



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

IVANEIDE CASTRO PEREIRA

ESTUDO DE CONTROLE DE VELOCIDADE PARA UM MOTOR CC

MOSSORÓ - RN

2015

IVANEIDE CASTRO PEREIRA

ESTUDO DE CONTROLE DE VELOCIDADE PARA UM MOTOR CC

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Sc. Idalmir de Souza Queiroz Júnior.

MOSSORÓ – RN

2015

O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade de seus autores

Catálogo na Fonte

**Catálogo de Publicação na Fonte. UFERSA - BIBLIOTECA CENTRAL ORLANDO TEIXEIRA -
CAMPUS MOSSORÓ**

Pereira, Ivaneide Castro.

Estudo de controle de velocidade para um motor CC / Ivaneide Castro
Pereira. - Mossoró, 2015.

33f: il.

1. Motores. 2. Tensão no campo. 3. Motor CC. 4. Tensão na armadura.
5. Controle de velocidade. I. Título

RN/UFERSA/BOT/845

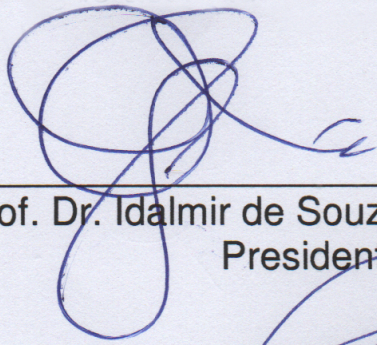
CDD 621.4 P436e

IVANEIDE CASTRO PEREIRA

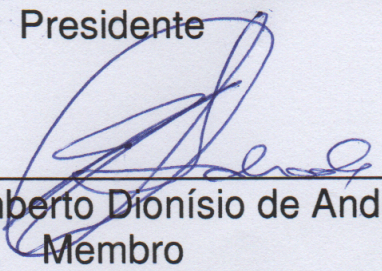
ESTUDO DE CONTROLE DE VELOCIDADE PARA UM MOTOR CC

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

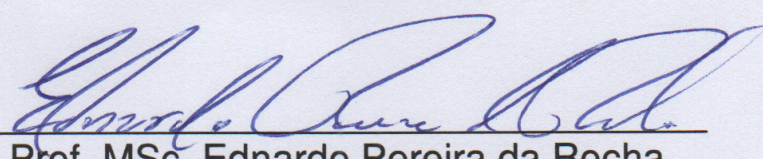
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior
Presidente



Prof. Dr. Humberto Dionísio de Andrade
Membro



Prof. MSc. Ednardo Pereira da Rocha
Membro

RESUMO

Este trabalho mostra o estudo do controle da velocidade de um motor CC, onde foi desenvolvido um método que melhor adequa-se às características nominais do motor. Com isso, estabeleceu-se a aplicação de tensões através de varivolts, que possuía em cada uma das três fases um diodo para retificar a tensão de saída uma tensão aplicada na armadura e outra no campo do motor. Verificou-se que o funcionamento do motor era iniciado quando se aplicava uma tensão na armadura, pois era gerado um campo magnético nos enrolamento de campo. A análise da velocidade foi realizada por um tacômetro, que media a velocidade em que o rotor encontrava-se à medida que as tensões eram variadas. Com os dados obtidos notou-se a possibilidade controlar a velocidade de um motor de corrente contínua por meio das tensões aplicadas no campo e armadura, mostrou também que com os dados obtidos a tensão na armadura é inversamente proporcional à tensão do campo.

Palavras chave: Motor CC, Tensão do campo, Tensão na armadura, Controle de velocidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Regra da mão direita para motores.	13
Figura 2 – Primeiro estágio.	14
Figura 3 – Segundo estágio.....	14
Figura 4 – Terceiro estágio	15
Figura 5 – Quarto estágio.	15
Figura 6 – Aspectos de construção de uma máquina cc mostrando o enrolamento de armadura.....	18
Figura 7- Retificadores monofásicos não-controlados, de onda-completa.	19
Figura 8- Retificador trifásico, onda completa, não controlado.	20
Figura 9- Formas de onda no lado CA para retificador trifásico, onda-completa, não controlado, alimentando diferentes tipos de carga.....	20
Figura 10 - Retificador trifásico semicontrolado (a) e controlado (b).....	21
Figura 11- Formas de onda de retificador trifásico semi-controlado. De cima para baixo: tensão instantânea no barramento CC ($v_o(t)$), com ângulo de 0° ; Corrente no diodo D1; Tensão da fase A ($v_{an}(t)$) com 30° ; Corrente na fase A, com 60°	22
Figura 12- Retificador trifásico com ponto médio	23
Figura 13- Formas de onda do retificador de ponto médio	23
Figura 14- A tensão não retificada pela ponte de diodo	24
Figura 15- A tensão retificada pela ponte de diodo	25
Figura 16- Varivolt.....	25
Figura 17- Características nominais do motor	26
Figura 18- Tacômetro	26
Figura 19- Tacômetro	27
Figura 20- Motor de corrente contínua ligada a dois varivolt	27

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico1- Resultado das aplicações de velocidade e tensão de campo.....	28
Gráfico 2-Resultado das aplicações da corrente de armadura e tensão de campo.....	29
Gráfico 3- Resultado das aplicações de uma tensão e corrente de campo.....	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	11
2.1	OBJETIVO GERAL.....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3	ASPECTOS TEÓRICOS.....	12
3.1	O MOTOR CC	12
3.1.1	Definição.....	12
3.1.2	Princípio de funcionamento	13
3.1.3	Tipos de ligação e características de funcionamento de motores de corrente contínua	15
3.1.3.1	Motor paralelo (shunt).....	16
3.1.3.2	Motor série	16
3.1.3.3	Motor série-paralelo (compound).....	17
3.1.4	Tensão em um motor cc	17
3.1.5	Fontes de corrente contínua	18
3.1.6	Retificadores.....	19
3.1.6.1	Retificadores não controlados	19
3.1.6.2	Retificadores não-controlados com entrada trifásica	20
3.1.6.3	Retificadores Controlados	21
3.1.6.4	Retificadores trifásicos	21
3.1.6.5	Retificador Trifásico de Meia Onda.....	23
4	METODOLOGIA	24
4.1	Fonte.....	24
4.2	Varivolt.....	25
4.3	Motor.....	26

4.4	Velocidade do motor versus as tensões de alimentação das bobinas de campo e de armadura.....	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
6	CONCLUSÕES	31
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1 INTRODUÇÃO

Atualmente um dos setores que requer maior atenção é o energético, por possuir grande importância no desenvolvimento de um país. Com o desenvolvimento e crescimento, busca-se cada vez mais meios que proporcionem obter energia de forma limpa, renovável e sustentável, é nesse foco que pesquisadores e estudiosos vem buscando alternativas para atender a essa expectativa. O setor industrial é uma das áreas que mais necessita das fontes energéticas, nessa área são empregados diversos equipamentos e máquinas que para seu funcionamento necessitam de eletricidade. Devido a esta necessidade as indústrias vem buscando equipamentos que não só utilize energia, mas que possuam facilidades em operações e venham a trazer maiores benefícios. Buscam-se métodos de controle de máquinas e equipamentos.

Dentre desses equipamentos tem-se os motores elétricos, que convertem energia elétrica em energia mecânica, sendo empregado em diversas áreas dentro da indústria.

Um motor muito utilizado é o motor de corrente contínua, por apresentar diversas características e inúmeras vantagens, uma delas é operar com velocidade de rotação variável de maneira muito simples, podendo-se obter um controle dessa velocidade.

O controle de velocidade desses motores pode ser feito de diversas maneiras, uma delas é através de um variador de tensão, que controla a tensão do motor, podendo assim aumentar ou diminuir sua velocidade proporcionalmente. Isso dependerá somente da alimentação do campo e da armadura.

Este trabalho apresenta a aplicação de um estudo referente ao motor de corrente continua, seu comportamento e funcionamento, e através de suas características, desenvolver uma fonte retificadora simples que visa obter um controle da velocidade de motor cc usando um transformador variador de tensão (tipo variac ou varivolt).

2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho é realizar o controle de velocidade de um motor de corrente contínua através de um variavolt e uma fonte de tensão cc simples.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir e projetar uma fonte de corrente continua para acoplar o variac.
- Realizar teste na fonte projetada, para saber se está adequada e atender as características do motor.
- Estudar uma forma simples de obter o controle da velocidade de um motor cc.

3 ASPECTOS TEÓRICOS

Neste referente trabalho serão abordados aspectos teóricos que possui pesquisas e aplicações necessárias para a discussão e validação científica de todos os resultados obtidos.

3.1 O MOTOR CC

3.1.1 Definição

O motor de corrente contínua é um conversor que transforma a energia elétrica em energia mecânica.

Ele é composto de duas partes: o rotor e o estator. O estator é formado por (WEG,2007):

Carcaça: que é o suporte de todo o conjunto e possui a finalidade de conduzir o fluxo magnético.

Pólos de excitação: onde é gerado o fluxo magnético. São formadas por condutores enrolados sobre núcleos de chapas de aço laminadas cujas extremidades possuem sapatas polares, que tem um formato que se ajusta a armadura.

Pólos de comutação: são percorridos por uma corrente de armadura e encontra-se numa região interpolar. Tem o papel de compensar o efeito da reação da armadura na região de comutação, evitando assim, que a linha neutra em carga se desloque, e com isso diminuindo a possibilidade de centelhamento.

Enrolamento de Compensação: É um tipo de enrolamento que se encontra distribuído na periferia da sapata polar e uma corrente de armadura o percorre. Tem a finalidade de compensar a reação da armadura, porém em toda periferia do rotor. E com isso evita que se tenham faíscas, devido à diferença de potencial entre as espiras, provocada por conta de uma distribuição não uniforme da indução no entreferro.

Conjunto Porta Escovas e Escovas: encontra-se montado de tal maneira que gire para ajustar-se de acordo com a zona neutra. As escovas são formadas de materiais condutores e que deslizam sobre o comutador quando este gira, onde são pressionadas por uma mola que promove a ligação elétrica entre a armadura e o exterior. No porta escovas é onde fica alojado as escovas.

Já o rotor é formado por (WEG,2007):

Rotor com Enrolamento: formadas por várias chapas de aço silício laminadas, com ranhuras axiais na periferia para fixar o enrolamento da armadura. Este enrolamento está em contato elétrico com as lâminas do comutador e encontra-se localizado no centro do interior da carcaça.

Comutador: tem a finalidade de transferir a energia ao enrolamento do rotor, é formado de lâminas de cobre isoladas uma das outras por meio de lâminas de mica.

Eixo: tem a função de transmitir a potência mecânica desenvolvida pelo motor.

3.1.2 Princípio de funcionamento

O motor de corrente contínua funciona com base na interação das forças que foram produzidas da interação entre o campo magnético e a corrente de armadura no rotor, que o sentido do condutor dependerá do sentido do campo e da corrente na armadura (regra de Fleming ou da mão direita) (WEG, 2007).

Ou seja, existem quatro estágios considerados fundamentais para uma análise do funcionamento de um motor cc, junto com uma variante da regra dos três dedos da mão direita para determinar em que sentido a rotação encontra-se, como mostrado na figura 1. (MÁQUINAS ELÉTRICAS, 2012)

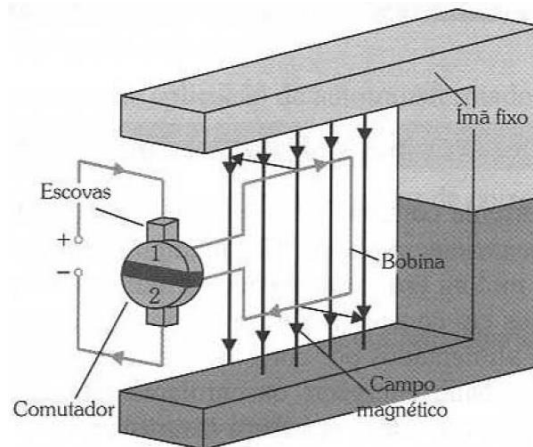
Figura 1- Regra da mão direita para motores



Fonte: (NASCIMENTO JUNIOR, 2012).

- 1) Primeiro estágio: a bobina da espira está posicionada paralela ao campo totalmente atingida pelo campo magnético que foi criado pelo ímã fixo. Pelas leis do eletromagnetismo, quando a espira é percorrida por uma corrente elétrica, ela produzirá outro campo magnético, porém dessa vez em torno da espira, o que provoca uma reação da bobina dentro das linhas de forças do campo fixo, determinada pela regra da mão direita para motores, figura 2.

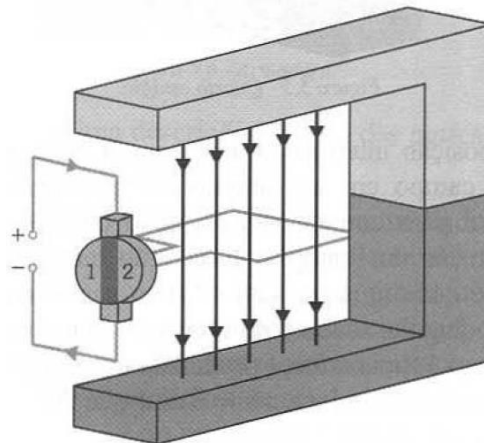
Figura 2- Primeiro estágio



Fonte: (NASCIMENTO JUNIOR, 2012).

- 2) Segundo estágio: a bobina está em uma posição que é pouco atingida pelas linhas de forças, e por conta desse giro, não há reação entre o campo fixo e a bobina. Porém, seu giro continua devido à ação da força anterior, e isto continua até o próximo estágio, figura 3.

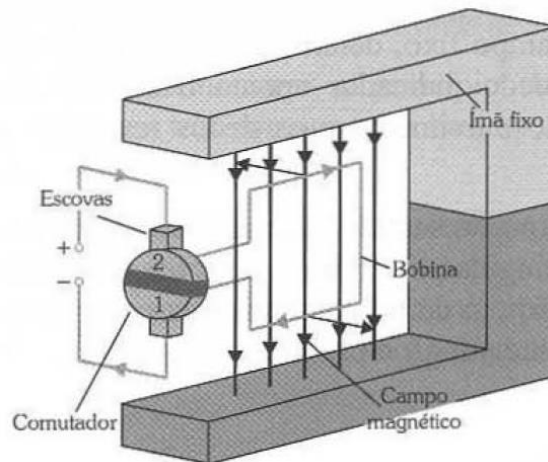
Figura 3- Segundo estágio



Fonte: (NASCIMENTO JUNIOR, 2012).

- 3) Terceiro estágio: a posição da bobina é invertida e entra o comutador, que tem a função de fazer a corrente circular em um único sentido. Na figura 4 observa-se que o comutador inverte as pontas da bobina, fazendo com que o polo positivo seja aplicado na extremidade superior, como representado na figura 2 (primeiro estágio). Isto proporciona a criação de um campo magnético quando a corrente é aplicada à bobina, este campo age como um campo magnético fixo (figura 4).

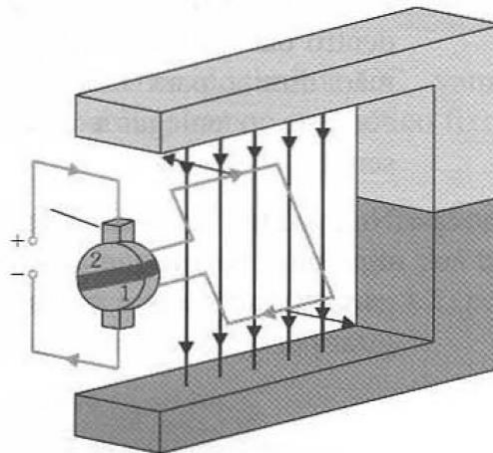
Figura 4- Terceiro estágio



Fonte: (NASCIMENTO JUNIOR, 2012).

- 4) Quarto estágio: a bobina encontra-se inclinada aproximadamente 30° com relação ao ângulo, numa posição intermediária. Neste estágio a bobina sofre continuamente interação dos campos (figura 5).

Figura 5- Quarto estágio



Fonte: (NASCIMENTO JUNIOR, 2012).

3.1.3 Tipos de ligação e características de funcionamento de motores de corrente contínua

A ligação de um motor de corrente contínua requer conhecimentos específicos. Para isso é feita separações dos tipos em que cada esquema de ligação se enquadra.

3.1.3.1 Motor paralelo (shunt)

O rotor e o estator encontram-se ligados em paralelo com a alimentação, o movimento de rotação e o torque são resultados da interação do campo magnético. Sendo o rotor constituído com um tipo de fio mais grosso e menos espiras que o estator, pode-se dizer que o rotor consome mais corrente (NASCIMENTO JUNIOR, 2012).

Como a ligação é feita em paralelo com a alimentação, se a tensão de alimentação não variar, a rotação será constante na ponta do eixo do motor, sem carga. Porém quando aplicado uma carga a esse motor, devido à resistência no enrolamento de armadura, ocorrerá uma queda tanto na velocidade quanto no aquecimento. A resistência influencia diretamente na velocidade, ou seja, quanto menor for a resistência da armadura, menos perdas em velocidade com o aumento da carga. Quando se impõe resistência mecânica ao eixo, provoca uma redução da FCEM e, conseqüentemente, o aumento da corrente na armadura para assim manter o torque (NASCIMENTO JUNIOR, 2012).

3.1.3.2 Motor série

Tanto o enrolamento do estator quanto o da armadura são conectados em série e ligados à alimentação, assim pode-se dizer que o campo magnético criado no estator dependerá da corrente aplicada ao enrolamento da armadura (NASCIMENTO JUNIOR, 2012).

Quando o motor é ligado sem uma carga, o campo magnético no estator dependerá da corrente absorvida. No momento que essa corrente for baixa, é induzida uma baixa FCEM na armadura pelo campo magnético, sendo considerado uma velocidade devido a corrente e a FEM na armadura. Quando a carga é aumentada, proporcionalmente aumenta-se a corrente de armadura e o campo do estator, e a velocidade cai consideravelmente (NASCIMENTO JUNIOR, 2012).

O motor série tem excelente torque comparado com o shunt, porém, possui uma regulação de tensão ruim, pois quando se aumenta a carga, há corrente também aumentará e com isso a queda de tensão, afetando o comportamento do campo neste enrolamento (NASCIMENTO JUNIOR, 2012).

3.1.3.3 Motor série-paralelo (compound)

O motor série-paralelo tem uma excelente regulação da velocidade do motor shunt, junto com um excelente torque de partida do motor série. A utilização desse tipo de motor está em aplicações onde se necessita de uma velocidade constante com grandes variações de cargas (NASCIMENTO JUNIOR, 2012).

Segundo (NASCIMENTO JUNIOR, 2012) “O motor é inicialmente conectado como série, mas com o enrolamento shunt em paralelo com o conjunto armadura e enrolamento série”.

O enrolamento shunt produz um campo magnético que possui a mesma direção e sentido ao campo que é produzido no enrolamento série. Isso faz com que o motor tenha um elevado torque com uma velocidade limitada e pouca variação de velocidade, mesmo quando a carga varia (NASCIMENTO JUNIOR, 2012).

Existem diversas maneira de ligações, dependendo da aplicação que se deseja utilizá-los.

Uma das aplicações é quando se liga o enrolamento shunt de maneira que produza um campo magnético que seja contrário ao campo magnético produzido no enrolamento série, quando esse enrolamento série é ativo irá ter um campo em oposição a este campo do enrolamento shunt, reduzindo o campo resultante, aumentando-se a velocidade, mas quando a carga é aumentada a velocidade sofre um decaimento, isto são as características do motor série (NASCIMENTO JUNIOR, 2012).

Porém possui certas limitações para determinadas aplicações, pois pode disparar sob certas condições, já que se a corrente da armadura aumenta com o aumento da carga, o campo de enrolamento também aumentará, estando o campo em oposição ao campo shunt, o fluxo total vai ser reduzido e com isso tem-se o aumento da velocidade e o motor pode disparar (NASCIMENTO JUNIOR, 2012).

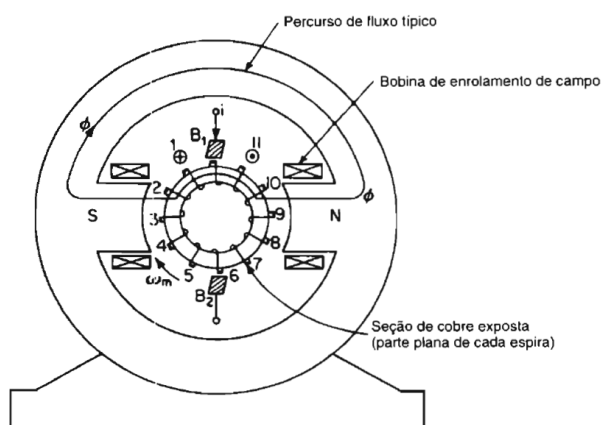
3.1.4 Tensão em um motor cc

A tensão induzida no enrolamento de armadura de um motor cc, junto com as escovas esta de acordo com a seguinte equação:

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} = \omega N \Phi \sin \omega t \quad (1)$$

Um dos componentes importantes em desempenhar a função que converte a tensão ca induzida na armadura em corrente contínua é o comutador. Para uma melhor análise é preciso observar a figura 6, onde seguindo as bobinas mostra que a escova B_2 move-se para a escova B_1 e a fem induzida está sempre apontada para fora do papel, debaixo do fluxo do pólo sul, isto é verdadeiro para qualquer tipo de bobina (DEL TORO, 2009).

Figura 6- Aspectos de construção de uma máquina cc mostrando o enrolamento de armadura.



Fonte: (DEL TORO, 2009).

Quando estabelecida a direção da tensão da bobina do lado esquerdo da armadura seguindo pelo enrolamento, através do sentido requerido do sinal da fem induzida na bobina 1 e termina na escova B_1 . Pode-se concluir que a escova B_1 está numa polaridade positiva fixa, enquanto a escova B_2 na negativa fixa. Em relação à escova B_1 , quando ela se move de B_1 para B_2 a tensão induzida na bobina, para retificar, pois quando o comutador age junto com as escovas, ele fixa o enrolamento da armadura no espaço, mesmo com a rotação. Ou seja, quando uma bobina se move de B_2 para B_1 pelo lado esquerdo ou de B_1 para B_2 pelo lado direito, a fem faz com que B_1 assuma tal polaridade fixa e que B_2 a polaridade oposta (DEL TORO, 2009).

3.1.5 Fontes de corrente contínua

A fonte de corrente contínua é um tipo de equipamento que fornece uma tensão para um determinado circuito.

Segundo (Boylestad, 2004) “Uma fonte ideal fornece uma tensão fixa a qualquer sistema eletroeletrônico, ainda que possam ocorrer variações na tensão conforme determinado pelo sistema”.

3.1.6 Retificadores

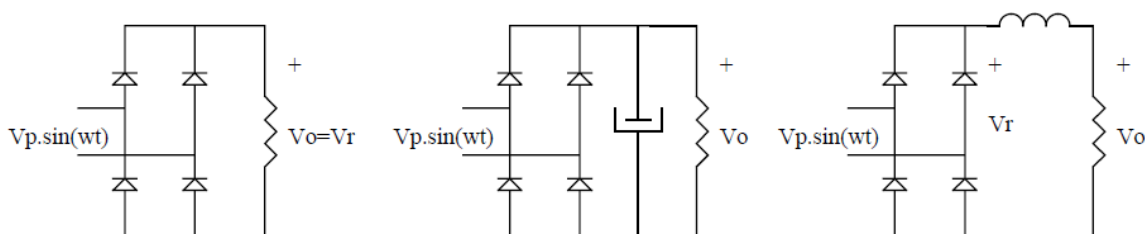
A energia elétrica necessita de uma rede de distribuição em corrente alternada para seu fornecimento, por conta da facilidade de adaptação do nível de tensão através de transformadores. Como a tensão contínua é necessária em muitas aplicações, é preciso a conversão de CA para CC, este processo é realizado por conversores chamados de retificadores (POMILIO,2002).

A classificação dos retificadores é feita a partir da capacidade de ajuste da tensão de saída, do número de fases da tensão alternada de entrada e em função do tipo de conexão dos elementos retificadores. Aqueles que utilizam diodo como elementos de retificação são os retificadores não-controlados, já os controlados utilizam tiristores ou transistores (POMILIO,2002).

3.1.6.1 Retificadores não controlados

A topologia de retificadores a diodo não-controlados é mostrada na figura 7, como não existem interruptores controláveis não há a possibilidade de se controlar a tensão de saída (POMILIO,2002).

Figura 7- Retificadores monofásicos não-controlados, de onda-completa.



Fonte: (POMILIO,2002).

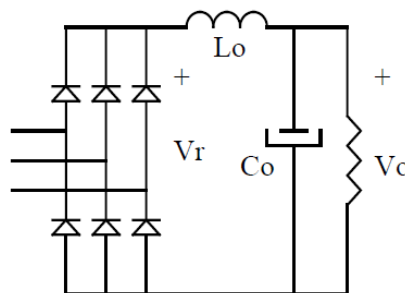
Existem três tipos básicos de carga: a resistiva, que possui as mesmas formas de onda tanto para tensão quanto para a corrente na saída do retificador, a capacitiva apresenta uma

tensão de saída alisada e eleva o seu valor médio em relação à carga resistiva, e a indutiva em que a carga se comporta como uma fonte de corrente (POMILIO,2002).

3.1.6.2 Retificadores não-controlados com entrada trifásica

São utilizados retificadores trifásicos quando a potência da carga alimentada se eleva, distribuindo a corrente entre as três fases, como esquematizado na figura 8 (POMILIO,2002).

Figura 8- Retificador trifásico, onda completa, não controlado.

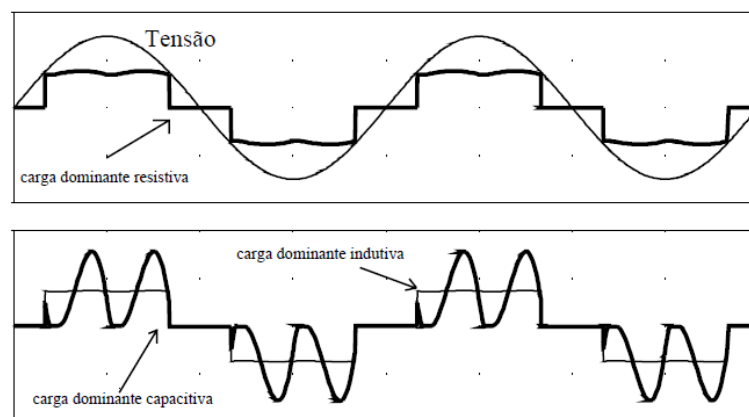


Fonte: (POMILIO,2002).

Nesse esquema a cada intervalo de 60° ocorre o fornecimento de corrente podendo ser por duas ou nas três fases. A fase que mostrar maior positividade poderá ter o diodo conectado a ela numa semi-ponte superior a condução. Já na semi-ponte inferior são conectados os diodos com tensão mais negativa (POMILIO,2002).

A figura 9 compreende as formas de ondas, considerando que o lado CC é composto por possui uma carga resistiva, indutiva ou capacitiva (POMILIO,2002).

Figura 9- Formas de onda no lado CA para retificador trifásico, onda-completa, não controlado, alimentando diferentes tipos de carga.



Fonte: (POMILIO,2002).

Analisando o primeiro caso observa-se a corrente na mesma forma de tensão sobre a carga, numa retificação de seis pulsos. A onda apresenta-se na forma retangular quando um filtro indutivo é utilizado, isto proporciona um alisamento da corrente. Porém quando um filtro capacitivo é utilizado têm-se picos de corrente, já quando aumenta a indutância provoca a redução desses picos (POMILIO,2002).

3.1.6.3 Retificadores Controlados

Os circuitos retificadores controlados são empregados em muitas aplicações industriais no acionamento de motores de corrente contínua, em estações retificadoras para alimentação de redes de transmissão CC, no acionamento de locomotivas, etc (POMILIO,2002).

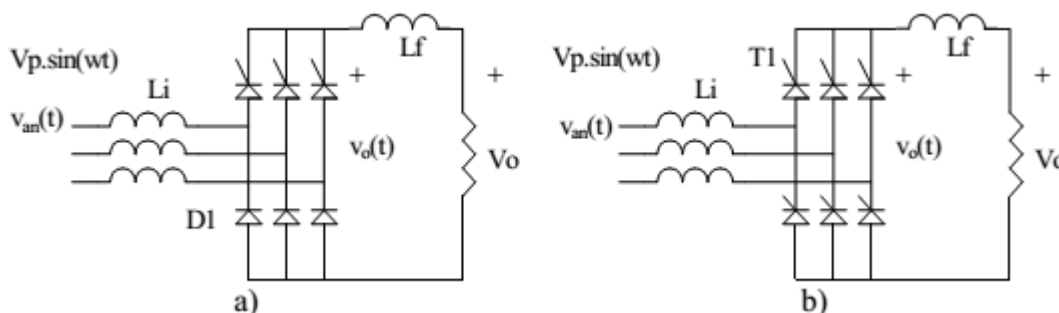
O uso de dois tiristores é a principal vantagem das pontes semi-controladas, sendo indicadas apenas quando a energia for somente a da fonte para a carga. Neste esquema a tensão de saída assume apenas valores positivos (POMILIO,2002).

Segundo (POMILLIO, 2002) “quando a carga for resistiva, a forma de onda da corrente de linha será a mesma da tensão sobre a carga (obviamente sem a retificação). Com carga indutiva, a corrente irá se alisando à medida que aumenta a constante de tempo elétrica da carga, tendo, no limite, uma forma plana. Vista da entrada, a corrente assume uma forma retangular”.

3.1.6.4 Retificadores trifásicos

Pode-se analisar através da figura 10 a) um sistema retificador semi-controlado, na figura 10 b) um sistema retificador totalmente controlado, e como observado no circuito trifásico não existe circuito simétrico, como no caso dos monofásicos (POMILIO,2002).

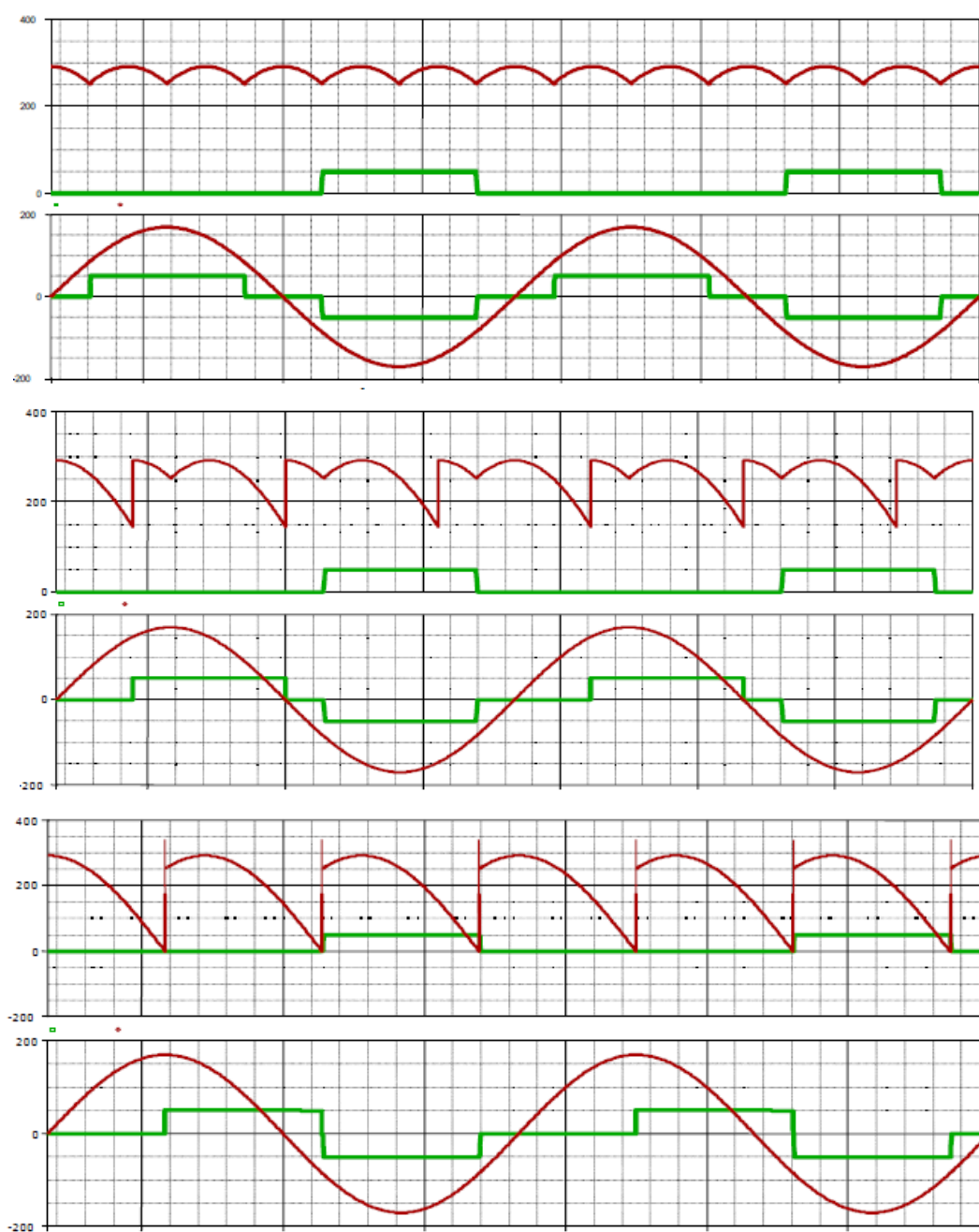
Figura 10 - Retificador trifásico semi-controlado (a) e controlado (b)



Fonte: (POMILIO,2002).

Já a figura 11 mostra formas de ângulos diferentes de disparo, que tem a indutância de entrada desprezada. Estes ângulos são definidos quando a ponte de tensão da determinada fase é maior que o valor absoluto, ou quando a tensão de linha é positiva. Na situação apresenta a carga é uma fonte de corrente, isto faz com que não ocorram alterações na corrente com o ângulo de disparo (POMILIO,2002).

Figura 11- Formas de onda de retificador trifásico semi-controlado. De cima para baixo: tensão instantânea no barramento CC ($v_o(t)$), com ângulo de 0° ; Corrente no diodo D1; Tensão da fase A ($v_{an}(t)$) com 30° ; Corrente na fase A, com 60° .

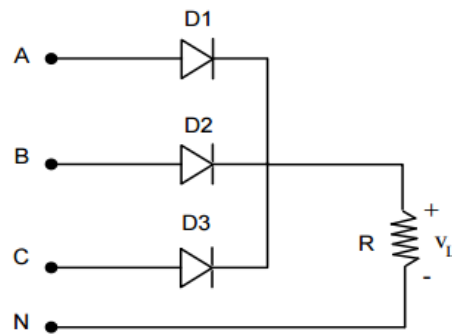


Fonte: (POMILIO,2002).

3.1.6.5 Retificador Trifásico de Meia Onda

No retificador trifásico de meia onda (figura 12) cada diodo está ligado a uma das fases da rede de alimentação trifásica, este tipo de retificador também é conhecido como retificador de ponto médio e o emprego do neutro é indispensável para o sistema de alimentação (CORRADI JUNIOR, 2011).

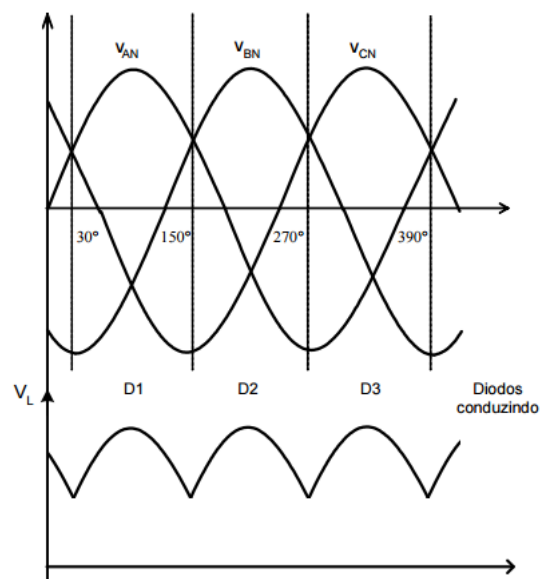
Figura 12- Retificador trifásico com ponto médio.



Fonte: (CORRADI JUNIOR, 2011).

De acordo com as formas de onda representadas na figura 13, durante um intervalo de tempo cada diodo do retificador conduz 120° elétricos da tensão da rede, e o diodo de condução é aquele conectado à fase com o maior valor de tensão instantânea (CORRADI JUNIOR, 2011).

Figura 13- Formas de onda do retificador de ponto médio.



Fonte: (CORRADI JUNIOR, 2011).

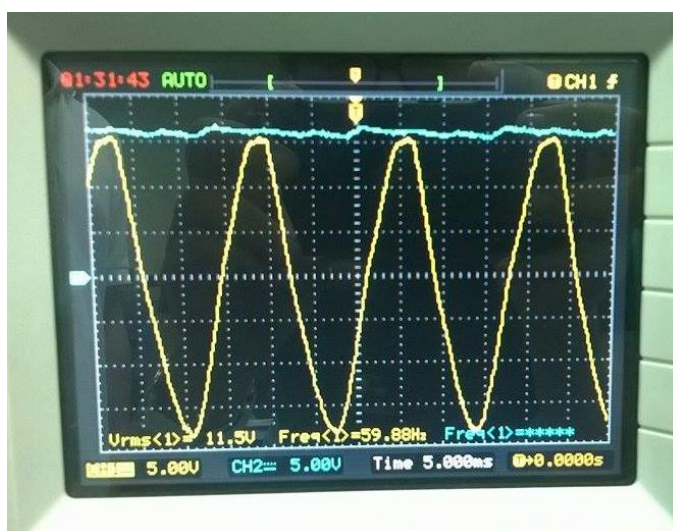
4 METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em duas partes, a primeira foi uma análise bibliográfica e a segunda, a realização de experimento em laboratório. Na análise bibliográfica foi realizada uma pesquisa na qual pôde-se estudar a melhor maneira de compreender sobre o referente assunto, e assim obter conhecimento de qual se utilizaria na parte prática e na fundamentação teórica. Já o laboratório baseou-se na aplicação de todas as pesquisas.

4.1 Fonte

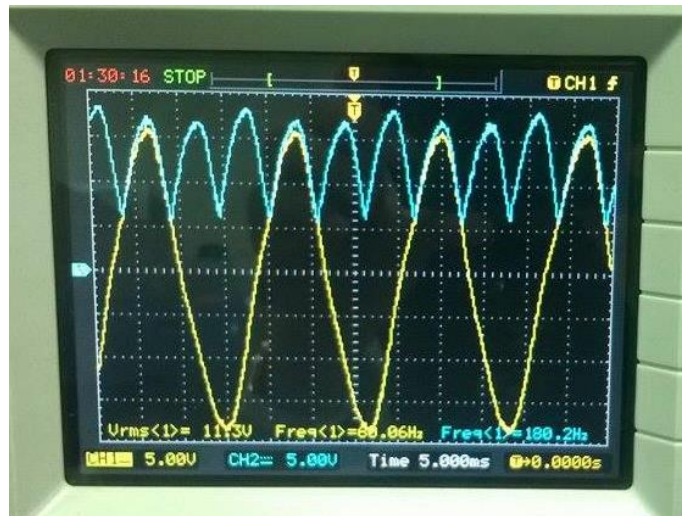
A fonte de corrente contínua do experimento foi projetada com base nas características que melhor se enquadrava no tipo do motor usado, além de se adequar ao que existe nos laboratórios de Engenharia de Energia. Dessa forma, utilizou-se dois varivolts com ligação trifásica, um alimentando o campo e o outro a armadura. Cada saída possui um diodo que estava conectado a uma das fases da rede de alimentação trifásica como representado na figura 12. Cada diodo ligado a uma fase da fonte trifásica retifica, proporcionando um alisamento da tensão de saída como mostrado na figura 14 e 15.

Figura 14- A tensão não retificada pela ponte diodo



Fonte: (Autoria própria,2015).

Figura 15- A tensão retificada pela ponte de diodos



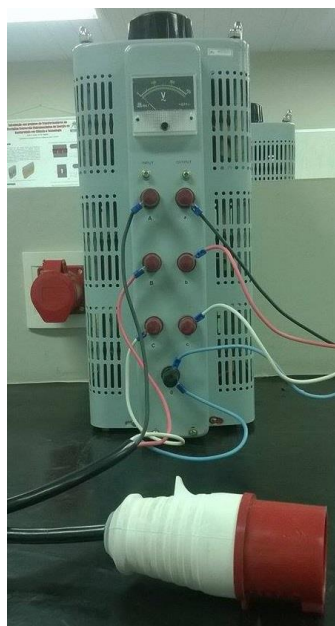
Fonte: (Autoria própria,2015)

4.2 Varivolt

O varivolt é um equipamento que recebe uma tensão da rede e esta tensão pode ser ajustada na sua saída.

Neste trabalho foram utilizados dois varivolts (figura 16), como acima mencionado, ambos ligados a uma ponte retificadora trifásica, onde cada uma de suas fases pode chegar a 380V, e o diodo é usado para controlar a tensão de saída. Este tipo de aparelho ajusta a tensão a partir do momento em que se gira o cursor na parte superior, ou seja, à medida que a tensão no varivolt é variada.

Figura 16 - Varivolt



Fonte: (Autoria própria,2015)

4.3 Motor

O motor elétrico utilizado foi o da marca Delorezo, modelo DC- DL1023P, cujas características nominais encontra-se relatadas em uma chapa na própria máquina (figura 17), a alimentação foi realizada como mencionado anteriormente, através dos varivolts com tensão de saída retificada, que estavam conectados à armadura e ao campo.

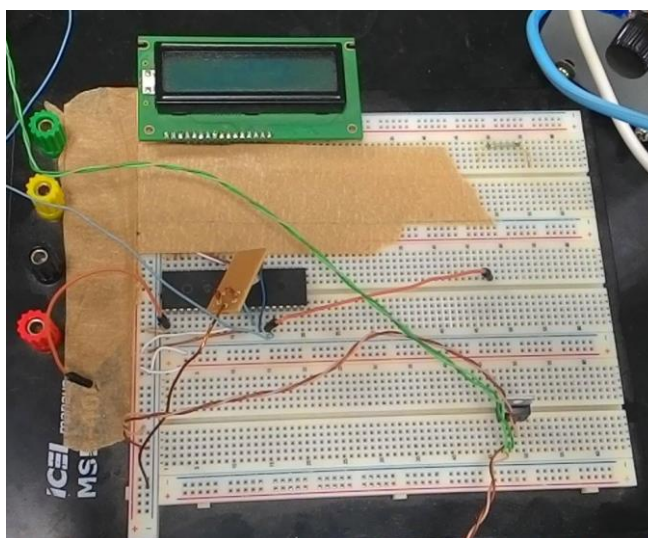
Figura 17- características nominais do motor



Fonte: (Autoria Própria,2015)

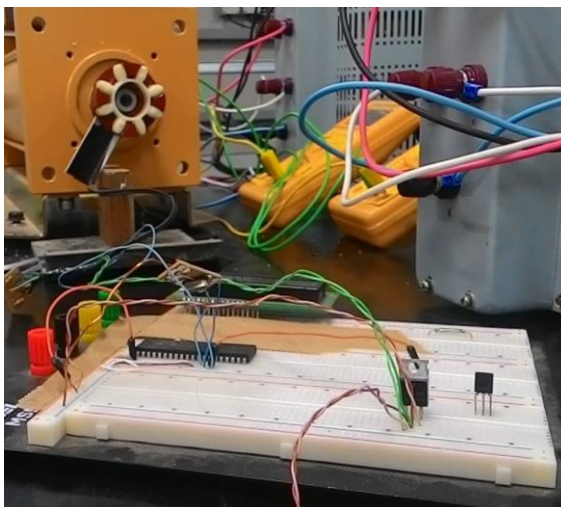
Através de um tacômetro (figura 18 e 19) feito pelo aluno Francisco Vander de Lima foi possível obter a medida de cada velocidade de rotação do motor quando variada a tensão na armadura e no campo.

Figura 18- Tacômetro



Fonte: (Autoria própria,2015)

Figura 19- Tacômetro



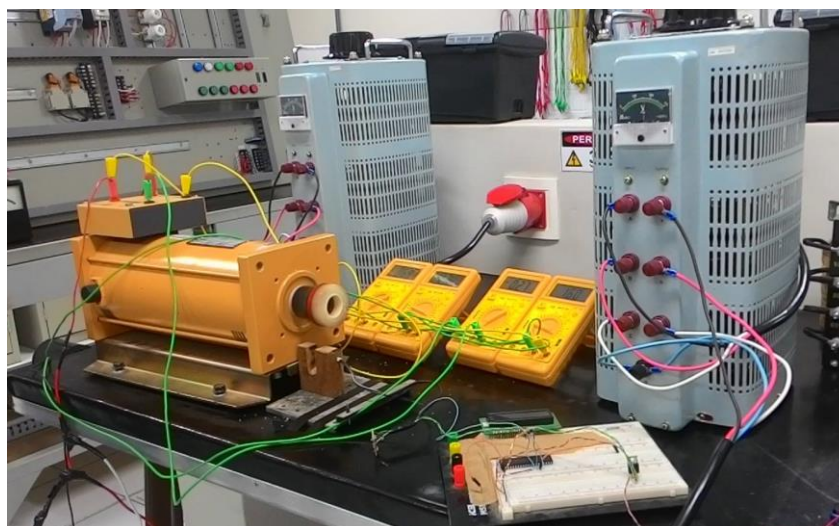
Fonte: (Autoria própria,2015)

4.4 Velocidade do motor versus as tensões de alimentação das bobinas de campo e de armadura.

O rotor e o estator encontram-se ligados em paralelo com a alimentação, o movimento de rotação e o torque são resultados da interação do campo magnético (NASCIMENTO JUNIOR, 2012).

A partir de cada equipamento utilizado pode-se obter o controle da velocidade do motor. Este controle foi realizado por meio da aplicação de tensões que alimentavam diretamente a armadura e o campo, que quando variada alteraria a velocidade e consequentemente a rotação do motor (figura 20).

Figura 20- motor de corrente contínua ligada a dois varivolts

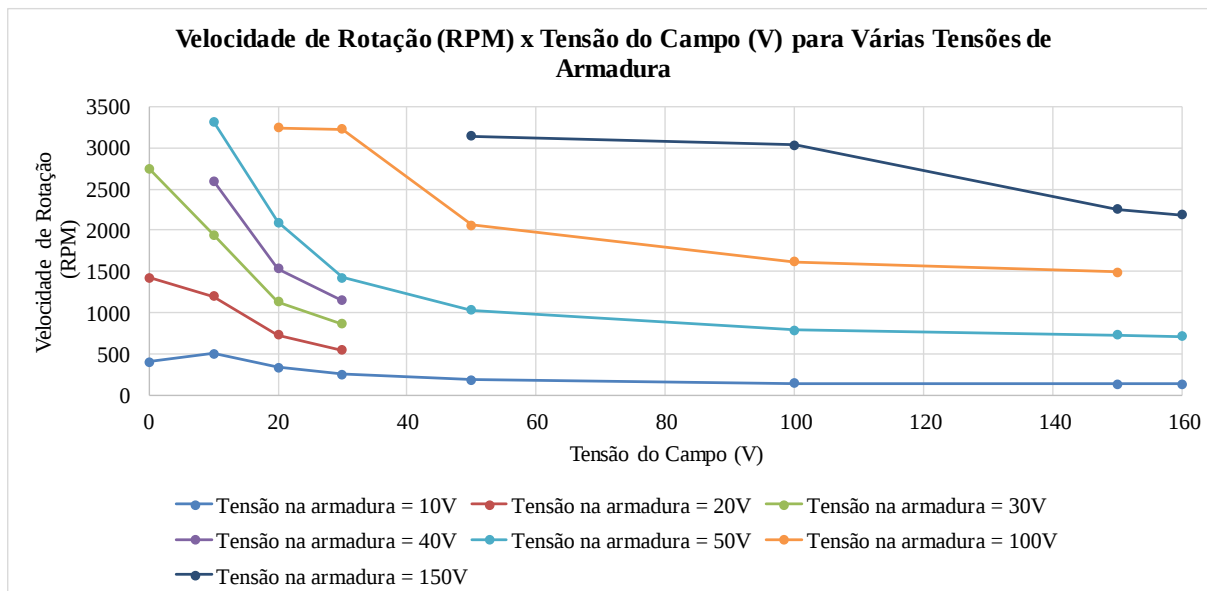


Fonte: (Autoria própria,2015)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As técnicas abordadas nesse trabalho tiveram como resultado os seguintes gráficos:

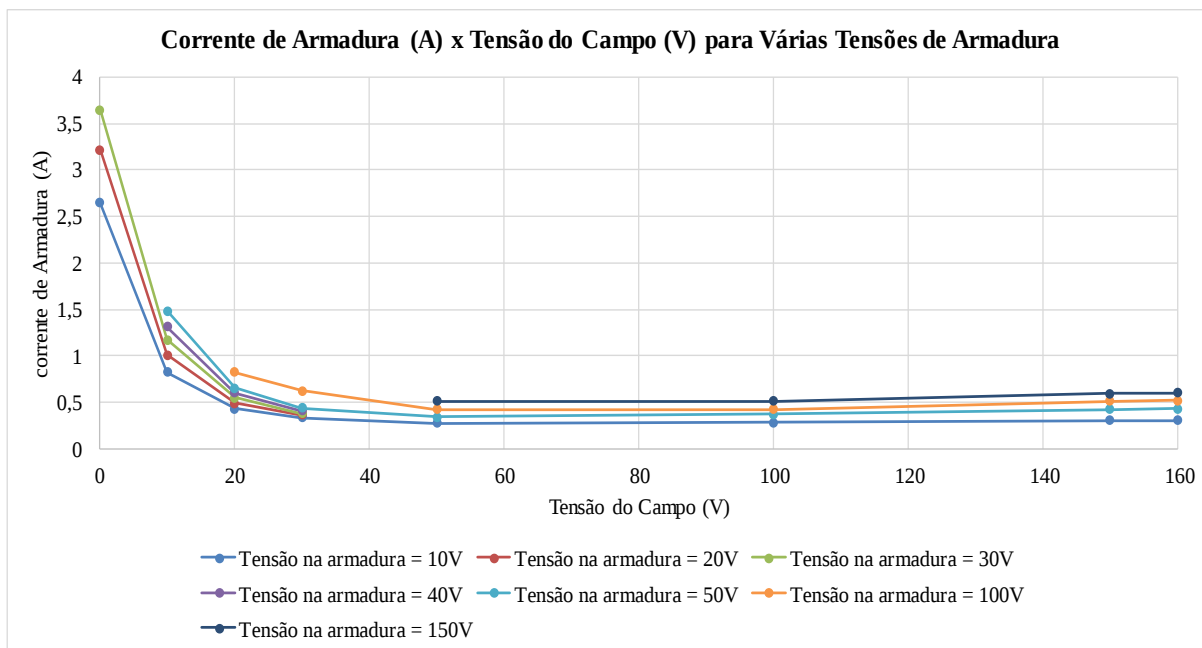
Gráfico 1- Resultado das aplicações de velocidade e tensão de campo.



Fonte: (Autoria própria, 2015).

De acordo com gráfico 1 pode-se observar que na medida em que a tensão de campo aumenta, a velocidade de rotação vai diminuindo. Como observado, na tensão na armadura de 10 V, que a velocidade aumenta até uma tensão no campo de 10 V, à medida que este valor eleva-se a velocidade diminui da mesma maneira que a tensão na armadura. Na tensão na armadura de 20 V e velocidade de 1200 RPM, este valor de tensão tem um grande declínio quando a tensão no campo aumenta, o mesmo acontece com as tensões na armadura de 30 e 40 V. Para as tensões de 20, 30 e 40 V só foram realizadas medições até uma tensão de campo de 30V. Já a tensão na armadura de 50 V e velocidade de 3324 RPM a tensão também tem um grande declínio até 50 V da tensão do campo, após este valor a tensão cai gradativamente. Quando a tensão na armadura é 100 V a queda da tensão é pequena entre 20 e 30 V da tensão do campo, porém quando esta tensão é acima deste valor ocorre uma grande queda até 50 V, após este valor da tensão do campo a tensão na armadura começa a cair gradualmente. Com a tensão na armadura de 150 V a queda da tensão tem praticamente as mesmas proporções, porém o declínio é maior quando passa o valor de 100 V da tensão do campo.

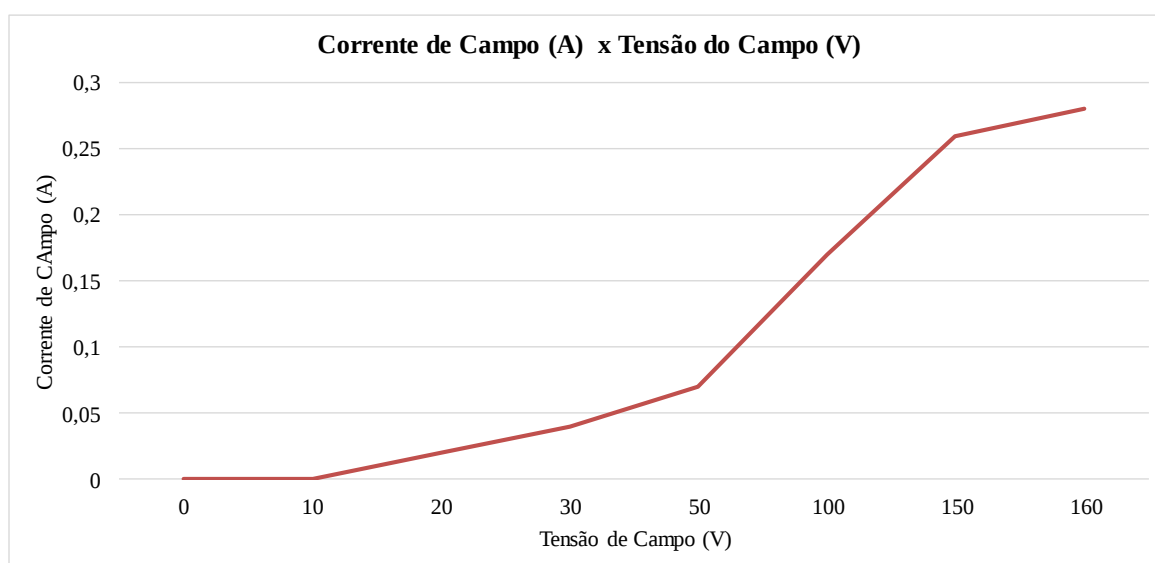
Gráfico 2- Resultado das aplicações da corrente de armadura e tensão de campo.



Fonte: (Autoria própria, 2015).

Analisando o gráfico 2, observa-se que todas as tensões na armadura têm um decaimento a medida que a tensão que é aplicada no campo aumenta, ou seja, todas as medidas de tensões na armadura possuem uma corrente considerável na mesma proporção que a tensão na armadura, porém quando a tensão de campo chega em 50 V a variação da corrente de armadura diminui da mesma maneira como a tensão na armadura.

Gráfico 3- Resultado das aplicações de uma tensão e corrente de campo.



Fonte: (Autoria própria, 2015).

E no gráfico 3 mostra uma relação da corrente e tensão de campo, visto que a corrente que é gerada no campo do motor aumenta gradativamente quando a tensão de campo é aumentada, ou seja, a corrente é proporcional a tensão do campo. No gráfico 3 mostra-se uma pequena variação entre 0 e 10 V, mostrando um aumento considerável a partir deste valor.

6 CONCLUSÕES

Com este trabalho pode-se concluir que a tensão que está sendo aplicada na armadura do motor é inversamente proporcional a tensão que é aplicada ao campo do motor. Ou seja, a medida que a tensão do campo aumenta e tensão na armadura diminui, da mesma maneira que a velocidade. Isto mostra que com o experimento pôde-se obter o controle de velocidade do motor cc. Já que segundo (NASCIMENTO JUNIOR, 2012) como a armadura e o enrolamento shunt estão em paralelo com a alimentação, se a tensão de alimentação não variar, podemos esperar uma rotação constante na ponta do eixo do motor, sem carga. Ao aplicarmos carga a esse motor, devido à resistência no enrolamento da armadura, há uma pequena queda na velocidade e no aquecimento.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. **DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS E TEORIA DE CIRCUITOS**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

CORRADI, ROMEU JUNIOR. **ELETRÔNICA DE POTÊNCIA**, 2011.

DEL TORO, Vicent. **FUNDAMENTOS DE MÁQUINAS ELÉTRICAS**. Rio de Janeiro: Ltc, 2009.

NASCIMENTO JUNIOR, Geraldo Carvalho do. **MÁQUINAS ELÉTRICAS: TEORIA E ENSAIOS**. 4. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2012.

POMILIO, José Antenor. **ELETRÔNICA DE POTÊNCIA**. Campinas: UNICAMP, 2002.

WEG. **CARACTERÍSTICAS E ESPECIFICAÇÕES DE MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA E CONVERSORES CA/CC**. Jaraguá do Sul: WEG, 2007.