico.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/batschauer/materiais/Inversor_trifasico.pdf)> Acesso em: 15 set. 2016.

BRUMATTI, Marcio. **Eletrônica de potência**. 2005. 86 p. (Apostila da disciplina Automação Industrial). Espírito Santo: CFET, 2005. Disponível em: <[http://www.centecursos.com.br/var/upload/apostila\\_eletronica\\_potencia.pdf](http://www.centecursos.com.br/var/upload/apostila_eletronica_potencia.pdf)> Acesso em: 15 set. 2016

CANESIN, Carlos Alberto. Teoria Básica dos Inversores. In: \_\_\_\_\_. **Conversores CC-CA: inversores**. 2002. cap 9, 24 p. (Apostila da disciplina Eletrônica de potência 2). Ilha Solteira: UNESP, 2016. Disponível em: <<http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/lepnovo/curso2002/cap9.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2016

CORRADI, Junior R. **Eletrônica de potência**. 2011. 86 p. (Material didático da disciplina Eletrônica Industrial). Campinas: Colégio Técnico de Campinas, UNICAMP, 2011. Disponível em: <[http://www.corradi.junior.nom.br/eli\\_2011\\_apo.pdf](http://www.corradi.junior.nom.br/eli_2011_apo.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2016

ESTOFANERO, Hugo; HAUSMANN, Romeu; LAZZARIN, Telles B. In: \_\_\_\_\_. **Projeto de inversos monofásico**. 2007. 53 p. (Material didático da disciplina Projeto de Inversores). UFSC: 2007. Disponível em: <<http://ivobarbi.com/novo/wp-content/uploads/downloads/2015/08/PROJETOS-DE-INVERSORES.pdf>> Acesso em: 22 set. 2016

FERNÁNDEZ, Cristina et al. Conversión CC/CA. In: \_\_\_\_\_. **Inversores**. 2015. cap 6, 26 p. (Apostila da disciplina Introducción a la Electrónica de Potencia). Espanha: Universidad Carlos III de Madrid, 2015. Disponível em: <<http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/electronica-de-potencia/material-de-clase-1/MC-F-006.pdf>> Acesso em: 15 set. 2016

GALLANTE, Carlos; MENDES, Janilson. **Conversores CC-CA: inversores**. 2009. 15 p. (Material didático da disciplina Eletrônica de Potência). Osasco: Faculdade da Fundação Instituto Tecnológico de Osasco, 2009. Disponível em: <[https://www.passeidireto.com/arquivo/5270979/conversores\\_cc\\_ca](https://www.passeidireto.com/arquivo/5270979/conversores_cc_ca)>. Acesso em: 22 set. 2016

GUEDES, S D. **Projeto de inversor trifásico aplicado ao acionamento de motor de indução**. 2015. 67 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014074.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2016.

HARTMANN, R. I.; MUNIZ, M. C. **Projeto e implementação de um conversor CC-CA trifásico para acionamento e controle escalar de um motor de indução trifásico utilizando DSP**. 2007. 132 f. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <[http://www.daelt.ct.utfpr.edu.br/engenharia/tcc/monografia\\_conversor\\_escalar\\_2007.pdf](http://www.daelt.ct.utfpr.edu.br/engenharia/tcc/monografia_conversor_escalar_2007.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2016.

MASET, Enrique. Sistemas de Potencia Alimentados desde Continua. In:\_\_\_\_. **Inversores**. 2012. cap 11, 24 p. (Apostila da disciplina Introducción a la electrónica de Potencia). Espanha: Universitat de Valencia, 2012. Disponível em: <[http://www.uv.es/~emaset/iep00/temas/IEP11\\_0607.pdf](http://www.uv.es/~emaset/iep00/temas/IEP11_0607.pdf)> Acesso em: 15 set. 2016

MARTINS, D. C.; Barbi, I. **Introdução ao estudo dos conversores CC-CA**. Florianópolis: Edição dos Autores, 2005. 489 p.

MOHAN, Ned. UNDELAND, Tore M. **Power electronics: converters, applications and design**. 2. ed. Wiley India, 2007. 824 pag.

PACHECO, J O. **Desenvolvimento de um sistema didático para ensino de conversores CC-CA com monitoramento por microcontroladores**. 2012. 127 f. Monografia (Especialização em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <<http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2014/01/Juliano-de-Oliveira-Pacheco.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2016.

PETRY, Clóvis Antônio. **Características gerais e aplicações**. In\_\_\_\_: **Conversores CC-CA**. 2008. cap 32, 19 p. (Apostila da disciplina Conversores Estáticos). Santa Catarina: IFSC, 2008. Disponível em: <[http://professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia\\_CEFET/Conversores\\_Estaticos/2008\\_1/Aula\\_32.pdf](http://professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia_CEFET/Conversores_Estaticos/2008_1/Aula_32.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2016.

PETRY, Clóvis Antônio. Introdução a eletrônica de potência. In: \_\_\_\_\_. **Curso básico de eletrônica de potência**. 2013. cap 1, 21 p. (Apostila da disciplina Eletrônica de potência). Santa Catarina: IFSC, 2013. Disponível em: <[http://professorpetry.com.br/Ensino/Eletronica\\_Potencia/Capitulo\\_1.pdf](http://professorpetry.com.br/Ensino/Eletronica_Potencia/Capitulo_1.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2016.

POMILIO, J. A et al. Eletrônica de Potência para Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica. In: \_\_\_\_\_. **Conversores CC-CA: inversores**. cap 4, 15 p. (Material didático da disciplina Eletrônica de potência para geração, transmissão e distribuição de energia elétrica). Campinas: Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, 2012. Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/it744/CAP4.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2016

RASHID, Muhammad H. **Eletrônica de potência: circuitos, dispositivos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: MAKRON Books do Brasil Editora Ltda, 1999. 819 p.  
SIMAS, Eduardo. **Conversores de corrente contínua para corrente alternada**. In: \_\_\_\_\_. **Inversores**. 2013. cap 8, 54 p. (Apostila da disciplina Eletrônica de potência). Salvador: Escola Politécnica da UFBA, 2012. Disponível em: <<http://www.dee.eng.ufba.br/home/simas/08-ElePot-conversoresDC-AC.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2016.

WEG. **Guia de aplicação inversores de frequência**. 2. ed. Jaraguá do Sul: WEG, 2004. 192 p. Disponível em: <[http://www.mundoelétrico.com/downloads/Guia\\_de\\_Aplicacao\\_de\\_Inversores\\_de\\_Frequencia.pdf](http://www.mundoelétrico.com/downloads/Guia_de_Aplicacao_de_Inversores_de_Frequencia.pdf)>. Acesso em: 22 set. 2016