

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – UTFPR
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA – DAELT
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETROTÉCNICA
AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

EDUARDO COMUNELLO ELEOTERO
JOSÉ ANTÔNIO FREITAS
PAULO VITOR AZEVEDO

**ESTUDO DE DESEMPENHO DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO,
CONTROLADO POR UM GRADADOR DE TENSÃO.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2014

EDUARDO COMUNELLO ELEOTERO
JOSÉ ANTÔNIO FREITAS
PAULO VITOR AZEVEDO

**ESTUDO DE DESEMPENHO DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO,
CONTROLADO POR UM GRADADOR DE TENSÃO.**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – DAELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Walter D. Cruz Sanchez

CURITIBA
2014

EDUARDO COMUNELLO ELEOTERO
JOSÉ ANTÔNIO FREITAS
PAULO VITOR AZEVEDO

**ESTUDO DE DESEMPENHO DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO,
CONTROLADO POR UM GRADADOR DE TENSÃO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Tecnólogo, do curso de Tecnologia em Automação Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 21 de março de 2014.

Prof. José da Silva Maia, Me.
Coordenador de Curso
Tecnologia em Automação Industrial

Prof. Rafael Fontes Souto, Me.
Coordenador de Projeto Final de Graduação
Tecnologia em Automação Industrial

BANCA EXAMINADORA

Prof. Walter Denis Cruz Sanchez, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Prof. Daniel Balieiro Silva, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Roberto Luiz Schwarz, Esp.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Rubem Petry Carbente, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

AGRADECIMENTOS

A Deus, nossos pais e amigos, instituição UTFPR.
E ao Professor W. Sanchez, que nos ajudou no projeto.

RESUMO

ELEOTERO, Eduardo Comunello; FREITAS, José Antônio; AZEVEDO, Paulo Vítor. Estudo de desempenho do motor de indução trifásico, controlado por um gradador de tensão, 2013. Monografia (Graduação em Tecnologia em Automação Industrial), Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Curitiba, 2014.

Este trabalho apresenta a montagem e o estudo do desempenho de uma bancada didática com o intuito de controlar a velocidade de um motor de indução trifásico controlado por um gradador de tensão, tendo como carga uma central hidráulica. Aborda também conceitos de semicondutores, motores e gradadores de tensão para o controle de velocidade de motores de indução. É apresentado coleta de dados para a montagem de gráficos com as principais variáveis levantadas, como: tensão do MIT x ângulo de disparo, e corrente do MIT x ângulo de disparo. Discute algumas vantagens e desvantagens em relação ao uso deste tipo de controlador de tensão para a variação da velocidade de motores. E traz como resultado um estudo geral sobre a iniciativa da fabricação e montagem da bancada didática para facilitar o entendimento da área de inversores de frequência.

Palavras-chave: Gradador de Tensão. Motor de Indução Trifásico. Inversor de Frequência. Controlador de Tensão.

ABSTRACT

ELEOTERO, Eduardo Comunello; FREITAS, José Antônio; AZEVEDO, Paulo Vítor. Study of the performance of the three-phase induction motor controlled by a voltage gradador., 2013. Monografia (Graduação em Tecnologia em Automação Industrial), Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Curitiba, 2014.

This work paper presents the installation and performance study of a didactic workbench speed control of a three phase induction motor controlled by a voltage gradador, having as a hydraulic load center. Also discusses concepts of semiconductors, motors and gradadores voltage for speed control of induction motors. Data collection is presented for the assembly of graphs with the main variables studied, such as: voltage x MIT shooting angle, and current MIT x firing angle. Discusses some advantages and disadvantages regarding the use of this type of stress to speed change motor controller. And as a result brings a general study on the initiative of the manufacturing and assembly of didactic workbench to facilitate understanding of the area of frequency inverters.

Palavras-chave: Voltage Gradador. Three Phase Induction Motor. Frequency Inverter. Tension Controller.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Circuito trifásico.....	21
Figura 2 – Forma de Onda do Tiristor.....	22
Figura 3 – Estrutura do Tiristor	24
Figura 4 – Tiristor <i>SEMIKRON SKKT 27/16 E</i>	24
Figura 5 – Modelo de disparo de tiristor	25
Figura 6 – Modelo de disparo de tiristor	26
Figura 7 – Placa do Motor	33
Figura 8 – Placa de Controle.....	35
Figura 9 – Esquema geral do circuito.....	37
Figura 10 – Fixação da balança	40
Figura 11 – Fixação da balança	40
Figura 12 – Motor suspenso.....	41
Figura 13 – Esquema Módulo de Potência.....	42
Figura 14 – Módulo Circuito de Potência.....	42
Figura 15 – Fusíveis de Proteção.....	43
Figura 16 – Blocos de Tiristores	43
Figura 17 – Identificações endereçadas.....	44
Figura 18 – Configuração de Tiristores.....	44
Figura 19 – Diagrama de conexões da placa com o módulo de potência	45
Figura 20 – Identificação dos terminais de saída da placa.....	46
Figura 21 – Fonte CC.....	46
Figura 22 – Parte frontal do Painel de Comando	47
Figura 23 – Parte interna do Painel de Comando	48
Figura 24 – Alimentação geral da bancada	50
Figura 25 – Tensão do MIT por Ângulo de Disparo	55
Figura 26 – Corrente por Tensão de Disparo	55
Figura 27 – Rotação do MIT por Tensão de Disparo	56
Figura 28 – Torque por Ângulo de Disparo.....	56
Figura 29 – Torque por Rotação do MIT	57
Figura 30 – Tensão do MIT por Ângulo de Disparo	60
Figura 31 – Corrente por Tensão de Disparo	60
Figura 32 – Rotação do MIT por Ângulo de Disparo	61
Figura 33 – Torque por Ângulo de Disparo.....	61
Figura 34 – Torque por Rotação do MIT.....	62
Figura 35 – Tensão do MIT por Ângulo de Disparo	64
Figura 36 – Corrente do MIT por Ângulo de Disparo.....	64
Figura 37 – Rotação do MIT por Ângulo de Disparo	65
Figura 38 – Torque por Ângulo de Disparo.....	65
Figura 39 – Torque por Rotação do MIT	66
Figura 40 – Tensão do MIT por Ângulo de Disparo	68
Figura 41 – Corrente do MIT por Ângulo de Disparo.....	68
Figura 42 – Rotação do MIT por Ângulo de Disparo	69
Figura 43 – Torque por Ângulo de Disparo.....	69
Figura 44 – Torque por Rotação do MIT	70
Figura 45 – Tensão do MIT por Ângulo de Disparo	72
Figura 46 – Corrente do MIT por Ângulo de Disparo.....	72
Figura 47 – Rotação do MIT por Ângulo de Disparo	73
Figura 48 – Torque por Ângulo de Disparo.....	73

Figura 49 – Torque por Rotação do MIT	74
Figura 50 – Torque por Velocidade Linear do Pistão.....	74
Figura 51 – Velocidade Linear do Pistão por Ângulo de Disparo	75
Figura 52 – Tensão do MIT por Ângulo de Disparo	77
Figura 53 – Corrente do MIT por Ângulo de Disparo.....	77
Figura 54 – Rotação do MIT por Ângulo de Disparo	78
Figura 55 – Torque por Ângulo de Disparo.....	78
Figura 56 – Torque por Rotação do MIT	79
Figura 57 – Torque por Velocidade Linear do Pistão.....	79
Figura 58 – Velocidade Linear do Pistão por Ângulo de Disparo	80
Figura 59 – Torque por Velocidade Linear do Pistão.....	82
Figura 60 – Mesa de apoio.....	87
Figura 61 - Tubo retangular de ferro.....	88
Figura 62 - Apoio manual	88
Figura 63 - Roda com trava.....	89
Figura 64 – Multimetro MD 4040	90
Figura 65 – Taco-Gerador WEG.....	92
Figura 66 – Placa de Identificação Taco-Gerador WEG	92
Figura 67 – Balança digital de precisão.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados à vazio	54
Tabela 2 - Pressão de trabalho do conjunto hidráulico	58
Tabela 3 - Dados em Regime Permanente a 5 bars	59
Tabela 4 - Dados em Regime Permanente a 7,5 bars	63
Tabela 5 - Dados em Regime Permanente a 10 bars	67
Tabela 6 - Dados em modo automático – Avanço do Pistão.....	71
Tabela 7 - Dados modo automático – Retorno Pistão	76

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

N.m – Newton por metro

V – Tensão

I – Corrente

s – Segundo

m/s – Metro por Segundo

W – Potência Ativa

VA – Potência Aparente

VAR – Potência Reativa

LISTA DE ACRÔNIMOS

MIT – Motor de Indução Trifásico

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CA – Corrente Alternada

FP – Fator de Potência

RPM – Rotação por Minuto

ICA MIT – Corrente de entrada para o MIT

VCA MIT – Tensão de entrada para o MIT

CC – Corrente Contínua

CV – Cavalo Vapor

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	13
1.1 TEMA.....	13
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS	15
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.3.1 Objetivo Geral.....	16
1.3.2 Objetivo Específico	16
1.4 JUSTIFICATIVA	17
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	19
CAPÍTULO 2.....	20
2.1 INTRODUÇÃO.....	20
2.2 GRADADORES DE TENSÃO.....	20
2.2.1 Introdução 20	
2.2.2 Tipos de Gradadores de Tensão.....	21
2.2.2.1 Controle de Tensão por Ângulo de Disparo.....	21
2.2.2.2 Controle de Disparos por Ciclos Inteiros	22
2.3 SEMICONdutoRES.....	23
2.3.1 Tiristores 23	
2.4 CIRCUITOS DE DISPARO E CONTROLE	25
2.5 MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS.....	26
CAPÍTULO 3.....	29
3.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO.....	29
3.2 DIMENSIONAMENTO DA CARGA.....	29
3.2.1 Definição do Cilindro Hidráulico.....	29
3.2.2 Dimensionamento da Bomba Hidráulica.....	30
3.3 DIMENSIONAMENTO DO MOTOR.....	31
3.4 DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO DE POTÊNCIA	34
3.5 SELEÇÃO DA PLACA DE DISPARO	34
CAPÍTULO 4.....	36
4.1 INTRODUÇÃO.....	36
4.2 ESQUEMA E CIRCUITO ELÉTRICO GERAL	36
4.2.1 Esquema Geral do Circuito.....	36
4.3 CENTRAL HIDRÁULICA (CARGA).....	37
4.4 MOTOR SUSPENSO.....	39

4.5	CIRCUITO DE POTÊNCIA	41
4.6	CONEXÃO DA PLACA DE CONTROLE COM O CIRCUITO DE	45
4.7	PAINEL DE COMANDO.....	47
	CAPÍTULO 5.....	49
5.1	INTRODUÇÃO.....	49
5.2	ROTEIRO DE TESTE DA BANCADA	49
5.2.1	Alimentação do Sistema	49
5.2.2	Procedimento para Coleta de Dados	49
5.2.3	Excitação da Placa de Controle.....	51
5.3	ACIONAMENTO DA CARGA.....	52
5.4	ANÁLISE E COLETA DE DADOS.....	52
5.4.1	Motor à Vazio	52
5.3.2	Motor em Regime Permanente a 5 bars	57
4.3.3	Motor em Regime Permanente a 7,5 bars	62
4.3.4	Motor em Regime Permanente a 10 bars	66
4.3.5	Motor em Modo Automático – Avanço do Pistão	70
4.3.6	Motor em Modo Automático – Retorno do Pistão.	75
	CAPÍTULO 6.....	81
6.1	CONCLUSÕES.....	81
6.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
	REFERÊNCIAS	85
	APÊNDICES	87
	ANEXOS 96	

CAPÍTULO 1

1.1 TEMA

Os motores elétricos de indução, MIT's¹, são de grande importância no meio industrial, onde são comumente usados. Isso vem do fato de que os MIT's possuem um amplo campo de aplicações, em diferentes segmentos da indústria, comércio e transporte, sendo encontrados na forma de pequenas combinações que exigem pouca potência, até gigantescas máquinas onde as potências requeridas são maiores.

O controle do torque e velocidade nos motores de indução trifásicos é realizado através da variação da: tensão de alimentação; frequência de alimentação; tensão e frequência; resistência do rotor ou corrente do estator. O método mais utilizado é o de controle de tensão e frequência, que é realizado através de conversores de frequência, onde a corrente alternada CA é retificada, tornando-se tensão contínua CC, para que, na etapa de inversão, o circuito inversor controlado através de PWM^2 senoidal volte a ser CA, porém com frequência, amplitude e tensão variáveis, realizando assim o controle de velocidade.

O controle da velocidade através de tensão de alimentação é uma das alternativas para a variação da velocidade, sendo utilizado um circuito baseado em Gradadores de tensão para a partida de motores. Os Gradadores se caracterizam por ser uma interface direta entre a fonte e a carga, isto é, o gradador permite o chaveamento direto da tensão de forma direta sem algum outro processamento eletrônico

1

MIT é uma abreviação de motores de indução trifásico.

² O circuito PWM é utilizado para controlar a velocidade dos motores de corrente contínua. PWM é a abreviação de *Pulse Width Modulation* ou Modulação de Largura de Pulso.

intermediário da tensão de alimentação, que seria a retificação da tensão e inversão para que a tensão volte a ser alternada, porém com frequência diferente para o controle de velocidade. Um modelo de gradador que é comumente utilizado é a chave *Soft Starter*³, utilizada no circuito de potência com o uso de Tiristores para partidas de motores CA. Com a variação do ângulo de disparo desses semicondutores é controlada a tensão eficaz disponibilizada no motor; assim obtém-se uma curva suave de partida do motor, minimizando uma eventual sobrecarga na rede. Após a velocidade chegar ao nível nominal, é utilizado um circuito *by pass*⁴, para não sobreaquecer os componentes. Porém, nesse caso, esse circuito não permite o controle pleno da velocidade do motor, devendo ser utilizado um gradador pleno, de modo que é haverá um circuito com partida suave e variação de velocidade praticamente linear, onde pode-se trabalhar com uma ampla faixa de velocidade do motor, visto que a *Soft Starter* é destinada à aceleração, desaceleração e proteção de MIT's. Tais funcionalidades podem ter subdivisões como: rampa de tensão, rampa de corrente, controle de torque, etc. Porém, o gradador é mais simples, podendo ter ou não essas funções, e a velocidade/torque é dependente da solicitação de potência pela carga, sendo essa necessidade notada pelo operador, que de acordo com a leitura e interpretação de sensores instalados no circuito, para a medição de tensão, corrente, velocidade, pode corrigir a velocidade do modo que melhor atender a necessidade.

O mercado de equipamentos, para controle de máquinas elétricas, praticamente excluiu esse modelo de circuito dos equipamentos industriais, devido ao gradador ser um forte gerador de harmônicas, ficando assim o mercado voltado totalmente para os inversores e *Soft Starter's*.

³ Os *Soft-Starters* (partida suave) são chaves de partida estática, projetadas para a aceleração, desaceleração e proteção de motores elétricos de indução trifásicos, através do controle da tensão aplicada ao motor.

⁴ O circuito *by-pass* é um desvio do caminho normal do circuito, onde a carga receberá um nível nominal de tensão, isto é, a carga ficará diretamente conectada com a fonte.

Devido ao seu modelo construtivo, o gradador de tensão poderá ser um bom exemplo de estudo para disciplinas que envolvam controle de velocidade de motores, sendo que os Gradadores são mais simples e de melhor entendimento comparados aos inversores e ciclo conversores, uma vez que seu circuito é mais simples e o circuito de potência se resume a um arranjo de Tiristores.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

O controle de velocidade de motores elétricos abrange uma ampla área de aplicações. Neste trabalho será tratado o controle de velocidade do MIT, através da variação da tensão de alimentação com Gradadores de tensão, pelas seguintes razões:

- Os diversos equipamentos (inversores, soft starter, servo-motores, máquinas elétricas, controle eletrônico, etc.) que são estudados nas diferentes disciplinas do curso são apresentados como "caixas pretas", ou seja, não são explicados detalhadamente. Entretanto, eles precisam ser entendidos de maneira mais completa, isto é, entender o circuito de potência, o circuito de controle, as interfaces para medição, o *software* associado e não somente a sua operação e parametrização;
- A dificuldade do aprendizado, quando é estudado o controle de velocidade de MIT com inversores de frequência, normalmente é minimizada quando se utilizam os Gradadores de tensão, uma vez que esses são construtivamente mais simples;
- Uma razão de sua limitada aplicação é o fato desse circuito gerar harmônicas na rede elétrica;
- Identificar aplicações onde possam ser utilizados os Gradadores de tensão;
- Fomentar pesquisas sobre se o gradador poderia substituir a *Soft Starter* em baixas potências, onde seja necessária uma

maior variação de velocidade sem a precisão requerida pelo *Soft Starter*;

- A velocidade do MIT é dependente da frequência e número de pólos do motor; porém se a carga necessita de uma variação da velocidade, o gradador não é uma opção?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Montagem de uma bancada didática, para o controle de velocidade do motor de indução trifásico que aciona um cilindro hidráulico, onde é controlada a velocidade através de um circuito gradador de tensão de alimentação.

1.3.2 Objetivo Específico

- Levantamento teórico e prático de Gradadores de tensão;
- Montagem da bancada de operação;
- Montagem do circuito de potência com Tiristores;
- Montagem de taco-gerador para a medição de velocidade;
- Utilização de um Multimedidor para a medição da tensão e da corrente;
- Utilização do dinamômetro para medir o torque gerado pelo motor;
- Utilização de placa de circuito digital para o disparo dos Tiristores;
- Teste de validação;
- Montagem de um conjunto hidráulico que será utilizado como carga, sendo composto por: bomba hidráulica, cilindro e comando

hidráulico;

- Caracterização do gradador quando é acoplada uma carga ao motor, neste caso, o conjunto hidráulico;
- Análise do comportamento da carga com o controle de velocidade realizado pelo gradador;
- Análise de resultados.

1.4 JUSTIFICATIVA

Em decorrência dos problemas citados, se encontra muita dificuldade, principalmente no quesito de análise dos circuitos dos equipamentos que controlam os motores, pois testava-se suas funções, mas não os circuitos internos. Com isso, ficava comprometido o entendimento dos circuitos analisados, uma vez que por serem circuitos de produtos comerciais, sua análise é limitada e complexa, como também porque as documentações de tais equipamentos se referem, na maioria das vezes, sobre sua operação e raramente sobre seu funcionamento.

Então parte-se para o desenvolvimento do circuito baseado em gradador, visto que tanto o circuito de potência quanto o controle do gradador são mais simples do que os circuitos *PWM* e inversores, o que torna interessante o estudo teórico e prático de seu funcionamento.

Outra questão que torna necessário esse estudo é: exceto o circuito ser um gerador de harmônicas, existe outro motivo pelo qual esse circuito foi praticamente descartado do mercado em favor de outros circuitos e produtos comerciais? Se não existem motivos, existem outras aplicações que podem utilizar Gradadores de tensão? O circuito não é uma opção para o controle de velocidade para motores que necessitam de variação de velocidade para atender determinadas cargas de baixas potências?

A inclusão do curso de Tecnologia em Automação no DAELT obriga o departamento a incorporar novas disciplinas e infraestrutura de laboratórios na área de controle de velocidade; assim, o protótipo do gradador contribuirá com essas atividades acadêmicas de laboratório sendo utilizado na área de automação, acionamentos elétricos, controle de velocidade, entre outras.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho foi iniciado devido à necessidade de apresentação de um trabalho de conclusão de curso nesta Universidade, e também devido a um interesse no assunto, pelo qual se pretende iniciar um estudo mais aprofundado sobre o tema, focando a pesquisa em eletrônica de potência e máquinas elétricas. Com isso haverá embasamento para estudar os semicondutores a serem utilizados. Já o estudo de máquinas elétricas terá foco nos motores elétricos CA de indução trifásico – MIT.

O protótipo se dará a partir de um projeto mecânico de uma estrutura adaptada, no qual o motor não será fixado na base, mas a partir do eixo, diferentemente da carga (conjunto hidráulico) que será fixada na base da estrutura. Sendo assim, quando de seu funcionamento, o motor tenderá a girar. Entretanto, para descobrir o torque gerado, fixará um dinamômetro preso radialmente ao motor a fim de impedir que ele gire, assim será possível levantar a força que o motor estará aplicando no dinamômetro. Medindo o braço fixo no motor até o dinamômetro, juntamente com a força gerada, haverá então como calcular o torque exercido pelo motor.

Montagem do protótipo:

- Criação de um esboço do trabalho;
- Realização de uma pesquisa em campo referente aos

componentes e circuitos a serem utilizados;

- Compra dos componentes;
- Montagem do circuito;
- Primeiros testes;
- Teste final com levantamento de dados;
- Relatório final com análise dos dados.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Prevê-se a seguinte estrutura para o trabalho:

- Capítulo 1 - Introdução e apresentação do tema, problemas objetivos e metodologia de pesquisa;
- Capítulo 2 - Gradadores: conceitos e tipos;
- Capítulo 3 - Motores de indução trifásicos: conceitos;
- Capítulo 4 - Semicondutores;
- Capítulo 5 - Circuito de disparo e controle: conceitos e tipos;
- Capítulo 6 - Procedimentos Metodológicos; Descrição do processo de pesquisa;
- Capítulo 7 - Coleta e análise de dados;
- Capítulo 8 - Considerações finais;
- Capítulo 9 - Referências.

CAPÍTULO 2

2.1 INTRODUÇÃO

Nesse capítulo se aborda a fundamentação teórica correspondente a bombas hidráulicas de deslocamento positivo motores de indução trifásicos e dos circuitos Gradadores de tensão. Essa fundamentação é para um entendimento do funcionamento do projeto proposto.

2.2 GRADADORES DE TENSÃO

2.2.1 Introdução

Gradadores de tensão (BARBI I., 2000), também denominado de Controladores de Tensão (RASHID M.H., 1999), são circuitos eletrônicos que utilizam dispositivos semicondutores para a passagem provisória da tensão para carga. Essa passagem trabalha na frequência da rede de energia elétrica, porém a tensão fica proporcional ao tempo de condução do componente semicondutor. Os dispositivos mais comumente utilizados nesses circuitos são os Tiristores. Em baixa potência se fazem o uso de TRIACS, e em potências mais elevadas é utilizado o SCR.

Gradadores são conversores estáticos com a função de variar a tensão alternada eficaz. A carga é colocada direto com a fonte, sem um tratamento intermediário de energia (BARBI I., 2000).

Neste trabalho se utilizará o modelo de Controlador Trifásico de Onda Completa, que é um dispositivo muito simples devido a não necessidade de circuitos de comutação adicionais (RASHID M.H., 1999). O motivo do fácil entendimento e da simplicidade do circuito do Controlador de Tensão foi o principal objetivo do trabalho.

2.2.2 Tipos de Gradadores de Tensão

2.2.2.1 Controle de Tensão por Ângulo de Disparo

O tipo de controle por fase é o controle da tensão pelo disparo do componente de acordo com o ciclo da rede, onde o componente irá conduzir por um período menor ou igual ao tempo do semi-ciclo da tensão de rede. É o modelo utilizado para o controle de velocidade de motores, e também o tipo de circuito mais difundido para as situações que necessitem de controle de tensão a base de Gradadores.

O circuito é composto por um circuito de disparo dos semicondutores de potência, figura 1, podendo esse ser analógico ou digital, o circuito de potência com os Tiristores específicos para cada aplicação, e os devidos conectores e componentes secundários.

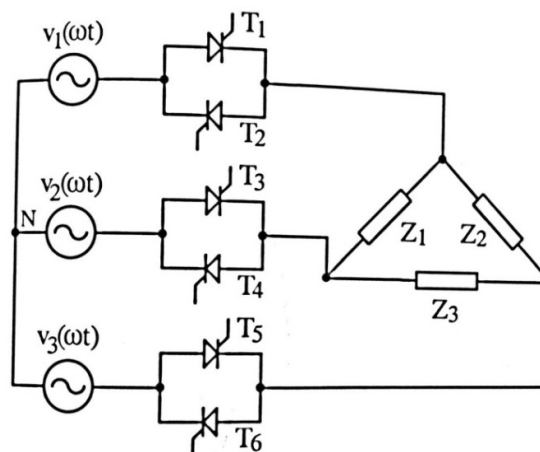


Figura 1 - Circuito trifásico
Fonte: RASHID, M.H., 1999.

Há de se perceber que os Tiristores irão conduzir tanto no ciclo negativo quanto no ciclo positivo, garantindo assim um maior controle da tensão de saída para a carga.

Na figura 2, é possível perceber as ondas do tiristor e o quanto

ele está disparando para a carga.

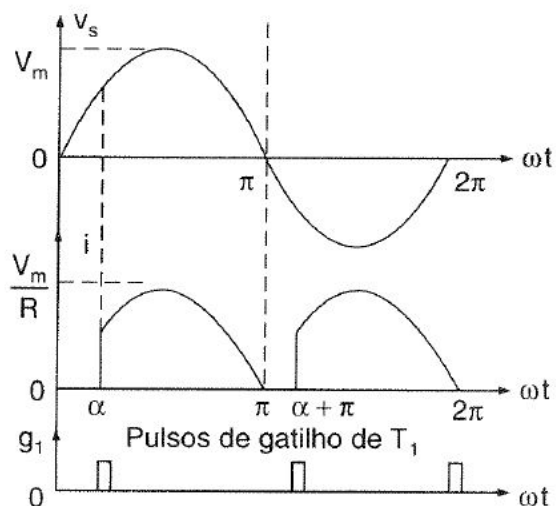


Figura 2 – Forma de Onda do Tiristor
Fonte: RASHID, M, 1999.

Seu funcionamento é: a rede elétrica CA opera em uma frequência conhecida, no Brasil com 60hz, com pequenas variações que não geram interferências em circuitos comuns. Essa alternância da tensão entre positiva e negativa, faz com que a tensão cruze o 0v, essa mudança de fase, limita o período de condução de energia pelo semicondutor, sendo necessário outro pulso fornecido pela placa de controle.

2.2.2.2 Controle de Disparos por Ciclos Inteiros

É utilizado quando a constante de tempo tem um período muito superior à frequência disponibilizada na rede CA, onde simplesmente é ligado e desligado o fornecimento da energia disponível na carga com um período alto, normalmente de alguns ciclos da rede CA disponibilizada. Esse tipo de circuito é utilizado em sistemas de aquecimento resistivo.

Esse circuito tem o modelo elétrico similar ao circuito gradador

por controle de fase, são normalmente encontrados em sistemas de aquecimento de grandes potências.

Esse modelo de circuito leva vantagem sobre o controle por fase, uma vez que esse circuito não distorce a rede da energia elétrica, pois as harmônicas geradas são menores se comparadas ao circuito de fase.

2.3 SEMICONDUTORES

Semicondutores, no modo elementar, são materiais que se situam entre os elementos eletricamente condutores e os não condutores, ou seja, em determinadas circunstâncias podem ser condutores elétricos em outras circunstâncias tornam-se isolantes. Os elementos mais comumente utilizados são o silício Si e germânio Ge.

Para que o semicondutor opere em um circuito elétrico ele deve ser um cristal puro, para então ser dopado (inserção de impurezas no cristal) e se transformar em um condutor, a dopagem pode criar basicamente dois tipos de novos cristais, os tipos N, negativos e os tipo P positivos, quando juntos, na junção dos dois tipos é criada uma camada chamada de camada de depleção, esses dois tipos são responsáveis pela criação dos elementos de estado sólido, a partir desse ponto foram desenvolvidos diversos elementos, entre eles, diodos, transistores e Tiristores.

2.3.1 Tiristores

Os Tiristores são um grupo de componentes semicondutores de multicamadas, compostos por uma estrutura com no mínimo quatro camadas semicondutoras, três terminais de ligação e três junções semicondutoras, vide figura 3. Trabalham por meio de chaveamento, ou seja, quando a tensão de anodo for maior que a tensão de catodo

$V_a > V_k$, e acontecer à condição correta no terminal de gatilho tensão e corrente (pulso), o semicondutor inicia a condução. A partir desse momento o gatilho perde a função, e o tiristor irá conduzir até que a tensão de catodo fique maior que a de anodo, quando isso ocorre, o tiristor deixa de conduzir $V_a < V_k$.

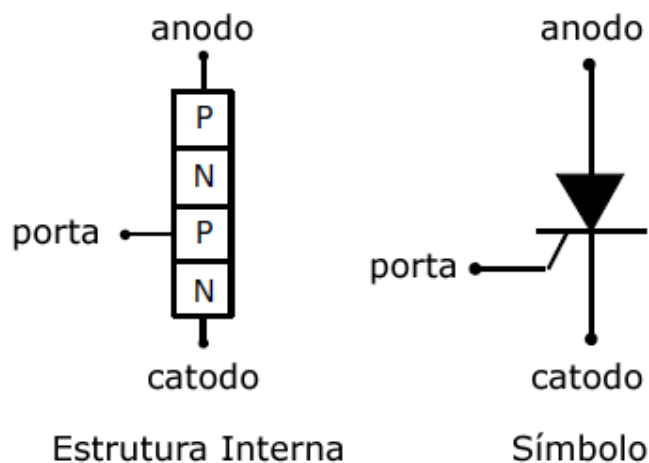


Figura 3 – Estrutura do Tiristor
Fonte: Eletrônica Didática (2013).

A seguir um exemplo de um tiristor da marca *SEMIKRON* modelo SKKT 27/16 E, conforme figura 4.

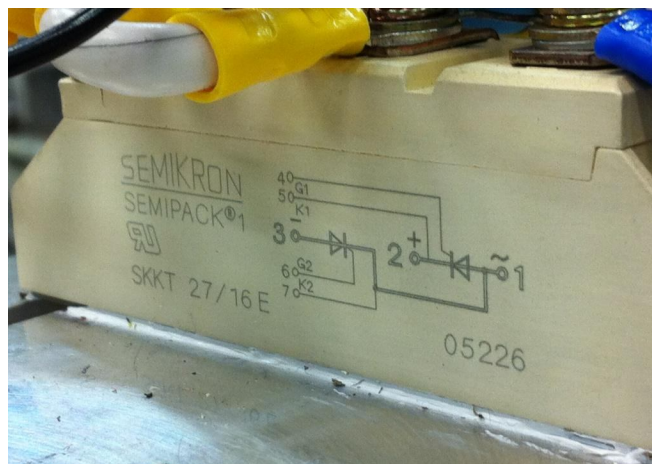


Figura 4 – Tiristor SEMIKRON SKKT 27/16 E
Fonte: Próprio autor.

2.4 CIRCUITOS DE DISPARO E CONTROLE

São os dispositivos que atuam no controle dos equipamentos de potência, controlam o tempo de condução do tiristor variando o ângulo de disparo dos Tiristores. Uma vez que necessitam de um pulso no gatilho de disparo. Porém, os disparos dos componentes são um tanto quanto complexos, uma vez que os mesmos devem ser acionados de acordo com a frequência natural da rede elétrica disponível, ou seja, deve haver um sincronismo entre o disparo do componente para com o semi-ciclo que será controlado, porém em sistemas trifásicos haverá de ter um sincronismo dos 3 circuitos de disparo para que eles fiquem defasados entre si com forma de 120 graus.

Neste trabalho será utilizada uma placa de controle da marca *Semikron*, modelo RT380T 230/400, vide figura 5.

Uma observação muito importante, que será também discutida no próximo capítulo, é que as fases de entrada nos Tiristores devem obrigatoriamente ser iguais as da entrada da placa para que exista o sincronismo entre as fases.

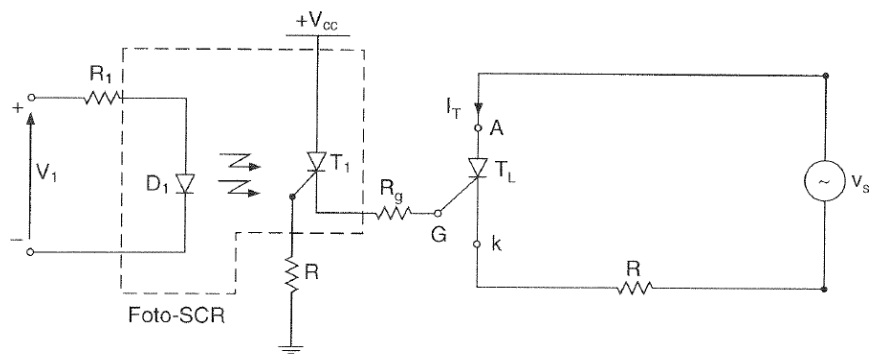


Figura 5 – Modelo de disparo de tiristor
Fonte: RASHID, M, 1999.

2.5 MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Desde seu invento no final do século XIX, a utilização de motores de indução trifásicos tem se difundido amplamente, devido a seu baixo custo de aquisição, alta confiabilidade e simplicidade de funcionamento, com isso vem tornando-se o principal motor do meio industrial. Porém ele sofre de algumas características que o desvaloriza, como exemplo: a alta corrente de partida (IP), controle de velocidade dispendiosa.

O motor de indução trifásico, demonstrado na figura 6, possui várias vantagens comerciais/técnicas sobre seus concorrentes, porém possui também algumas desvantagens.

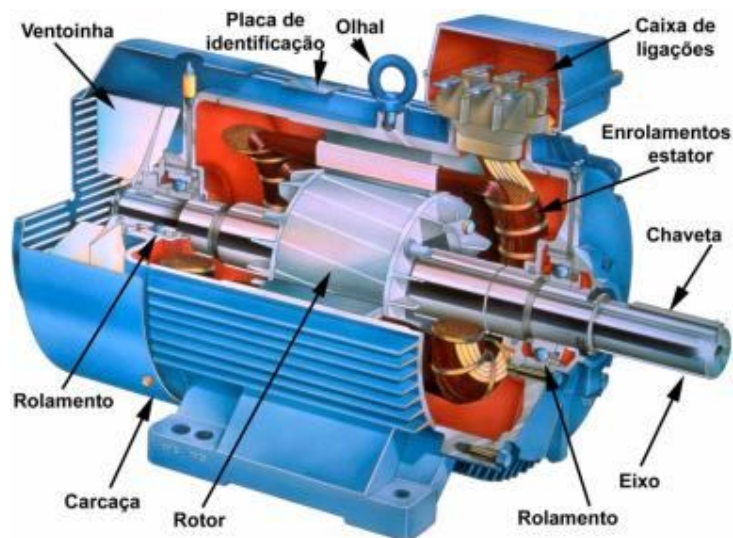


Figura 6 – Modelo de disparo de tiristor
Fonte: Gomes, S. 2012.

Vantagens:

- Baixo custo de aquisição;
- Alta confiabilidade;
- Baixa manutenção;

- Funcionamento simples;
- Tecnologia difundida.

Desvantagens:

- Controle de velocidade necessita de circuito externo;
- Velocidade do motor depende da frequência da rede/número de pólos;
- Alta corrente de partida (IP);
- Distorção de energia;
- Controles de velocidade dispendiosos.

Um motor de indução é composto basicamente por duas partes, o rotor (parte girante) e o estator (parte fixa). Este é composto por finas chapas de aço, em formato de anel, com ranhuras de modo que possam ser dispostos os enrolamentos, esses, quando em operação, deverão criar o campo magnético do estator no campo desses motores, que devido ao formato do enrolamento e características da alimentação fornecida pela rede, tem uma característica diferente. O campo oscila de acordo com a alimentação das três fases, e dessa oscilação, surge o campo girante, girando na seguinte velocidade $RPM = (120/P) \times F$ (P = número de pólos do motor, F = Frequência da rede de alimentação, no Brasil 60Hz) que tem fundamental importância no funcionamento do motor, sendo que o rotor procura girar na frequência de funcionamento desse campo, porém os dois campos não estão sincronizados, e a essa falta de sincronia, é dado o nome de escorregamento, que é a diferença entre a velocidade do campo girante e a velocidade do rotor, sendo representada pela letra S , e calculada pela fórmula $S = (n_1 - n) / n_1$ (onde n_1 = rotação do campo, n = rotação do rotor).

O rotor por sua vez, pode ser encontrado em dois tipos de circuitos, sendo denominados de:

- Rotor Bobinado: rotor composto de enrolamentos ao redor das chapas do rotor, esse modelo de circuito também é comumente denominado de induzido, sendo esse modelo de rotor utilizado em motores que precisem de uma grande inércia de partida, ou quando é necessário partida suaves nos motores;
- Rotor Gaiola de Esquilo: rotor é composto de barras metálicas que são distribuídas em volta dos conjuntos das chapas do rotor, tais barras são interligas entre si, por meio de anéis condutores. Esse tipo de rotor é mais utilizado em cargas de baixa potência, sendo também construtivamente mais baratos, sendo esse o modelo mais utilizado em motores de indução trifásicos.

Independentemente dos tipos de rotores, bobinado ou gaiola de esquilo, os circuitos presentes nesses rotores são dispostos de modo que no rotor crie-se um campo magnético, sendo que esse campo fica fixo, porém o rotor procura girar na velocidade do campo girante do estator, com isso o rotor está em movimento, porém, como a velocidade do rotor nesse tipo de motor, fica defasada em relação ao campo girante há o escorregamento.

CAPÍTULO 3

3.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO

Neste capítulo, serão apresentadas as características levantadas dos equipamentos para a montagem e desenvolvimento da bancada, incluindo os parâmetros utilizados no trabalho.

3.2 DIMENSIONAMENTO DA CARGA

Um circuito hidráulico é definido através do trabalho que se necessita executar em um determinado tempo, com essas informações e pelo uso de fórmulas adequadas é possível calcular a potência total do sistema.

Na hidráulica segue-se o princípio da conservação da matéria (Lavoisier A.), onde a potência é tirada da rede elétrica através de um motor e posteriormente utilizada por um atuador.

Na seqüência se explicará todos os passos para dimensionar os componentes de um sistema hidráulico.

3.2.1 Definição do Cilindro Hidráulico

Com base na força necessária escolhe-se um cilindro hidráulico padrão comercial que atenda a essa força e que relativamente ofereça um baixo custo. Após isso se calcula a pressão necessária para resultar nessa força e o volume do cilindro para posteriormente determinar o tamanho da bomba. Para facilitar o trabalho os fabricantes já disponibilizam tabelas como a do anexo A.

O cálculo base para força dá-se pela fórmula $P = F/A$ onde a área é calculada em função do diâmetro do cilindro.

Como a intenção do projeto em questão era de apenas efetuar um movimento e alterar sua velocidade a partir da variação da rotação do

motor elétrico, não era necessária uma força resultante muito alta. Utilizou-se então de um cilindro de Ø 2" com haste de Ø1/2" e curso de 120mm. Um dos principais motivos da escolha desse cilindro foram o seu baixo custo e dimensional perfeito para a bancada, e uma perfeita percepção de alteração de velocidade no mesmo.

3.2.2 Dimensionamento da Bomba Hidráulica

O próximo passo é verificar o tamanho da bomba, ou seja, qual será a vazão da mesma, pois será a vazão que influenciará diretamente no tempo de operação. Calcula-se o volume do cilindro e a partir do tempo que ele deve executar o trabalho escolhe-se o tamanho de bomba em uma tabela de um determinado fabricante, como por exemplo, no anexo B.

Como se pode analisar na tabela do anexo B, não é informada a vazão em l/min, pois para isso é necessário saber a rotação em que irá trabalhar a bomba.

Na tabela a informação é o cc/rev que é o volume em cm³ deslocado pela bomba a cada rotação.

Então se calcula a vazão pela fórmula $Q = (n \times d) / 1000$, onde Q é a vazão da bomba em l/min, n é a rotação do motor elétrico, d é o deslocamento da bomba em cm³/ver e 1000 é uma constante para se obter o valor final na unidade de l/min.

O ideal é utilizar as bombas dentro de um *range* de rotação informada pelo fabricante, sendo que cada modelo apresenta suas particularidades.

O modelo de bomba escolhido foi de uma bomba de engrenagens de deslocamento positivo, ou também chamada de bomba hidrostática. Nesse modelo de bomba uma vedação mecânica separa a entrada e saída da bomba, e o volume de fluido succionado é transferido para o lado de saída e fornecido para o sistema. A sucessão de pequenos volumes de fluido transferidos dessa forma proporciona uma vazão bem

uniforme, independente do aumento de pressão no sistema, tendo assim, uma quantidade de fluido positiva que é transferida ao mesmo sistema por unidade de revolução ou curso. Como permitem a transmissão de potência, essas bombas são aplicadas em circuitos óleos-hidráulicos. Por apresentar boas condições de trabalho em diversas rotações (mínima de aproximadamente 600 RPM e máxima de 3600) e um volume considerado bom para variar nos testes foi escolhido uma bomba do tamanho $3,1\text{cm}^3/\text{rev}$. Dentro dessas condições é possível trabalhar com a vazão do sistema entre 1,8 l/min até 11,1 l/min, ou seja é possível se obter uma boa variação na velocidade resultante do cilindro hidráulico.

3.3 DIMENSIONAMENTO DO MOTOR

Tendo em mãos os dados já calculados anteriormente como vazão e pressão, o próximo passo é a calcular o motor elétrico que será utilizado para atender as condições solicitadas. Utilizando-se da fórmula $CV = (Q \times P)/k$, onde CV é a potência mínima necessária do motor elétrico em cavalo-vapor, Q é a vazão do sistema em l/min, P é a pressão de trabalho em bar ou kgf/cm^2 e K é uma constante que varia em função do rendimento da bomba, informação essa obtida diretamente dos catálogos dos fabricantes.

Partindo do princípio que não existia a necessidade de realizar um determinado trabalho com excessiva força e também por questões de segurança, ficou determinado que a pressão máxima do sistema fosse de 10 bars. Com base nessa informação, e nas demais já calculadas, deverá utilizar a fórmula $CV = (Q \times P)/K$ onde calcula-se sempre com as informações a partir do trabalho nominal, ou seja, $CV = (11,1 \times 10) / 360$, resultando em uma potência mínima de 0,3 cv para atender as condições solicitadas. Como essa potência não é um padrão comercial de motores e o ideal é sempre trabalhar com uma folga até

mesmo porque foi testado o motor em diversas condições críticas, utilizou-se de um motor de 0,5 cv dois pólos de tensão 220/380 V trifásico do tipo gaiola da marca WEG. A única alteração realizada nesse componente foi à instalação de um flange do tipo C-DIN que era o ideal para atender as condições de montagem.

Outros fatores que induziram na utilização deste motor foram decorrentes de alguns requisitos primordiais para o trabalho, são eles:

- Custo reduzido do motor de $\frac{1}{2}$ cv;
- Devido à sua dimensão, ao qual é compatível com o tamanho da bancada;
- A maior velocidade da rotação do motor permite uma maior faixa de trabalho e velocidade do conjunto bomba e cilindro hidráulico.

Assim a bancada foi dimensionada com um motor de indução trifásico da fabricante WEG, figura 7. Esse motor possui as seguintes características técnicas:

- Carcaça: 63;
- Potência: 0,5HP;
- Frequência: 60Hz;
- Rotação nominal: 3370 RPM;
- Escorregamento: 6,39%;
- Tensão nominal: 220/380v;
- Corrente nominal: 1,86/1,08A;
- Corrente de partida: 10,4/6,01A;
- I_p / I_n : 6,0;
- Corrente a vazio: 1,13/0,651A;
- Conjugado nominal: 1,05Nm;
- Conjugado de partida: 270%;
- Conjugado máximo: 270%;

- Categoria N;
- Classe de isolamento F;
- Elevação de temperatura: 80K;
- Tempo do rotor bloqueado; 8c (quente);
- Fator de serviço: 1,15;
- Regime de serviço: S1;
- Temperatura ambiente: -20 +40C;
- Altitude: 1000m;
- Proteção: IP55;
- Massa aproximada: 6Kg;
- Momento de inércia: 0,00019 kgm²
- Nível de ruído: 56 dB(A).



Figura 7 – Placa do Motor
Fonte: Próprio autor

3.4 DIMENSIONAMENTO DO CIRCUITO DE POTÊNCIA

Conforme dados do motor, no tópico anterior, seriam necessários Tiristores que suportassem a corrente nominal de 1,86 A e I_p/in (corrente de pico) de 11,16A, porém, como no laboratório estavam disponíveis Tiristores de 32 A, foram utilizados os Tiristores SKKT 27 da fabricante *Semikron*.

Foram dimensionados três conjuntos de no total seis Tiristores. A seguir segue o dimensionamento dos componentes:

- Corrente nominal: 27A
- Corrente Gatilho: 150mA;
- Numero de pinos: 7;
- Corrente RMS em condução: 50^a;
- Temperatura máxima de operação: 125°C;
- Temperatura mínima de operação: -40°C.

Com base nos dados do motor e dos Tiristores, pode se perceber que o sistema de potência tiristorizado suporta com facilidade a potência exigida pela carga (conjunto hidráulico). Sendo que o motor solicita apenas 1,86 A e o tiristor consegue fornecer até 27 A.

3.5 SELEÇÃO DA PLACA DE DISPARO

Para a escolha da placa a ser utilizado, o principal requisito a observar é que a placa deve conseguir fornecer a corrente mínima de manutenção de funcionamento do tirsitor, sendo essa corrente mínima do tiristor em questão de 150mA. Assim foi escolhida a placa de controle da marca *Semikron*, modelo RT380T 230/400, vide figura 8. De acordo com o fabricante a placa escolhida fornece até 600mA para disparo, essa placa também estava disponível no laboratório da

Universidade.

Outro fator importante para a placa é que de acordo com o fabricante ela aciona toda a gama de componentes Tiristores da *Semikron*.

Esta placa possui alimentação tanto rede trifásica 220V quanto 380V, no caso utiliza-se entrada trifásica 220V.



Figura 8 – Placa de Controle
Fonte: Próprio autor

CAPÍTULO 4

4.1 INTRODUÇÃO

A seguir, será mostrado o desenvolvimento da bancada, constando o passo a passo da montagem, com o descritivo dos equipamentos utilizados.

4.2 ESQUEMA E CIRCUITO ELÉTRICO GERAL

Para exemplificar o sistema, será mostrado um esquema em diagrama de blocos para facilitar a compreensão do assunto. Ao avançar os tópicos do trabalho, serão desmembrados os módulos do sistema, cujo constituem:

- Alimentação;
- Circuito de Potência;
- Módulo de Controle;
- Painel de Comando;
- Central Hidráulica (Carga).

4.2.1 Esquema Geral do Circuito

Conforme figura 9, é possível ter uma noção geral do sistema demonstrado por um diagrama de blocos. Pode se notar o circuito de potência conectado com o motor, a placa de controle, a rede de energia elétrica, e também o conjunto hidráulico conectado no motor de indução.

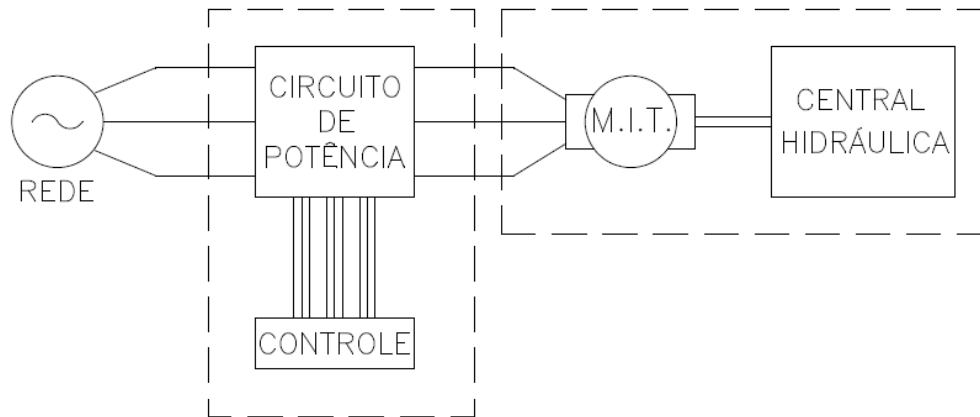


Figura 9 – Esquema geral do circuito
Fonte: Próprio autor

4.3 CENTRAL HIDRÁULICA (CARGA)

O sistema ou circuito hidráulico assim chamado pode ser definido como um conjunto de componentes que utilizam um fluido, nesse caso o óleo hidráulico mineral, como meio de transmissão de potência a fim de se executar um trabalho.

Todo e qualquer sistema hidráulico pode ser dividido em três partes principais:

- Sistema de geração: é constituído pelo reservatório, filtros, bombas, motores, acumuladores, intensificadores de pressão e outros acessórios;
- Sistema de distribuição e controle: constituído por válvulas controladoras de vazão, pressão e direcionais;
- Sistema de aplicação de energia: aqui encontra-se os atuadores, que podem ser cilindros, motores hidráulicos, e osciladores.

Basicamente o circuito desenvolvido para se realizar os devidos testes nesse projeto é composto pelos seguintes itens abaixo:

- Reservatório: responsável pelo armazenamento do óleo, pela precipitação de impurezas e pela troca térmica efetuada entre óleo com a parede do reservatório, e posteriormente, da parede do reservatório com a atmosfera;
- Filtro de sucção: componentes utilizados para impedir a sucção de partículas sólidas pela bomba o que poderia danificar os componentes do sistema;
- Bomba de engrenagens: responsável pela geração de vazão dentro de um sistema hidráulico, sendo, portanto também responsável pelo acionamento dos atuadores basicamente convertem a energia mecânica em energia hidráulica;
- Acoplamento: responsável pela união e transmissão entre o motor elétrico e a bomba, sua função também é a de corrigir o desalinhamento entre os eixos;
- Motor elétrico: é a fonte de acionamento do sistema, é quem recebe a energia proveniente da rede e transforma a mesma em energia mecânica através de rotação e torque. É dele que se tira à potência para o circuito hidráulico;
- Bloco *Manifold*: é utilizado para oferecer uma maior compactação ao conjunto, pois dispensa uma série de mangueiras e tubos e grande parte dos componentes são montados diretamente no bloco;
- Válvula de alívio: responsável pelo controle da pressão máxima do sistema e pela proteção dos componentes instalados uma vez que atingida a pressão nela regulada a válvula abre e desvia o excesso de óleo diretamente para o tanque;
- Válvula direcional elétrica: como o próprio nome diz é quem direciona o fluido do sistema para o cilindro e do cilindro para o tanque, o nome elétrico dá-se devido ao comando da mesma ser realizado por sinal elétrico enviado as suas bobinas;

- Conectores elétricos: componentes que apenas facilitam a instalação do comando da válvula direcional elétrica;
- Manômetro: instrumento utilizado para a leitura da pressão do sistema;
- Mangueiras hidráulicas: responsável pela condução do fluido até o ponto solicitado e ajudam também na dissipação do calor;
- Cilindro Hidráulico: nesse caso é o atuador do sistema, responsável pela conversão da energia hidráulica em energia mecânica, realiza um movimento de avanço e retorno linear. A força resultante de um cilindro dá-se basicamente em função da pressão do sistema e da área do cilindro, seguindo a formula $F = P \times A$;
- Conexões: responsáveis pela união e redução entre componentes e tubulação.

4.4 MOTOR SUSPENSO

Visando medir o torque, foi montado um suporte para motor com fixação pelo eixo onde o motor ficaria apoiado no eixo, de modo que a carcaça do motor pudesse girar para evitar que o motor gire. Para isso foi acoplada uma balança, conforme figura 10, para impedir que o motor gire e assim medir a força exercida, para posteriormente calcular o torque.

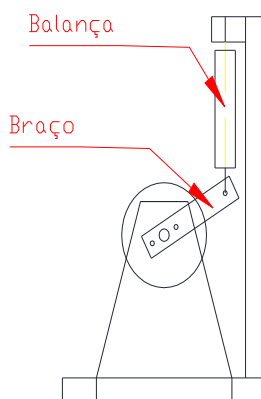


Figura 10 – Fixação da balança
Fonte: Próprio autor

Para construir o motor suspenso, foi utilizado um motor de $\frac{1}{2}$ CV, cujo eixo foi prolongado de modo que fosse possível colocar um rolamento em cada ponta para sustentar o motor, a fim de diminuir o atrito conforme figura 11.

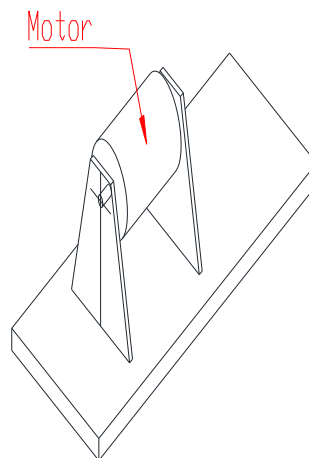


Figura 11 – Fixação da balança
Fonte: Próprio autor

Após a montagem do projeto, a figura 12 demonstra a situação final do motor suspenso.



Figura 12 – Motor suspenso
Fonte: Próprio autor

4.5 CIRCUITO DE POTÊNCIA

Como já visto no Capítulo 2, o circuito de potência é o responsável por controlar a tensão de saída para o motor, uma vez que o mesmo é conectado diretamente, sem estágios intermediários.

O circuito de potência está exemplificado na figura 13.

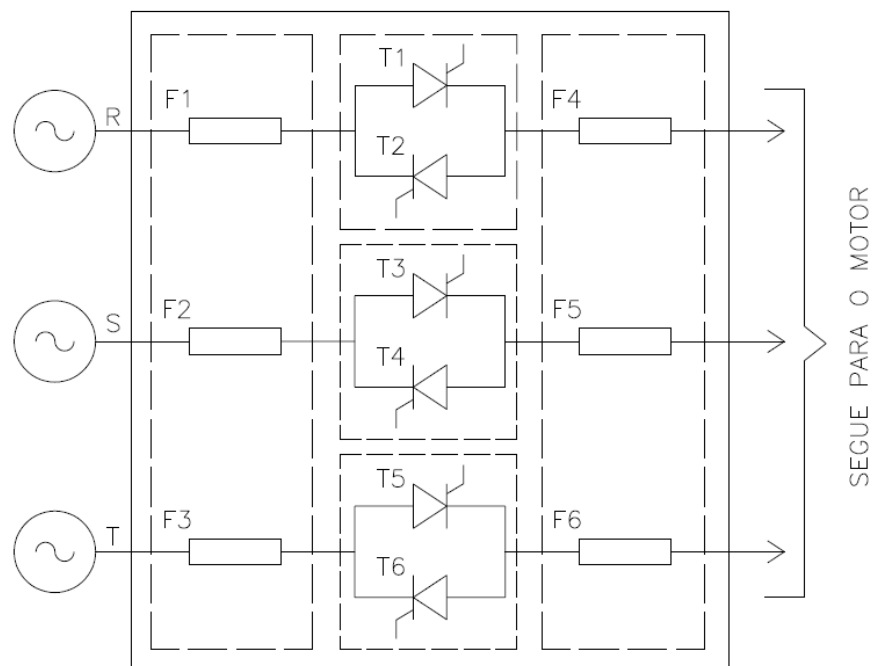


Figura 13 – Esquema Módulo de Potência
Fonte: Próprio autor

Para a bancada didática em questão, foi utilizado um módulo de potência, que possui:

- Módulo completo do circuito de potência, figura 14;



Figura 14 – Módulo Circuito de Potência
Fonte: Próprio autor

- Proteção, a partir de três fusíveis de entrada e três fusíveis de

saída, figura 15;



Figura 15 – Fusíveis de Proteção
Fonte: Próprio autor

- Seis Tiristores (três blocos contendo dois Tiristores cada) modelo SKKT 27/16 E, do fabricante *SEMIKRON*, conforme figura 16;



Figura 16 – Blocos de Tiristores
Fonte: Próprio autor

- 12 conexões endereçadas para placa de controle devidamente

identificadas, figura 17;

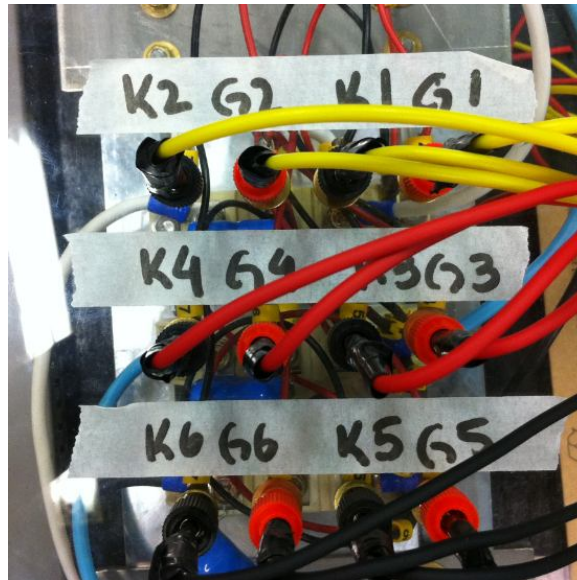


Figura 17 – Identificações endereçadas
Fonte: Próprio autor

A configuração dos Tiristores foi implementada no modo de controle da tensão por ângulo de disparo, vide figura 18.

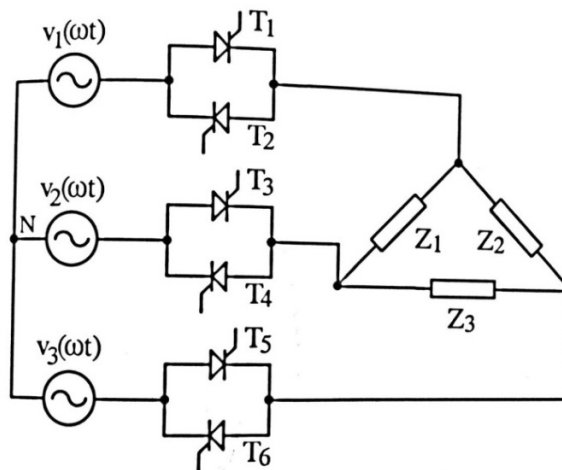


Figura 18 – Configuração de Tiristores
Fonte: BARBI, I, 2000.

4.6 CONEXÃO DA PLACA DE CONTROLE COM O CIRCUITO DE POTÊNCIA

Um importante detalhe para o funcionamento total da placa de controle é a sequência de fases da concessionária. Foi necessária a identificação das fases no módulo de potência, pois ela deve ser mantida tanto na placa de controle, quanto na saída para a carga. Caso contrário o sistema não entrará em funcionamento e a placa de controle poderá ser danificada. Na figura 19 os três módulos de Tiristores estão devidamente identificados para a conexão com a placa de controle.

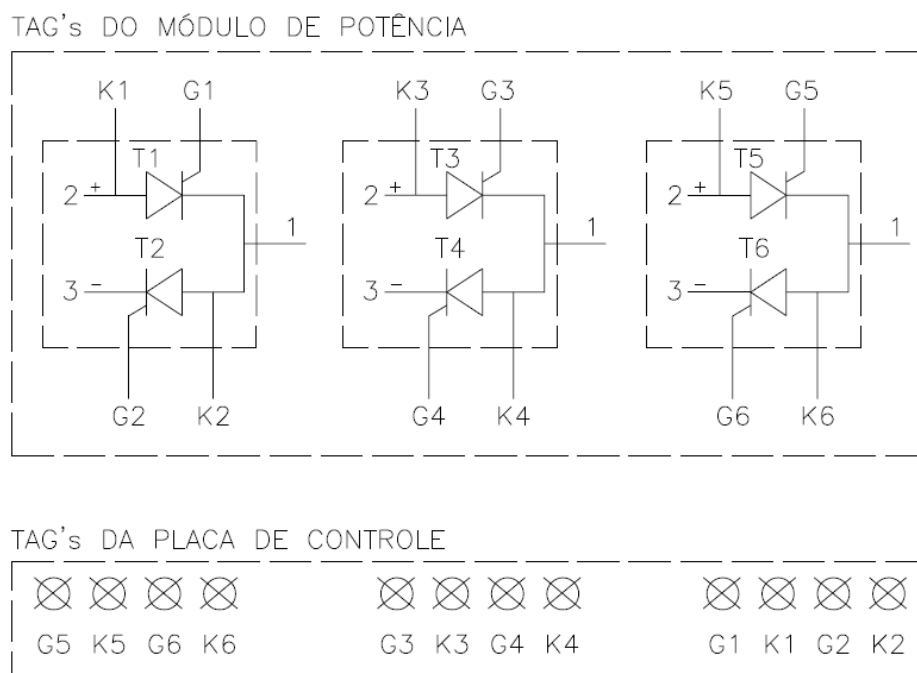


Figura 19 – Diagrama de conexões da placa com o módulo de potência
Fonte: Próprio autor.

A placa utilizada possui três conjuntos de quatro saídas para o controle, totalizando 12 (doze) conexões para os Tiristores devidamente identificados, tanto na própria placa, figura 20, quanto no manual utilizado.

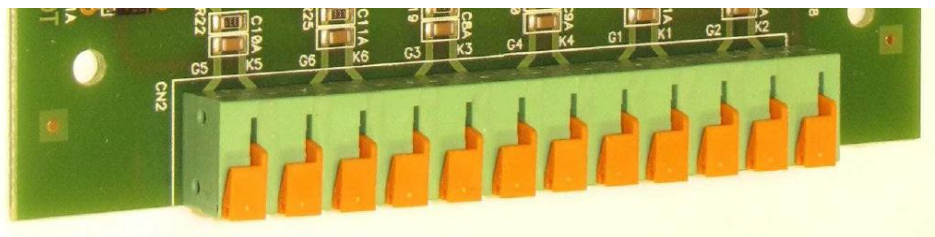


Figura 20 – Identificação dos terminais de saída da placa
Fonte: Fabricante Semikron

As conexões e identificações são primordiais para o funcionamento da placa, não podendo haver nenhuma discrepância em relação aos Tiristores juntamente com as saídas.

Para o controle de disparo dos Tiristores é necessário uma excitação CC diretamente inserida na placa utilizada, por uma fonte externa, modelo HY3003D do fabricante *Politerm*, conforme figura 21. Esta tensão CC tem como objetivo alterar o ângulo de disparo do *Gate* do Tiristor. Ou seja, variando a fonte de tensão dentro de um valor determinado, no caso de 5,5 Vcc à 7,5 Vcc, o ângulo de disparo dos Tiristores são alterados, e assim a velocidade do motor pode aumentar ou diminuir. No próximo capítulo será analisada a alteração de velocidade a partir da fonte CC externa.



Figura 21 – Fonte CC
Fonte: Próprio autor

4.7 PAINEL DE COMANDO

O painel de comando tem o objetivo de controlar os movimentos do cilindro hidráulico e permitir a automação do sistema através do ciclo automático. Este sistema foi desenvolvido, e posteriormente montado, vide figuras 22. No apêndice C, D e E é mostrado: o circuito de comando, o circuito de força e os materiais utilizados, respectivamente.

Internamente o painel é composto por um disjuntor geral que alimenta todos os componentes, três contatores que são responsáveis pelo ciclo automático e bornes de ligação onde são conectados os componentes do circuito.

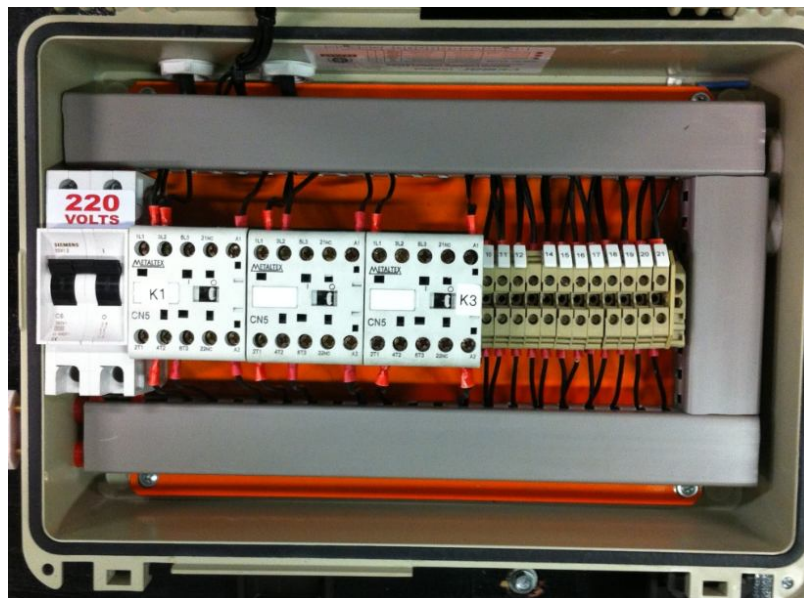


Figura 22 – Parte frontal do Painel de Comando
Fonte: Próprio autor

Na parte externa do painel, figura 23, pode-se escolher entre realizar os movimentos de forma manual ou automática. No ciclo manual existem duas botoeiras, uma de avanço e uma de retorno onde cada qual manda energia diretamente a sua respectiva bobina. Já no ciclo automático por questões de segurança, o mesmo só se inicia se o

cilindro estiver acionando um dos fins de curso, e cada vez que o movimento do cilindro aciona o respectivo fim de curso acontece uma reversão no movimento. Esse ciclo torna-se contínuo até que seja interrompido através da botoeira de desliga ou de emergência.



Figura 23 – Parte interna do Painel de Comando
Fonte: Próprio autor

CAPÍTULO 5

5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será demonstrado o funcionamento e o comportamento da bancada, como: curvas características com as variáveis mais importantes obtidas a partir de testes e coleta de dados.

Visando verificar o desempenho da bancada, da parte elétrica e mecânica, foram realizados os teste a seguir demonstrado.

5.2 ROTEIRO DE TESTE DA BANCADA

5.2.1 Alimentação do Sistema

Para iniciar o funcionamento da bancada, conforme figura 24, é necessário realizar os seguintes procedimentos de alimentação:

- Alimentar com rede 220V trifásico a placa de potência;
- Alimentar o painel de controle hidráulico com 220V;
- Alimentar a fonte CC com 127V;
- Alimentar a placa eletrônica de controle dos Tiristores com tensão variável de 0 a 7,5 Vcc.

5.2.2 Procedimento para Coleta de Dados

Para uma melhor visualização dos dados realizados em forma de gráfico, foi dividida a tensão de alimentação em sete pontos: 5,5V; 5,8V; 6,1V; 6,4V; 6,7V; 7V; 7,3V e 7,5V.

Para cada tensão de alimentação foram coletados os seguintes dados:

- Rotação do MIT;
- Velocidade do cilindro no avanço;
- Velocidade do cilindro no retorno;

- Torque do motor;
- Corrente;
- Tensão de saída AB;
- Tensão de saída BC;
- Tensão de saída CA;
- Fator de Potência;
- Potência Ativa (W);
- Potência Reativa (VAR);
- Potência Aparente (VA);
- Harmônicas de tensão;
- Harmônicas de corrente.

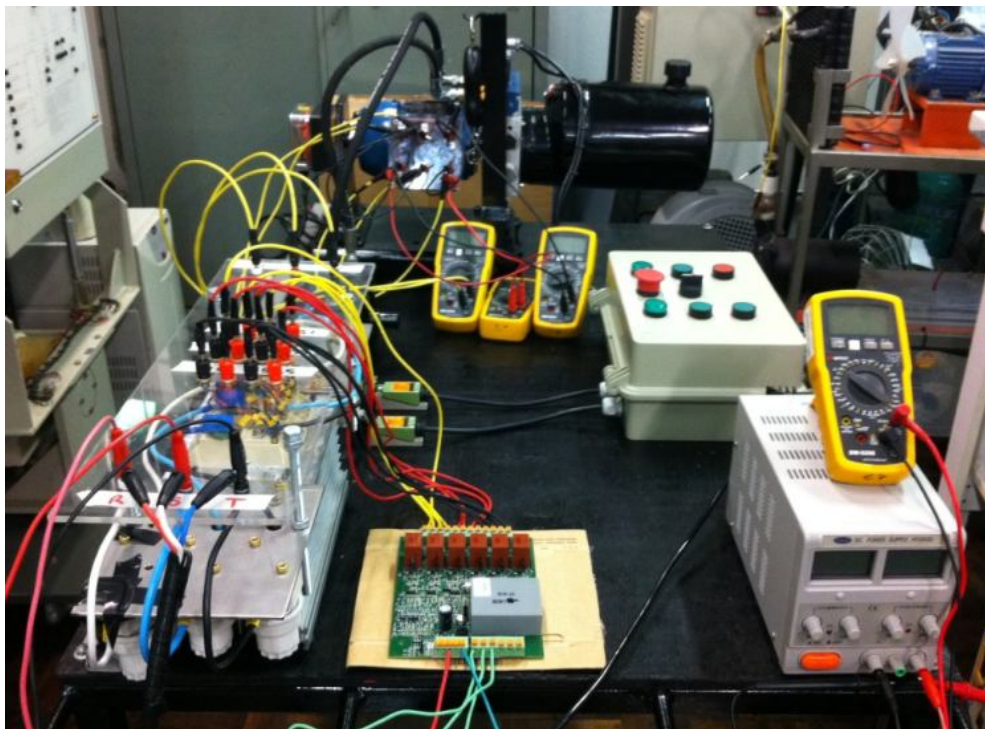


Figura 24 – Alimentação geral da bancada
Fonte: Próprio autor

5.2.3 Excitação da Placa de Controle

Para iniciar a partida do sistema é necessário excitar a placa de controle, e está ativar os Tiristores de potência. Para que o motor entre em movimento a placa de controle deve ser alimentada com tensão de 5 a 7,5v, devendo o operador não deixar a tensão ser inferior ou superior a esses limites de tensões. Caso a tensão fique inferior, o motor será alimentado com baixa tensão e não será capaz de girar, o que pode ocasionar a queima do mesmo. A velocidade do motor será proporcional a tensão da placa, ou seja, mais próximo de 5v mais lento o motor, mais próximo de 7,5v maior a velocidade.

O tiristor funciona com um pulso no gatilho e a cada passagem pelo 0V, na ondulação senoidal da tensão, ele se desliga, necessitando assim de um novo pulso no gatilho para conduzir novamente. Como o semi-ciclo senoidal vai do 0° a 180°, quanto mais próximo do 0° maior será o tempo de condução do componente e conseqüentemente maior tensão será fornecida pelos Tiristores. E quanto mais próximo dos 180° menor o tempo de condução do componente, ocasionando assim uma menor tensão fornecida pelos Tiristores.

Sendo assim, a placa de controle era alimentada com tensão de 0 a 7,5V sendo o 0V igual aos 180° fasoriais, e o 7,5v igual ao 0° da senoide, assim se conclui que cada um grau equivale à aproximadamente 0,04167V na placa de alimentação, e como foi mencionado acima, a alimentação da placa indicada para o sistema era de 5,5 a 7,5v, assim:

- 5,5V equivalem a 48°;
- 5,8V equivalem a 40,8°;
- 6,4V equivalem a 26,4°;
- 6,7V equivalem a 19,2°;
- 7V equivalem a 12°;
- 7,3V equivalem a 4,8°;

- 7,5V equivalem a 0°.

Ou seja, a placa de controle controla os Tiristores de 0° à 48°, acima desses valores de ângulos não foi testado porque a tensão que ficava disponível não era capaz de tirar o motor da inércia quando ele estava com carga.

5.3 ACIONAMENTO DA CARGA

Ao iniciar o movimento de rotação do motor elétrico, o torque e a rotação são transmitidos à bomba por meio do acoplamento, a qual inicia a sucção do óleo do reservatório enviando o mesmo para o sistema e distribuindo por todos os componentes. Logo, inicia-se o trabalho da válvula de alívio e da válvula direcional, os quais são responsáveis pelo direcionamento do fluído, seja para avançar, ou retornar o cilindro hidráulico, ou simplesmente para desviar o fluído para o tanque.

Na sequência serão demonstrados três tipos de acionamentos usados no projeto:

- Acionamento em Regime Permanente;
- Acionamento à Vazio;
- Acionamento em Modo Automático.

5.4 ANÁLISE E COLETA DE DADOS

A seguir serão demonstrados os dados levantados da bancada, a partir de tabelas e gráficos.

5.4.1 Motor à Vazio

No acionamento a vazio o sistema hidráulico opera somente realizando a sucção do óleo do tanque e circulando o mesmo por dentro da válvula direcional, e posteriormente, devolvendo para o tanque. Todo esse processo é realizado sem que exista nenhuma

pressão no sistema, uma vez que o óleo circule livremente sem encontrar resistência ao fluxo.

A potência desenvolvida/solicitada pelo sistema é apenas pela carga gerada para manter o giro do motor, e para girar a bomba hidráulica.

Tabela 1 - Dados à vazio

Coleta de Dados - A Vazio																	
FASES	Sinal de Controle (Vcc)	Ângulo Disparo Tiristor (°)	Tensão Saída MIT (Vca)			Corrente Saída MIT (A)	Velocidade do MIT (RPM)	Força do MIT (Kg)	Torque (N.m)	FP	Potência Ativa (W)	Potência Aparente (kVA)	Potência Reativa (kVAR)	Distorção Harmônica de Tensão			Distorção Harmônica de Corrente
			AB	BC	CA									AB	BC	CA	
1	5,5	48	129,8	113,1	128,7	2,55	2380	0,475	0,7448	0,99	166,9	161,9	19,05	54,83	74,74	54,23	37,41
2	5,8	40,8	147,4	137	149,8	1,97	2735	0,535	0,83888	0,96	148,1	150,7	32,2	38,35	52,53	36,88	37,7
3	6,1	33,6	170,9	162,6	174	1,62	2985	0,55	0,8624	0,93	141,5	152,8	56,7	25	34,27	25,3	34,96
4	6,4	26,4	188,3	183,1	189,1	1,59	3085	0,56	0,87808	0,89	150,7	159,6	74,09	18,66	22,54	16,97	29,01
5	6,7	19,2	199,8	197,3	201,9	1,51	3120	0,57	0,89376	0,83	139,8	168,7	92,7	11,81	14,3	11,7	21,15
6	7	12	211,6	208,7	213,6	1,46	3195	0,58	0,90944	0,76	132,1	175,1	112,5	7,39	9,7	8,1	12,1
7	7,3	4,8	216	213,9	218,9	1,45	3215	0,59	0,92512	0,72	128,4	178,4	124,1	6,4	7	5,5	10,1
8	7,5	0	217,4	216,3	221	1,45	3225	0,6	0,9408	0,7	127,1	179,9	127,3	4,4	4,4	4,6	9,2

Fonte: Próprio autor

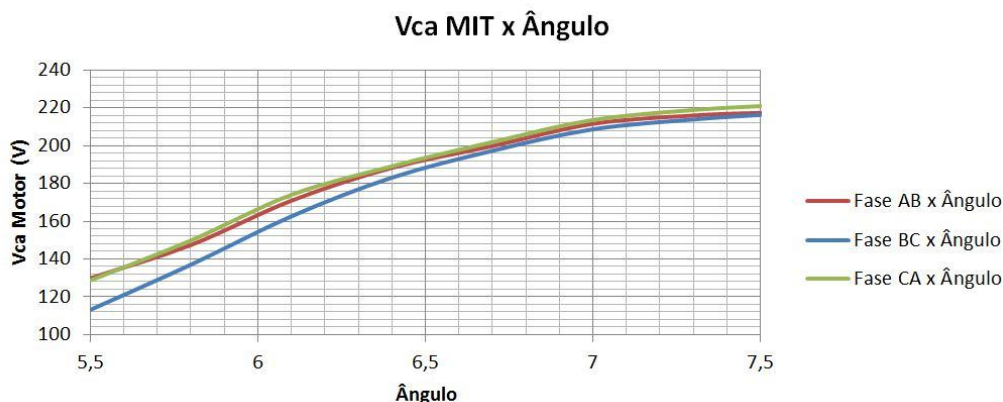


Figura 25 – Tensão do MIT por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 25, nota-se que a tensão de saída para o motor, fica com comportamento inverso ao da corrente, à medida que se aumenta a tensão de disparo, ou seja, a tensão começa em aproximadamente 120V, e sofre um aumento acentuado até cerca de 210V, e a partir daí tende a estabilidade da tensão nominal.

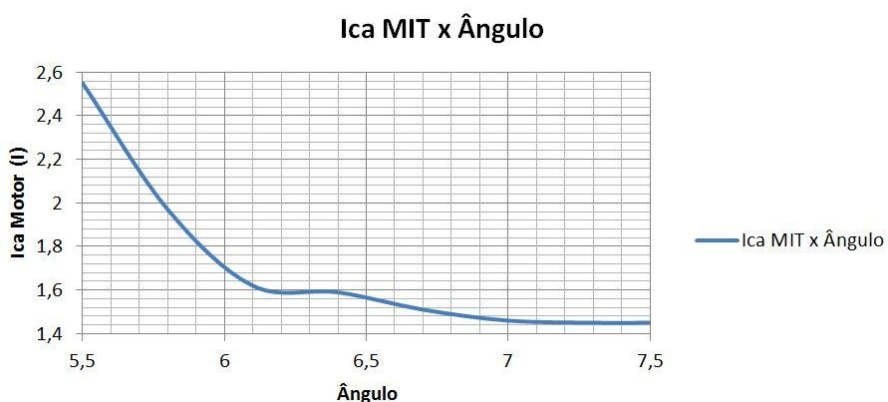


Figura 26 – Corrente por Tensão de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 26, se nota que à medida que a tensão aumenta (diminuição do ângulo de disparo) a corrente diminui, tendendo o motor chegar a corrente nominal de funcionamento. Basicamente quando a tensão de alimentação é menor que a nominal, o motor solicita uma corrente maior a fim de procurar manter a potência

nominal do motor, porém esse aumento da corrente pode ocasionar um aumento considerável da temperatura do motor.

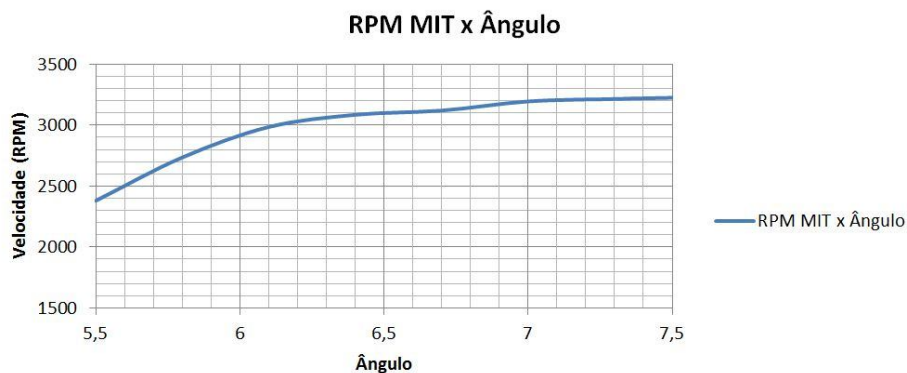


Figura 27 – Rotação do MIT por Tensão de Disparo
Fonte: Próprio autor

Observando o gráfico da figura 27, nota-se que a rotação do motor sofre uma aceleração acentuada até a tensão de disparo de 6,5V. A partir desse ponto, o motor tende a aumentar levemente a rotação à cerca de 100 RPM para cada 1V na placa de disparo.

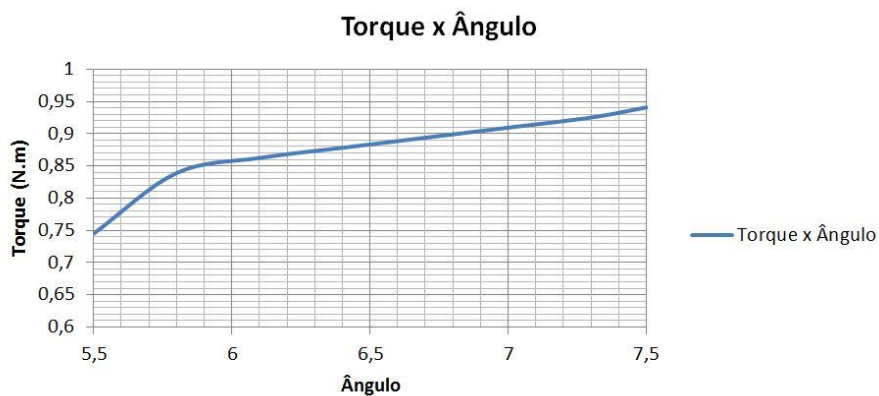


Figura 28 – Torque por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

Nota-se no gráfico da figura 28, que o motor sofre um aumento acentuado do torque até a tensão de alimentação de 5,9V. A partir desse ponto, até o máximo de tensão de alimentação, tem-se um comportamento linear do motor no quesito torque por tensão de alimentação.

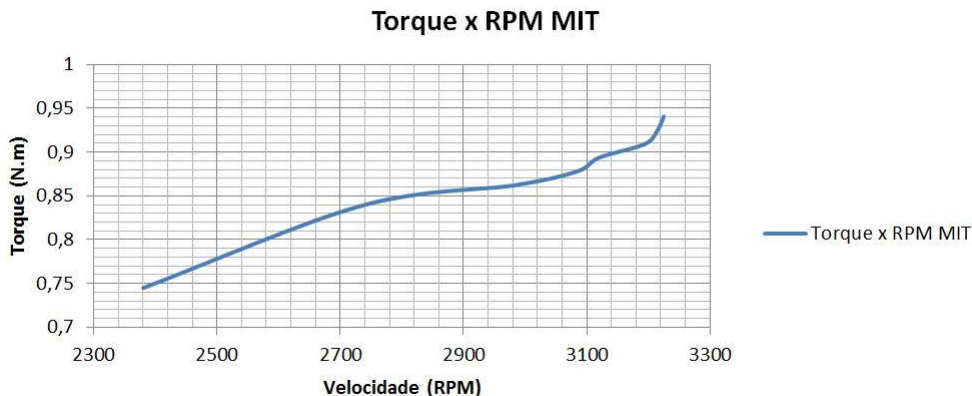


Figura 29 – Torque por Rotação do MIT
Fonte: Próprio autor

Na análise do gráfico da figura 29, nota-se que o torque fica aproximadamente linear em grande parte do horizonte de análise, porém se percebe também algumas oscilações, com tendência de pico próximo a rotação nominal. Motor em Regime Permanente a 5 bars

O acionamento em regime permanente acontece quando se atinge a pressão regulada na válvula de alívio. Para que isso aconteça se deve movimentar o cilindro até o final do curso, seja avançando ou recuando. Nesse momento o óleo não tem para onde ir e acaba desviando para o tanque através da válvula, abrindo no momento em que se atinge a pressão regulada na mola.

Alterando-se a pressão conseqüentemente altera-se a carga, uma vez que com pressões maiores a potência solicitada também é maior. Utilizando-se da fórmula de potência hidráulica $HP = (Q.P)/K$, onde K é uma constante e a vazão da bomba (Q) de engrenagem é fixa para uma rotação constante. Cada vez que se aumenta a pressão de trabalho a potência do conjunto também se eleva.

Nesse experimento foram utilizados testes as pressões 5kgf/cm², 7kgf/cm², 10 kgf/cm², conforme tabela 2.

Vale lembrar também que toda vez que se altera a rotação do motor elétrico a potência do conjunto também se altera já que a vazão do sistema varia junto com a rotação do. Observando a fórmula $Q = \frac{n \times d}{1000}$

(l/min), onde 'n' é a rotação do motor elétrico e 'd' é o deslocamento da bomba, percebe-se que a rotação influencia diretamente na vazão, conseqüentemente na potência do conjunto.

Tabela 2 - Pressão de trabalho do conjunto hidráulico

Pressão de Trabalho	5 kgf/cm ²	7 kgf/cm ²	10 kgf/cm ²
Força do Cilindro	101,35 kgf	141,89 kgf	202,7 kgf

Fonte: Próprio autor

Tabela 3 - Dados em Regime Permanente a 5 bars

FASES	Sinal de Controle (Vcc)	Ângulo Disparo Tíristor (°)	Tensão Saída MIT (Vca)			Corrente Saída MIT (A)	Velocidade do MIT (RPM)	Força do MIT (g)	Torque (N.m)	FP	Potência Ativa (W)	Potência Aparente (kVA)	Potência Reativa (kVAR)	Distorção Harmônica de Tensão			Distorção Harmônica de Corrente
			AB	BC	CA									B	AB	BC	
1	5,5	48	138,1	125,4	135,7	1,59	2845	0,425	0,6664	0,94	114	116,9	28,4	40,2	53,8	41,9	43,43
2	5,8	40,8	157	148	158,5	1,4	3040	0,435	0,68208	0,91	107,7	45,4	118,3	28,1	38,4	27,4	40,8
3	6,1	33,6	183,7	178,9	186,3	1,33	3150	0,445	0,69776	0,81	108,4	133,9	76,07	16,4	21,3	16,3	31,9
4	6,4	26,4	198,9	196,8	201,8	1,32	3170	0,45	0,7056	0,76	111,8	151,3	98,7	11,6	15,5	11,2	23,07
5	6,7	19,2	205,1	203,2	207,8	1,32	3195	0,455	0,71344	0,72	115	15835	108,5	9,8	12,5	9,6	16,9
6	7	12	213	211,8	216	1,31	3200	0,465	0,72912	0,69	117	168,4	122,3	7	8,7	7,6	11,6
7	7,3	4,8	216	214	219	1,3	3205	0,475	0,7448	0,67	118	174,8	127,4	5,8	6,6	3,9	8,4
8	7,5	0	217,6	215,6	219,4	1,25	3215	0,48	0,75264	0,69	120,5	178	128	4,8	5,4	5,3	8,5

Fonte: Próprio autor

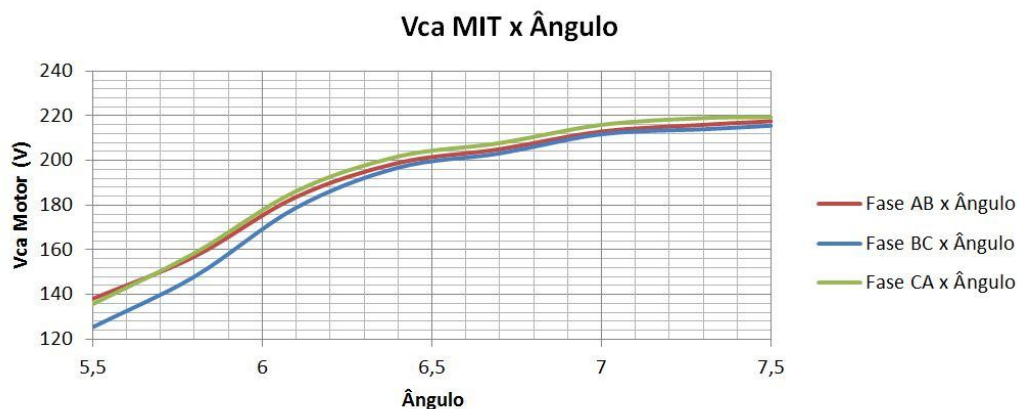


Figura 30 – Tensão do MIT por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 30, verifica-se que a tensão de alimentação do motor sofre um aumento rápido até a tensão de 6,5V na placa de controle, a partir desse ponto, a tensão do motor tende a tensão nominal de alimentação.

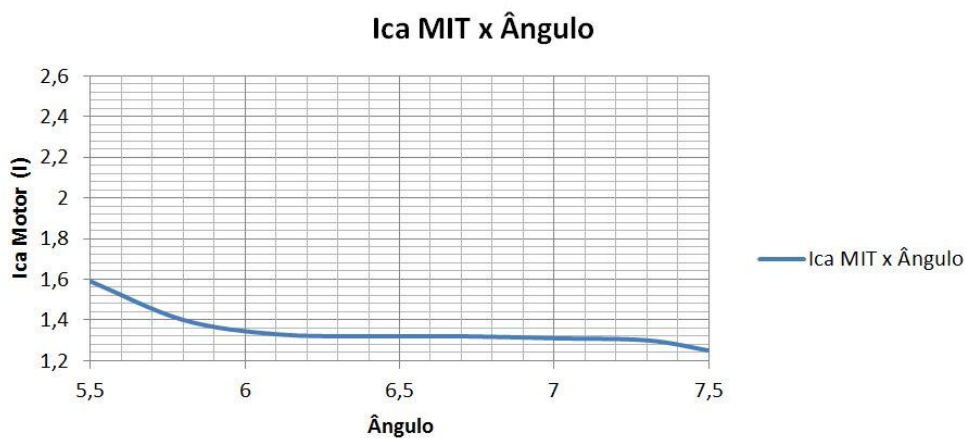


Figura 31 – Corrente por Tensão de Disparo
Fonte: Próprio autor

Na análise do gráfico da figura 31, nota-se que o motor trabalha com a corrente próxima a nominal do motor, porém sofre uma pequena queda até a tensão de disparo de 6V. A partir desse ponto a corrente tende a estabilidade.

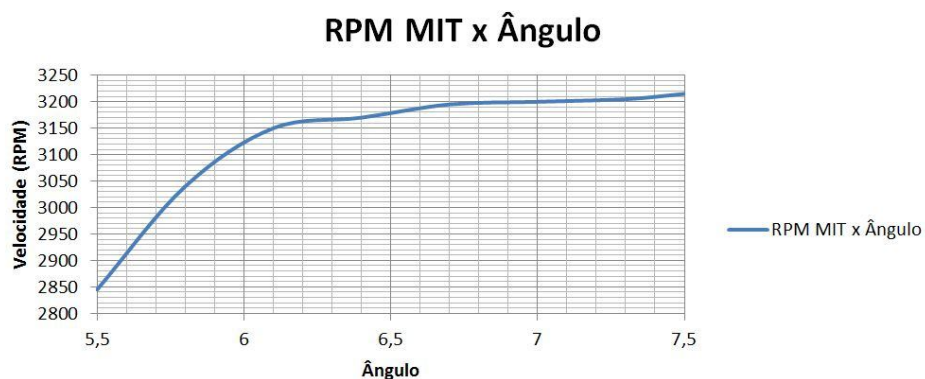


Figura 32 – Rotação do MIT por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 32, nota-se que a rotação do MIT sofre um aumento acentuado até a tensão de 6,1V, após esse ponto a rotação varia pouco com o aumento da tensão de alimentação.



Figura 33 – Torque por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 33, se percebe que o torque mantém um crescimento praticamente linear com o aumento da tensão de alimentação.

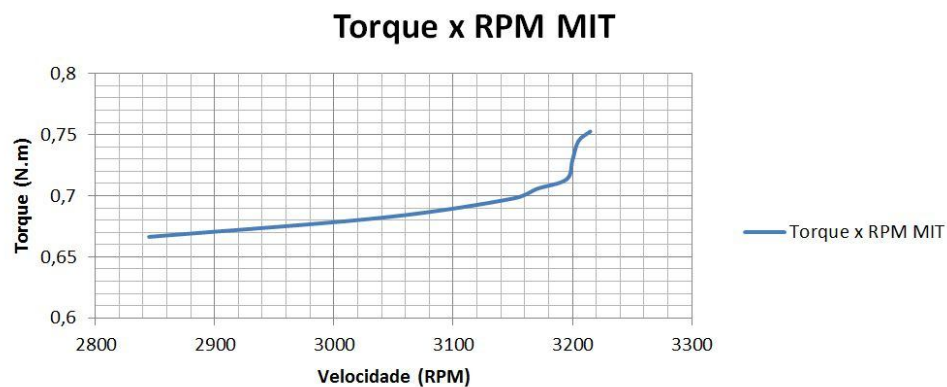


Figura 34 – Torque por Rotação do MIT
Fonte: Próprio autor

Observando o gráfico da figura 34, nota-se que o motor em grande parte do horizonte de análise mantém um crescimento suave à medida que a rotação aumenta, porém próximo à rotação nominal o motor tende a um pico de torque. Motor em Regime Permanente a 7,5 bars

A seguir foi repetido o procedimento em regime permanente, porém com pressão regulada em 7,5 bars.

Tabela 4 - Dados em Regime Permanente a 7,5 bars

FASES	Sinal de Controle (Vcc)	Ângulo Disparo Tiristor (°)	Tensão Saída MIT (Vca)			Corrente Saída MIT (A)	Velocidade do MIT (RPM)	Força do MIT (g)	Torque (N.m)	FP	Potência Ativa (W)	Potência Aparente (kVA)	Potência Reativa (kVAR)	Distorção Harmônica de Tensão			Distorção Harmônica de Corrente
			AB	BC	CA									B	AB	BC	
1	5,5	48	129,2	115,7	125,2	2,15	2340	0,455	0,71344	0,98	148	144,9	28,2	53,5	68,4	53,4	38,7
2	5,8	40,8	152,6	144,2	154,8	1,59	2790	0,495	0,77616	0,95	127	136,5	43,5	31	43,7	30,9	38,4
3	6,1	33,6	169,5	162,2	173	1,49	3050	0,505	0,79184	0,9	127,5	135	60,14	22,4	29,8	24,2	34
4	6,4	26,4	189,9	187,1	190,5	1,43	3100	0,51	0,79968	0,84	127	151	80,6	16,1	19,8	15,8	26,9
5	6,7	19,2	197,7	198,1	202,6	1,43	3120	0,53	0,83104	0,8	131	162,3	95,4	12,2	15,5	11,8	21,3
6	7	12	204,9	202,6	207	1,42	3125	0,545	0,85456	0,79	133	168,5	103,9	8,7	10,6	9,6	16,7
7	7,3	4,8	209	207,7	212,3	1,4	3150	0,55	0,8624	0,78	137,7	175,5	108,2	7,3	8,5	8,1	11,87
8	7,5	0	212,5	211,1	214,8	1,38	3165	0,555	0,87024	0,77	142	182,5	115,1	6,1	7,2	6,5	8,6

Fonte: Próprio autor

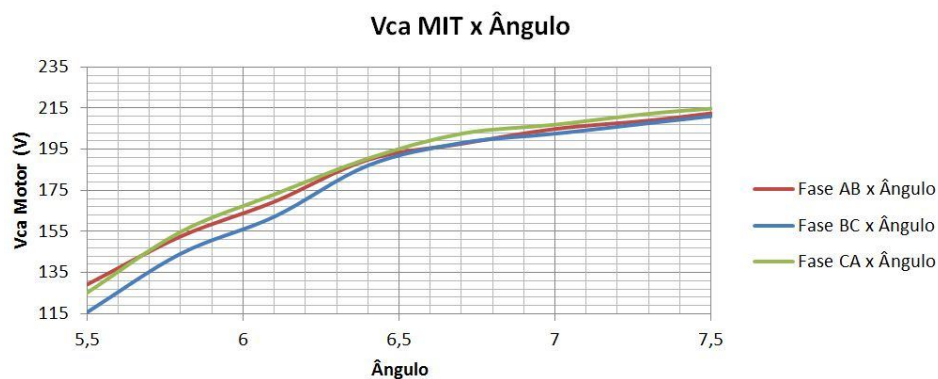


Figura 35 – Tensão do MIT por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 35, verifica-se que a tensão de alimentação do motor sofre um aumento rápido até a tensão de disparo de 6,5V na placa de controle. A partir desse ponto, a tensão do motor tende a tensão nominal de alimentação.

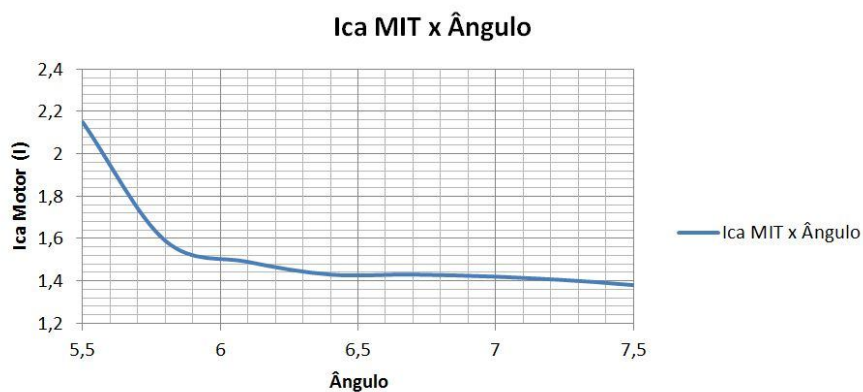


Figura 36 – Corrente do MIT por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 36, nota-se uma queda acentuada na corrente do motor à medida que se aumenta a tensão de placa de controle. Essa queda vai até a tensão de disparo da placa com 6V, a partir desse ponto, a corrente tende a nominal.

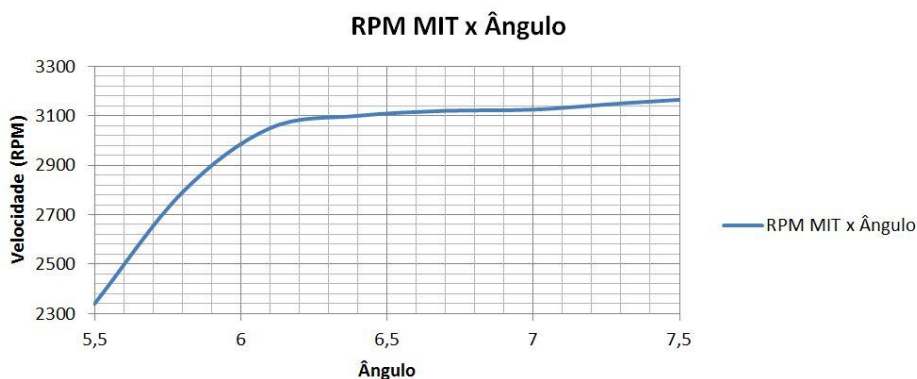


Figura 37 – Rotação do MIT por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 37, nota-se que a rotação sofre um aumento acentuado até a tensão de 6,1V, após esse ponto, a rotação varia pouco com o aumento da tensão de alimentação.

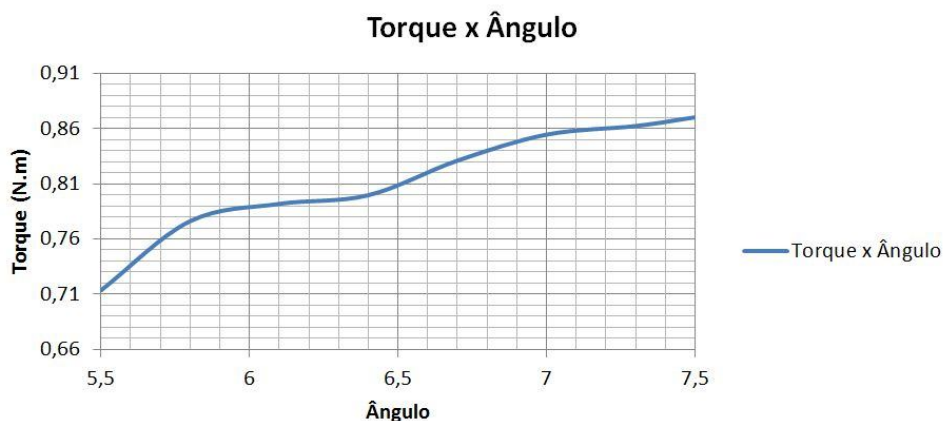


Figura 38 – Torque por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

Na análise gráfica da figura 38, verifica-se que o comportamento do torque oscila a medida que se aumenta a tensão de placa, com pontos de crescimento acentuado e estabilidade, e novamente crescimento.

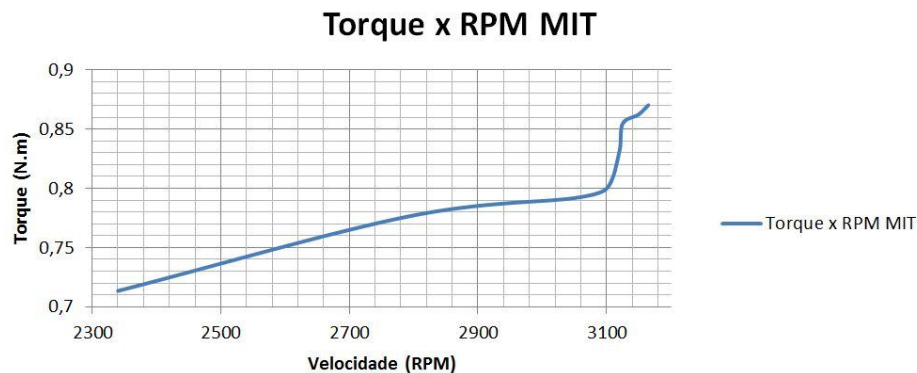


Figura 39 – Torque por Rotação do MIT
Fonte: Próprio autor

Observando o gráfico da figura 39, nota-se que o motor em grande parte do gráfico se mantém com um crescimento suave à medida que a rotação aumenta, porém próximo à rotação nominal, o motor tende a um pico acentuado de torque. Motor em Regime Permanente a 10 bars

A seguir foi repetido o procedimento em regime permanente, porém com pressão regulada em 10 bars.

Neste ensaio foi desprezada a tensão de disparo de 5,5V, pois a carga de 10 bars solicitava um torque superior ao que o motor fornecia com essa tensão de alimentação, portanto o motor não conseguiu entrar funcionamento.

Tabela 5 - Dados em Regime Permanente a 10 bars

FASES	Sinal de Controle (Vcc)	Ângulo Disparo Tiristor (°)	Tensão Saida MIT (Vca)			Corrent e Saida MIT (A)	Velocidade do MIT (RPM)	Força do MIT (g)	Torque (N.m)	FP	Potência Ativa (W)	Potência Aparente (kVA)	Potência Reativa (kVAR)	Distorção Harmônica de Tensão			Distorção Harmônica de Corrente	
			AB	BC	CA									B	AB	BC		CA
1	5,5	48																
2	5,8	40,8	140,1	128,9	140,7	2,29	2415	0,54	0,84672	0,96	169,5	172,7	42,6	44,6	60,22	41,5	36,35	
3	6,1	33,6	158,9	152,1	160	1,85	2835	0,57	0,89376	0,94	155,6	159,8	52,6	30,5	39,5	33,18	35,3	
4	6,4	26,4	177,8	174,6	181,9	1,62	3010	0,58	0,90944	0,59	148,5	162,5	70,26	20,9	27,4	21,13	30,98	
5	6,7	19,2	192,4	188	193,6	1,56	3060	0,585	0,91728	0,85	147,4	170	85,5	15,4	19	15,05	24,94	
6	7	12	203,1	202,9	205,9	1,55	3090	0,59	0,92512	0,82	149,12	181,4	102,8	10,5	13	11,7	18,3	
7	7,3	4,8	210,2	207,7	206,5	1,55	3115	0,595	0,93296	0,8	148	185	109,2	8,4	8,5	8,1	11,7	
8	7,5	0	212,5	211	215,6	1,54	3160	0,6	0,9408	0,78	150,8	193,3	120,6	7,7	7,5	7,1	9,8	

Fonte: Próprio autor

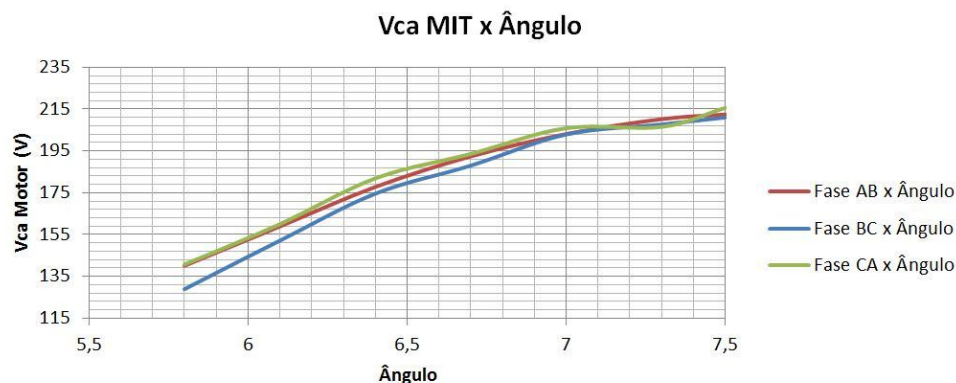


Figura 40 – Tensão do MIT por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 40, verifica-se que a tensão de alimentação do motor sofre um aumento rápido até a tensão de 7V na placa de controle, a partir desse ponto, a tensão do motor tende a tensão nominal de alimentação.

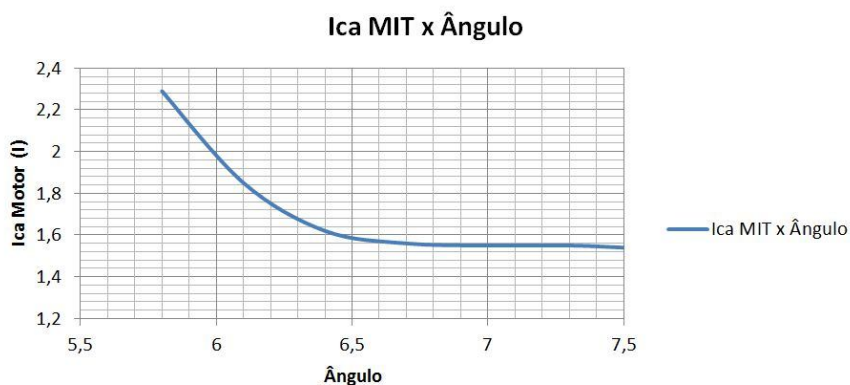


Figura 41 – Corrente do MIT por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 41, nota-se uma queda acentuada na corrente do motor à medida que se aumenta a tensão de placa de controle, essa queda vai até a tensão de placa com 6,5V a partir desse ponto, a corrente tende a nominal.



Figura 42 – Rotação do MIT por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

Para o gráfico da figura 42, nota-se que a rotação sofre um aumento acentuado até a tensão de 6,5V, após esse ponto, a rotação varia pouco com o aumento da tensão de alimentação.

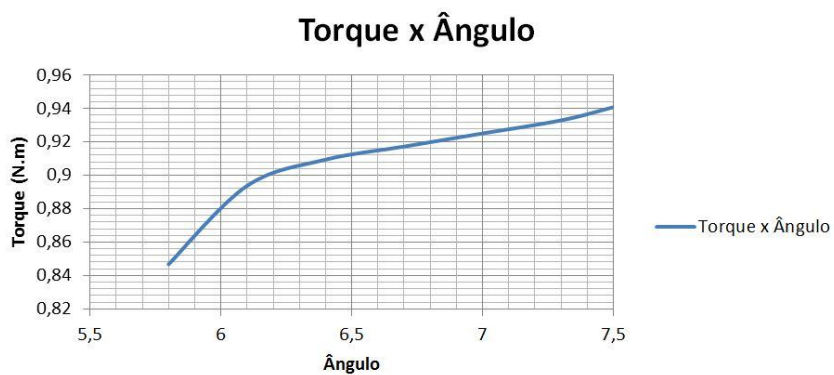


Figura 43 – Torque por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 43, o torque sofre um acentuado aumento até a tensão de placa de 6,3V, a partir desse ponto a variação tende a ser linear.

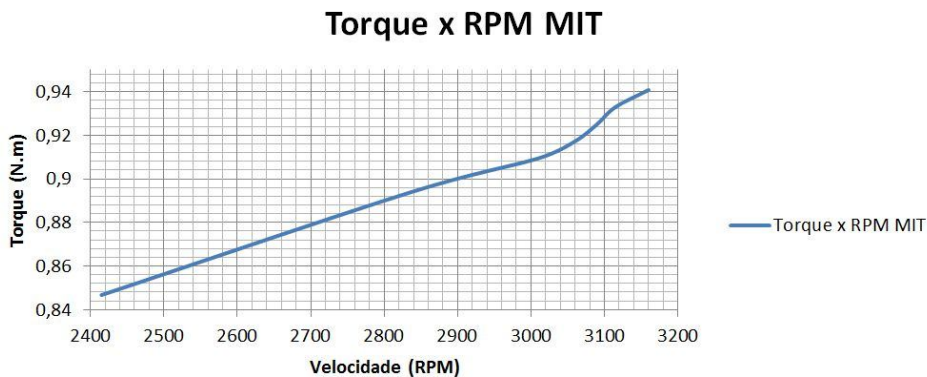


Figura 44 – Torque por Rotação do MIT
Fonte: Próprio autor

O gráfico da figura 44, nota-se que o motor em grande parte do gráfico se mantém com um crescimento linear à medida que a rotação aumenta, porém próximo a rotação nominal, o motor tende a um pico suave de torque. Motor em Modo Automático – Avanço do Pistão

No ciclo automático o cilindro hidráulico fica executando o serviço de avanço e retorno continuamente, comandado através de um painel e de fins de curso.

Nesse tipo de acionamento a pressão existente no sistema é somente o necessário para realizar o trabalho, onde nesse caso é somente o movimento do cilindro.

Vale observar que as pressões solicitadas para avançar e recuar são diferentes uma vez que as áreas também são diferentes, ou seja, no avanço onde a área é maior necessita-se uma pressão menor para vencer o atrito e realizar o movimento, já no caso do retorno que tem uma área menor devido à existência da haste necessita-se de uma pressão maior para fazer a mesma força.

Tabela 6 - Dados em modo automático – Avanço do Pistão

Coleta de Dados - Retorno do Pistão																			
FASES	Sinal de Controle (Vcc)	Ângulo Disparo Tiristor (°)	Tensão Saída MIT (Vca)			Corrente Saída MIT (A)	Velocidade do MIT (RPM)	Força do MIT (Kg)	Torque (N.m)	Tempo do Deslocamento Pistão (s)	Velocidade Linear do Pistão (m/s)	FP	Potência Ativa (W)	Potência Aparente (kVA)	Potência Reativa (kVAR)	Distorção Harmônica de Tensão			Distorção Harmônica de Corrente
			AB	BC	CA											A	B	C	
1	5,5	48	131	113	127	2,75	1910	0,43	0,67424	2,05	0,048780488	0,992	178,5	172	10	60,71	81,1	63,12	34,18
2	5,8	40,8	144	128	138	2,67	2355	0,57	0,89376	1,52	0,065789474	0,98	192	189	30,8	51,91	67,42	45,7	32,78
3	6,1	33,6	154,4	145	154,7	2,45	2615	0,695	1,08976	1,33	0,07518797	0,97	198,2	197	43,7	41,49	55,93	35,69	32,93
4	6,4	26,4	170,3	164,5	172,4	2,27	2815	0,75	1,176	1,2	0,083333333	0,96	179	206	58,9	31,72	42,92	32,31	32,33
5	6,7	19,2	184,3	181,2	186,1	2,06	3030	0,825	1,2936	1,11	0,09009009	0,93	194,5	202,8	74,35	23,13	31,5	24,2	28,79
6	7	12	196,9	193,6	197,3	1,92	3140	0,83	1,30144	1,05	0,095238095	0,903	186,7	205,6	82,4	19,4	21,02	17,32	23,66
7	7,3	4,8	204,3	203,9	208	1,76	3145	0,85	1,3328	1,03	0,097087379	0,87	176,9	209	100,6	13,22	14,7	13,11	22,6
8	7,5	0	216,3	209,8	213,9	1,7	3150	0,855	1,34064	1,03	0,097087379	0,84	172,3	206	109,8	7,59	8,9	9,7	14,67

Fonte: Próprio autor

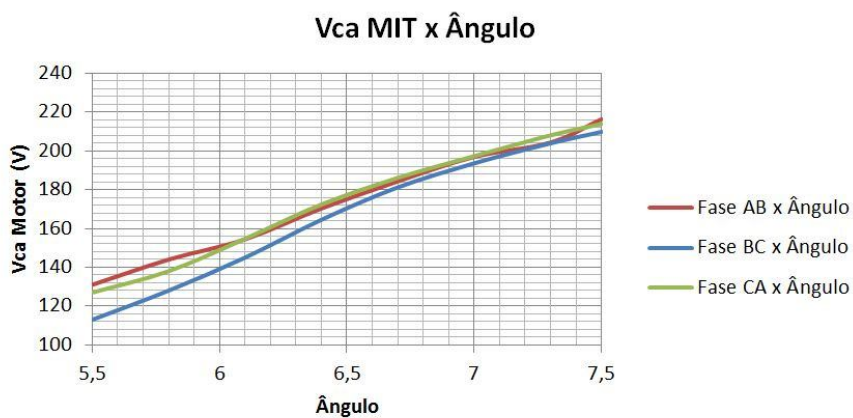


Figura 45 – Tensão do MIT por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 45, verifica-se que a tensão de alimentação do motor cresce linearmente até a tensão nominal de alimentação.

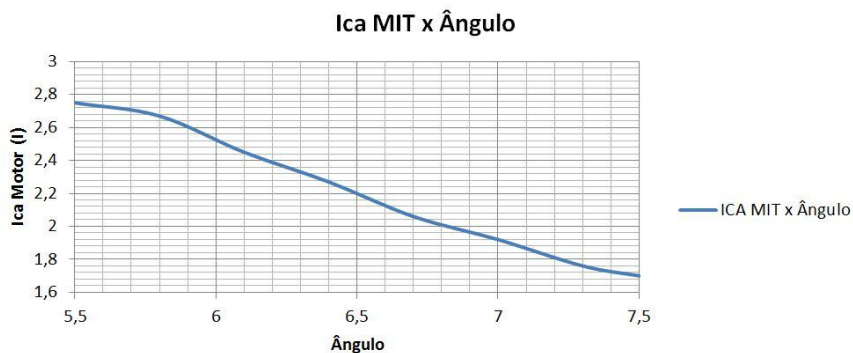


Figura 46 – Corrente do MIT por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 46, nota-se que na configuração avanço de pistão, a corrente teve um comportamento linear com a variação da tensão de placa, caindo à medida que a tensão aumentava.

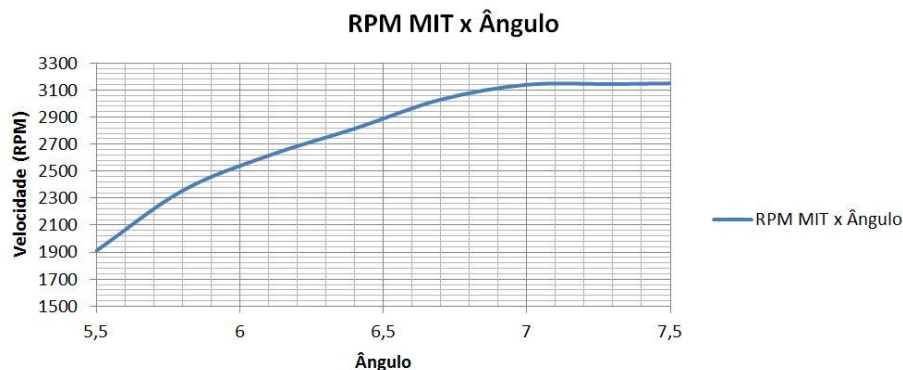


Figura 47 – Rotação do MIT por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

O gráfico da figura 47, nota-se que a rotação cresce linearmente até os 7V, após essa tensão o sistema se mantém estável, pois praticamente não há aumento da rotação do motor.

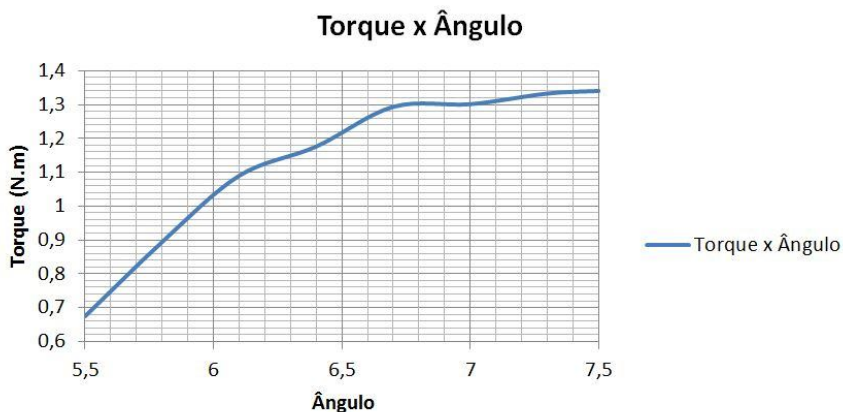


Figura 48 – Torque por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 48, percebe-se que o torque cresce acentuadamente até a tensão de 6,7V, a partir dessa tensão o torque cresce com menor intensidade tendendo a estabilidade.

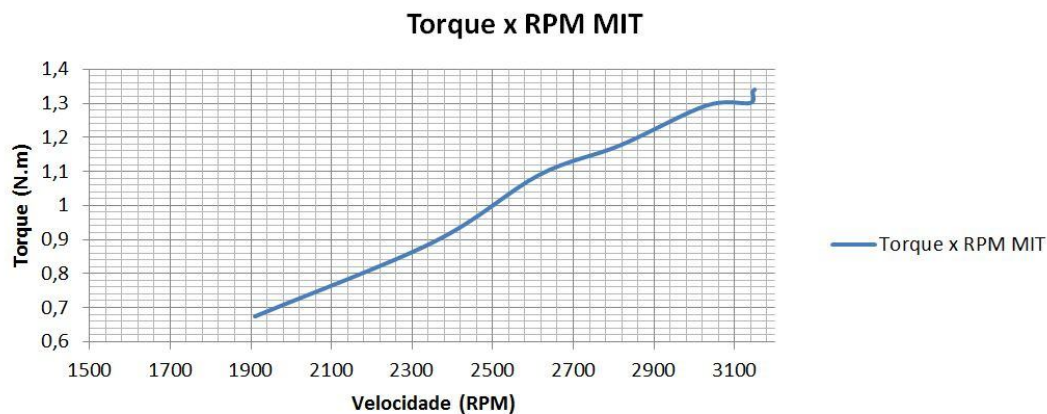


Figura 49 – Torque por Rotação do MIT
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 49, nota-se que o torque cresce linearmente com o aumento da rotação.

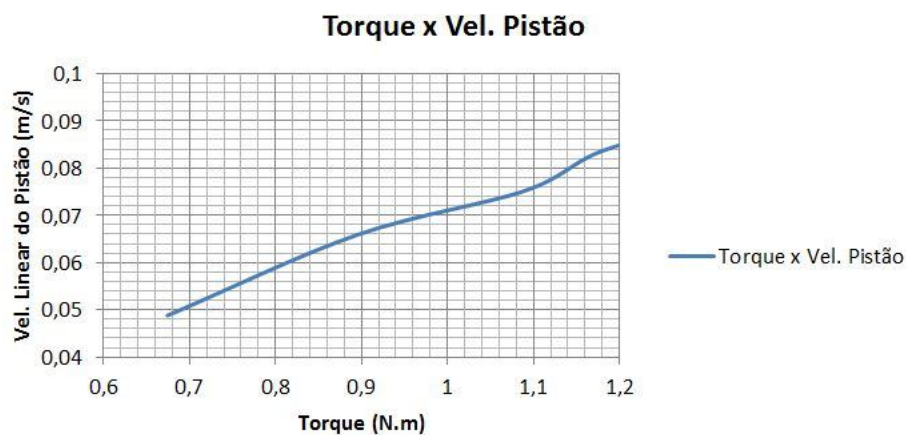


Figura 50 – Torque por Velocidade Linear do Pistão
Fonte: Próprio autor

Na análise do gráfico da figura 50, nota-se que o torque e a velocidade de deslocamento do cilindro hidráulico crescem proporcionalmente.



Figura 51 – Velocidade Linear do Pistão por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 51, nota-se que a velocidade do deslocamento linear do pistão aumenta de forma acentuada até a tensão de placa de 7V, após esse valor a velocidade linear tende a estabilidade.

 Motor em Modo Automático – Retorno do Pistão.

A seguir, será demonstrado o modo Automático, porém para o retorno do pistão.

Tabela 7 - Dados modo automático – Retorno Pistão

FASES	Sinal de Controle (Vcc)	Ângulo Disparo Tiristor (°)	Tensão Saída MIT (Vca)			Corrent e Saída MIT (A)	Velocidade do MIT (RPM)	Força do MIT (Kg)	Torque (N.m)	Tempo do Deslocamento Pistão (s)	Velocidade Linear do Pistão (m/s)	FP	Potência Ativa (W)	Potência Aparente (kVA)	Potência Reativa (kVAR)	Distorção Harmônica de Tensão			Distorção Harmônica de Corrente
			AB	BC	CA											A	B	C	
1	5,5	48	129,8	112	126	2,82	1620	0,435	0,68208	2,13	0,046948357	0,992	184,9	182	22	60,71	81,1	63,12	34,18
2	5,8	40,8	137	125	137	2,8	2060	0,56	0,87808	1,59	0,062893082	0,985	202	201	33,29	51,91	67,42	45,7	32,78
3	6,1	33,6	151,9	143,4	150,4	2,77	2360	0,645	1,01136	1,4	0,071428571	0,98	215	213,3	39,86	41,49	55,93	35,69	32,93
4	6,4	26,4	168,4	161,4	168,3	2,627	2610	0,675	1,0584	1,32	0,075757576	0,96	233	231	60	31,72	42,92	32,31	32,33
5	6,7	19,2	179,4	177,1	182,8	2,39	2895	0,73	1,14464	1,17	0,085470085	0,944	226	231,5	75,84	23,13	31,5	24,2	28,79
6	7	12	191,8	188,4	192,5	2,24	3020	0,74	1,16032	1,12	0,089285714	0,93	218,3	232,7	84,71	19,4	21,02	17,32	23,66
7	7,3	4,8	201,1	199,4	204,9	1,99	3025	0,745	1,16816	1,11	0,09009009	0,91	204	224	93	13,22	14,7	13,11	22,6
8	7,5	0	216,3	208,1	211,1	1,91	3060	0,75	1,176	1,11	0,09009009	0,87	201,3	224	106	7,59	8,9	9,7	14,67

Fonte: Próprio autor

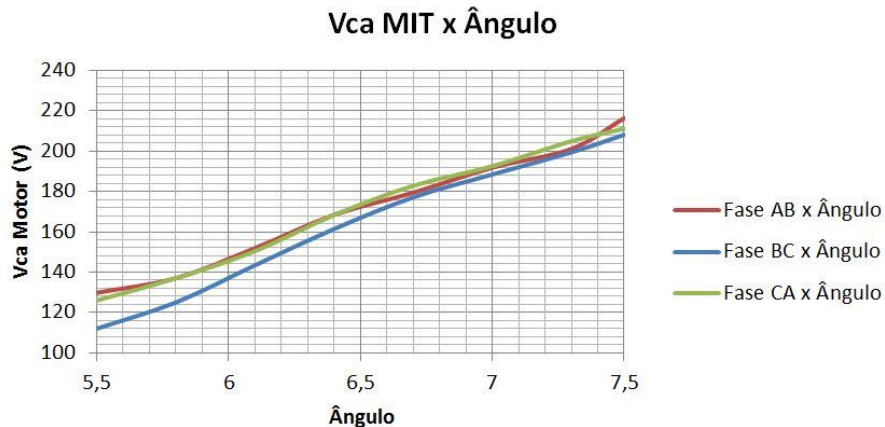


Figura 52 – Tensão do MIT por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 52, verifica-se que a tensão de alimentação do motor cresce linearmente até a tensão nominal de alimentação.



Figura 53 – Corrente do MIT por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

Analisando o gráfico da figura 53, nota-se que a corrente se manteve estável até a tensão de placa de 6V, após esse valor a corrente caiu bruscamente até a corrente nominal do motor.



Figura 54 – Rotação do MIT por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

Analisando o gráfico da figura 54, nota-se que a rotação aumenta praticamente linear até a tensão de alimentação de 7V, a partir desse ponto se nota que a rotação tende a estabilidade.

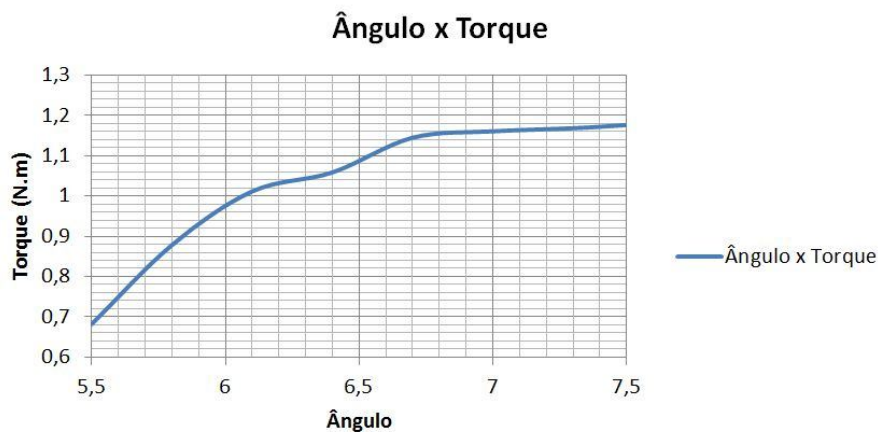


Figura 55 – Torque por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 55, nota-se que o torque aumenta bruscamente até a tensão de disparo 6,7V, a partir desse ponto o torque aumenta de forma mais sutil, tendendo a estabilidade quando a tensão de placa fica perto de seu máximo.

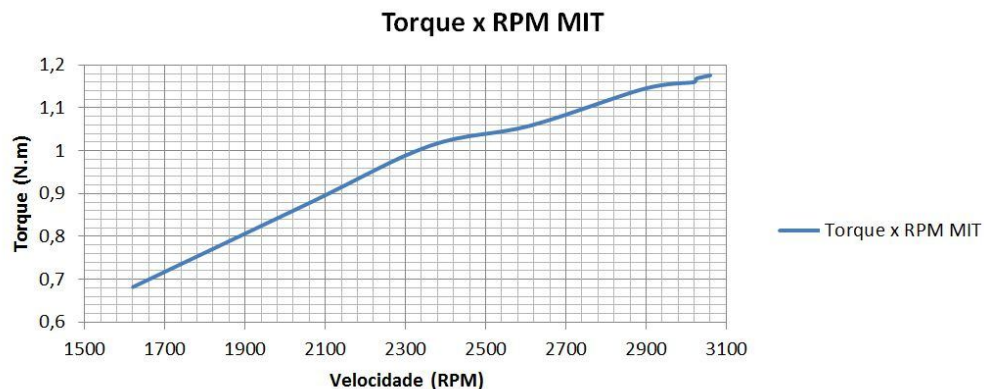


Figura 56 – Torque por Rotação do MIT
 Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 56, nota-se que o torque se manteve com comportamento linear enquanto se alterava a rotação.

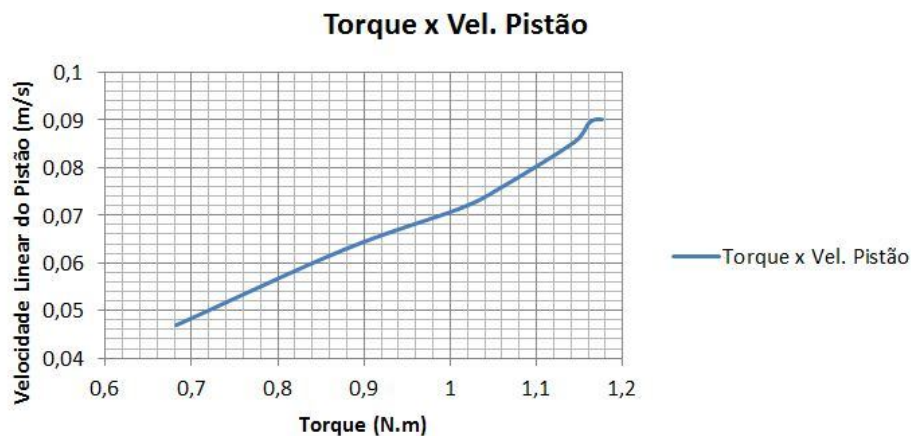


Figura 57 – Torque por Velocidade Linear do Pistão
 Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 57, verifica-se que o torque e a velocidade de deslocamento do cilindro hidráulico crescem proporcionalmente.



Figura 58 – Velocidade Linear do Pistão por Ângulo de Disparo
Fonte: Próprio autor

No gráfico da figura 58 nota-se que a velocidade do deslocamento linear do pistão aumenta de forma instável até a tensão de placa de 7V, após esse valor, a velocidade linear tende a estabilidade.

CAPÍTULO 6

6.1 CONCLUSÕES

Com os testes da bancada é possível analisar o comportamento de um motor controlado com um sistema de gradador, podendo concluir alguns pontos importantes em relação ao experimento.

Mesmo com uma pequena variação do ângulo de disparo de um sistema tiristorizado, (de 0 a 48 graus) houve um considerável controle do comportamento do motor onde, um motor com apenas essa diferença em graus, pode reduzir a rotação de forma eficiente em cerca de 40%, e com isso alterar a velocidade do pistão e, conseqüentemente o torque do motor.

O comportamento da corrente com a diminuição da tensão, quando esta está abaixo da nominal, aumenta de forma significativa, a fim de manter a potência média do motor. Porém, esse aumento brusco da corrente (cerca de 90% em relação a nominal) torna o sistema sujeito à falhas devido ao aquecimento excessivo do motor.

Nota-se que o motor quando trabalhou a vazio, em regime permanente a 10 bars, em avanço e em retorno, se exigiu uma corrente superior em um valor de disparo de tensão da placa do que quando ficou em carga de 5 bars ou em 7,5 bars, vide figura 59. Isso demonstra que o motor deve ser dimensionado para a aplicação destinada onde se a carga for superior à capacidade, consumirá mais, e se a carga for inferior também consumirá mais.

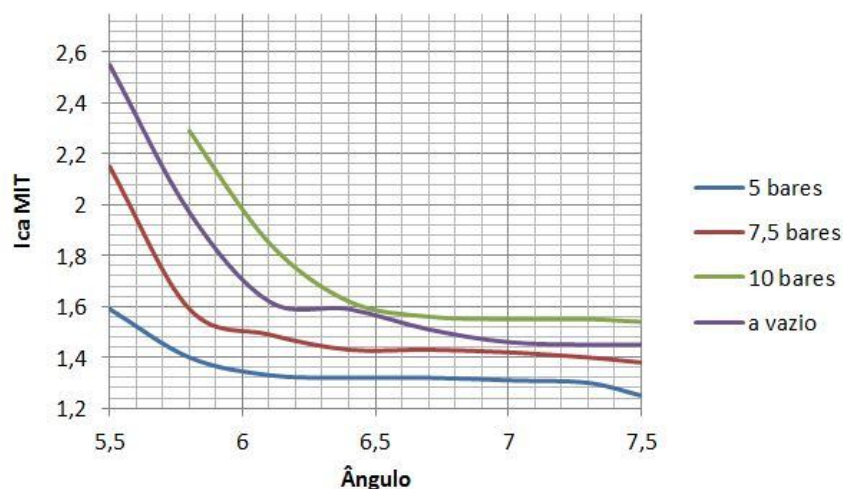


Figura 59 – Torque por Velocidade Linear do Pistão
Fonte: Próprio autor

O comportamento linear torque x rotação, é um fenômeno interessante a se utilizar em projetos que se necessite de torques com valores específicos, bastando apenas dimensionar o motor/rotação para o torque desejado.

Outro fator importante em relação aos testes foi à geração de harmônicas onde nota-se as harmônicas de corrente e tensão quando o ângulo de disparo era mais alto, sendo que as harmônicas diminuía à medida que o ângulo de disparo diminuía.

É constatado também que nas medições realizadas foram percebidas tendências de estabilidade do conjunto quando a tensão de alimentação ocorria com tensões de placa superiores a 6,7V, que equivalem ao ângulo de 19,2° da senoide, ou seja, a partir desse ponto o conjunto tende a respostas lineares.

Nas coletas de dados levantadas, em todas as medições, o fator de potência era alto quando o ângulo de disparo era maior. E o fator de potência diminuía à medida que o ângulo de disparo da placa era menor. Ou seja, o conjunto em uma maior rotação, possui um fator de potência menor, pois a potência ativa (W) procura se manter constante em qualquer nível de ângulo de disparo, por outro lado à potência

aparente aumenta à medida que se diminui o ângulo de disparo. Assim, diminuindo o fator de potência do conjunto.

O conjunto desenvolvido pode ser de grande valor para o ensino da área de controle de máquina eletrônicas e elétricas, onde o aluno poderá realizar os testes na bancada e alterar as configurações de carga: modo de ligar o motor, outros ângulos de testes, substituir os elementos de potência, substituição da placa de controle entre outros. Com a vantagem do circuito e o conjunto serem acoplados por meio de conexões que facilitem as ligações de mais componente, caso necessário.

Também nota-se as seguintes vantagens em se utilizar o gradador para o controle de partida de motores:

- Redução da corrente de partida, uma vez que não foi percebido o pico de corrente;
- Controle de velocidade do motor dentro das limitações de ângulos;
- Facilidade de utilizar o aparelho, sendo indicado para o ensino de graduação;
- Versatilidade de modificar as características do conjunto, como, por exemplo: troca de Tiristores; troca da placa de controle; modo de ligação estrela/triângulo;
- O gradador pode substituir o soft starter em sistemas com baixa potência para projetos que envolvam sistemas hidráulicos.

Desvantagens de se utilizar o gradador:

- Distorção harmônica de corrente e tensão;
- Aquecimento excessivo do motor quando estava em funcionamento com ângulos superiores a 48° .

6.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma boa parte dos problemas encontrados da bancada foi em relação ao conjunto mecânico, onde o curso de Tecnologia em Automação Industrial não possui foco em modos de construção mecânicas, e isso exigiu um esforço dos integrantes da equipe para desenvolver o projeto.

Outro ponto de dificuldade foi em relação ao conjunto hidráulico, pois no curso é focado mais sobre conjuntos pneumáticos e poucos sobre os sistemas hidráulicos, bombas, cilindros, mangueiras entre outros.

REFERÊNCIAS

BARBI, Ivo. “Eletrônica de Potência”, 6ª edição, UFSC, 2000.

RASHID, Muhammad H. “Eletrônica de Potência”, Editora: Makron Books, 1999.

ACIONAMENTOS DE MÁQUINAS ELÉTRICAS. ANDRADE, Darizon. Disponível em <www.feelt.ufu.br/pastas/Controle_de_motores/Cicloconversores.pdf> Acesso em 08 jan. 2014.

MATOS, Ewaldo Luiz. Disponível em <www.eletrica.ufpr.br/mehl/te067/gradador/gradador.pdf>. Acesso em 08 jan. 2014.

SEMICONDUTOR INTRÍNSICO E EXTRÍNSICO. Disponível em <<http://www.lsi.usp.br/~eletroni/milton/matpn.htm>>. Acesso em 10 out. 2013.

PAIXÃO, Jaqueline Pinho. “Controle de Velocidade de Motores Elétricos”, monografia apresentada no curso de especialização em Automação Industrial, UTFPR, 2009.

TACOGERADORES. Disponível em <<http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-tacogerador-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em 10 jan. 2014.

CONVERSORES CA/CA E GRADADORES DE TENSÃO. BATSCHAUER, Alessandro. Disponível em <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/batschauer/materiais/Gradadores_final.pdf>. Acesso em 26 nov. 2013.

UM ESTUDO DE USO DE GRADADOR DE TENSÃO EM MOTORES DE INDUÇÃO MONOFÁSICOS. PAULETTI, Luiz. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17566/000720389.pdf?sequence=1>>. Acesso em 26 nov. 2013.

PROJETO E CONTRUÇÃO DE UM GRADADOR SENOIDAL. MATTOS, Ewaldo. Disponível em <<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te067/gradador/gradador.pdf>>. Acesso em 26 nov. 2013.

MÁQUINAS ASSÍNCRONAS. Disponível em <http://www.faculdadedavilamatilde.com.br/publicacoes/maquinas_assincronas.pdf>. Acesso em 10 jan. 2014.

MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS. Disponível em <http://www.ifba.edu.br/professores/castro/MIT.pdf>. Acesso em 15 jan. 2014.

INTRODUÇÃO AOS SEMICONDUTORES. FRUETT, Fabiano. Disponível em <http://www.dsif.fee.unicamp.br/~fabiano/EE530/PDF/Texto%20-%20F%EDsica%20dos%20Semicondutores.pdf>. Acesso em 15 jan. 2014.

INTRODUÇÃO AOS SEMICONDUTORES. Disponível em <http://aquarius.ime.eb.br/~aecc/FundEngEle/Semicondutores.pdf>. Acesso em 15 jan. 2014.

TIRISTOR SCR. CORRADI, Junior. Disponível em http://www.corradi.junior.nom.br/Apostila_Tiristor_SCR.pdf. Acesso em 20 jan. 2014.

FUNDAMENTOS DE ELETRÔNICA. Disponível em https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/1061538/1/CAP5_Tiristores.pdf. Acesso em 20 jan. 2014.

FUNDAMENTOS DE ELETRÔNICA. Disponível em https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/1061538/1/CAP5_Tiristores.pdf. Acesso em 20 jan. 2014.

CONVERSORES CA-CA: VARIADORES DE TENSÃO E CICLOCONVERSORES. Disponível em <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/eltpot/cap10.pdf>. Acesso em 25 jan. 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Montagem mecânica da bancada

Para o apoio dos componentes usados neste projeto, foi necessário um projeto de uma mesa, apresentada na figura 60, dimensionada para comportar o peso e o tamanho dos equipamentos utilizados.



Figura 60 – Mesa de apoio
Fonte: Próprio autor

A mesa é composta dos seguintes materiais:

- Tubo retangular de ferro 30x40mm, como a espinha dorsal da mesa, figura 61. Ela foi dimensionada para assegurar o peso dos componentes a ela apoiados. As suas medidas são: 88x130x78cm (LxCxA);



Figura 61 - Tubo retangular de ferro
Fonte: Próprio autor

- Apoio manual para manobra da mesa, feita de ferro redondo 5/8", figura 62.

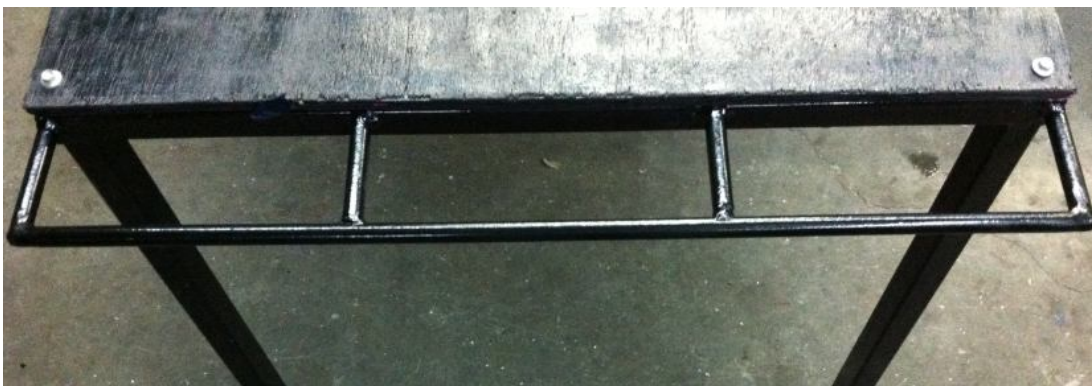


Figura 62 - Apoio manual
Fonte: Próprio autor

- Para a locomoção da mesa foi utilizado um conjunto de rodas, duas fixas e duas com rodízio que podem ser freadas, figura 63.



Figura 63 - Roda com trava
Fonte: Próprio autor

APÊNDICE B – Medidores

Medidor de Tensão e Corrente – Multimedidor:

Multimedidores são equipamentos para se obter leituras e parâmetros de acordo com o desejado. Normalmente são utilizados TP's (transformadores de potência) e TC's (transformadores de corrente) para medir a tensão e corrente, respectivamente. Porém, dependendo da aplicação do medidor, não se faz necessário o uso de TC e TP.

Na figura 64 há uma demonstração do display do multimedidor, neste caso da marca Embrasul modelo MD4040.

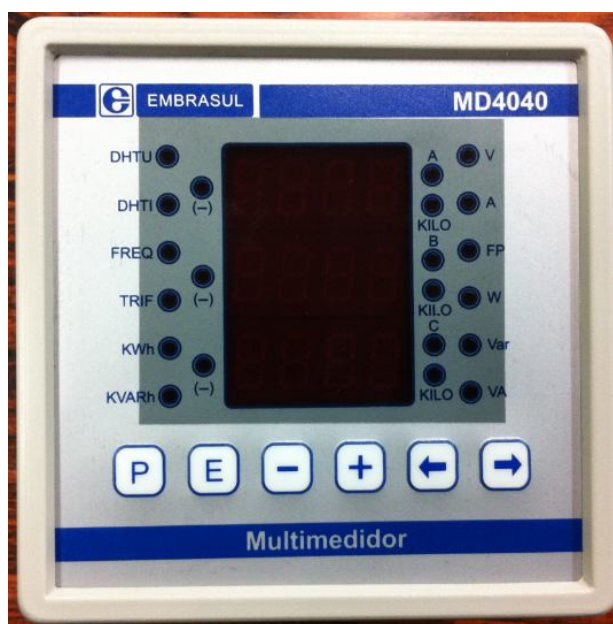


Figura 64 – Multimedidor MD 4040
Fonte: Próprio autor.

Para este medidor é possível obter valores de:

- Tensão,
- Corrente;
- FP (Fator de Potência);
- Potência ativa (W);
- Potência aparente (VA);
- Potência Reativa (VAR);
- Harmônicas de tensão e corrente.

Como o motor utilizado é de 1/2CV, ou seja, uma carga baixa, os cabos foram conectados diretamente no multimedidor, sem a utilização de TC.

Medidor de Velocidade – Taco Gerador:

São dispositivos elétricos CC, utilizados para medição de velocidade. São instalados em configuração de gerador, sendo o eixo do rotor conectado ao motor que se deseja medir velocidade.

Quando o motor entra em funcionamento, o taco-gerador, figura 65, (que está acoplado no eixo) acompanha o movimento exercido. Já que o taco está em uma configuração de gerador, gera uma tensão CC que é proporcional a velocidade do motor, ou seja, no caso da bancada utiliza-se uma proporção de 20vcc gerados para 1000RPM, conforme placa de identificação na figura 66.



Figura 65 – Taco-Gerador WEG
Fonte: Próprio autor.



Figura 66 – Placa de Identificação Taco-Gerador WEG
Fonte: Próprio autor.

A tensão gerada é conhecida com referência tensão/velocidade, portanto é proporcional a velocidade obtida, bastando converter a tensão obtida em velocidade do motor.

Medidor de Peso – Balança Digital:

A balança digital da marca AZPR, figura 67, se utilizará para medir com precisão a força exercida pelo motor quando estiver com carga. Foi fixada na sua parte superior com um gancho, e na parte inferior por uma tira de ferro que está acoplada e fixada no eixo no motor. Dessa maneira será possível se medir o torque.

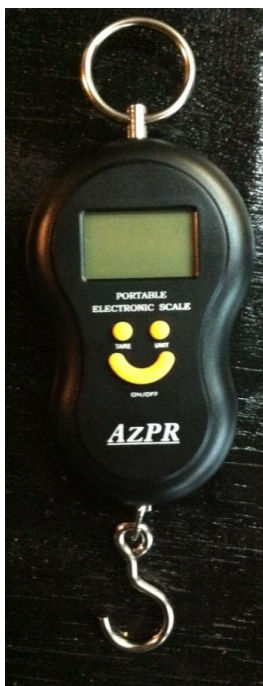
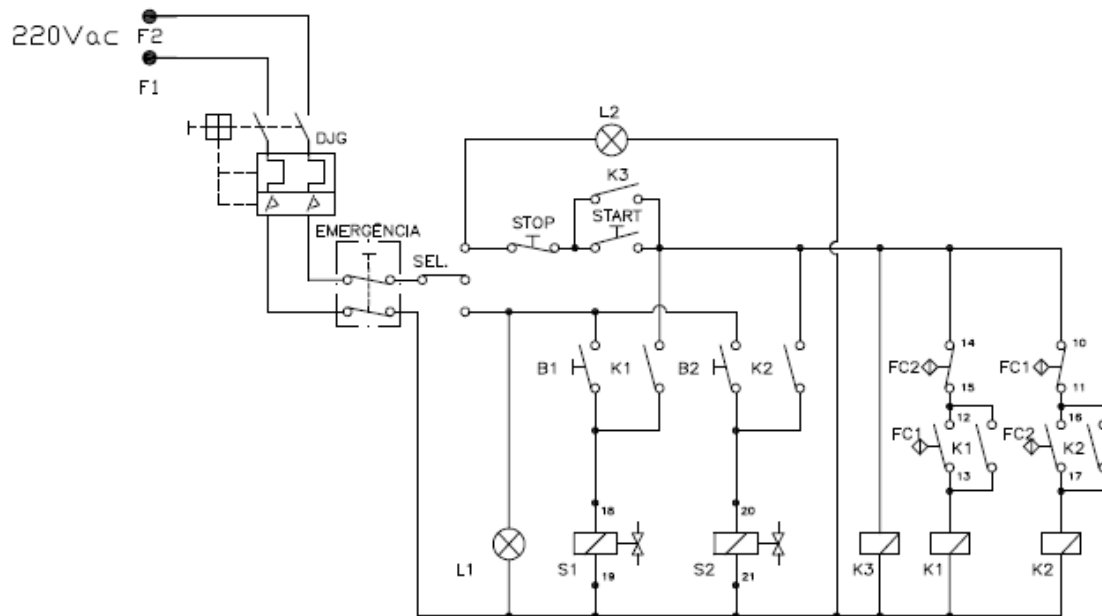
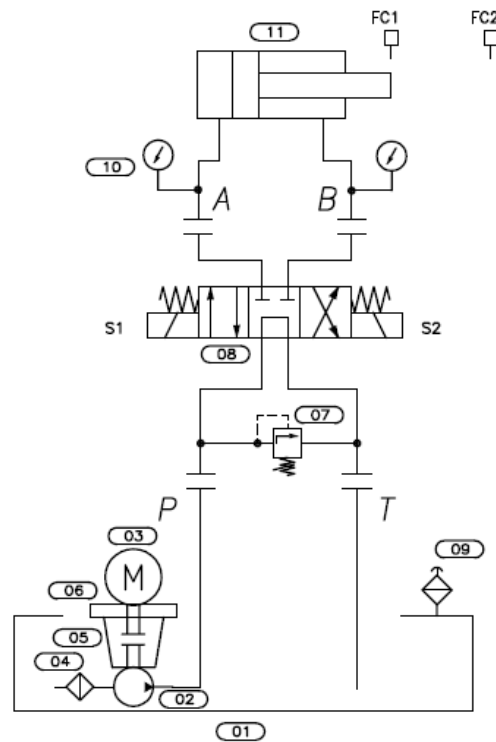


Figura 67 – Balança digital de precisão
Fonte: Próprio autor.

APÊNDICE C – Circuito de comando hidráulico



APÊNDICE D – Circuito de força da carga



APÊNDICE E – Lista de componentes da carga

S2	SOLENÓIDE DE RETORNO		01
S1	SOLENÓIDE DE AVANÇO		01
FC2	FIM DE CURSO 2		01
FC1	FIM DE CURSO 1		01
B2	BOTÃO 2 – RETORNO MANUAL		01
B1	BOTÃO 1 – AVANÇO MANUAL		01
K3	CONTATOR 3		01
K2	CONTATOR 2		01
K1	CONTATOR 1		01
STOP	BOTÃO FIM DE CICLO		01
START	BOTÃO INÍCIO DE CICLO		01
L2	INDICADOR LUMINOSO 2		01
L1	INDICADOR LUMINOSO 1		01
SEL.	CHAVE SELETORA		01
EMER.	EMERGÊNCIA		01
DJG	DISJUNTOR GERAL		01
11	CILINDRO HIDRÁULICO	Ø2"xØ1/2"x100mm	01
10	MANÔMETRO	M03-63-V-20-1/4"NPT	02
09	BOCAL DE ENCHIMENTO	3/4" NPT	01
08	VÁLVULA DIREC. ELÉTRICA	ATOS DHI-0714 230 VAC	01
07	VÁLVULA DE ALMO	SPX- Pmáx. 20 bar	01
06	FLANGE DE LIG. MOTOR/BOMBA	ALUMINIUM M.U.H	01
05	ACOPLAMENTO	ARRASTADOR M.U.H	01
04	FILTRO DE SUÇÃO	KIT KH-SPX	01
03	MOTOR ELÉTRICO	0,5CV-2pólos-220/380	01
02	BOMBA DE ENGRENAGENS		01
01	RESERVATÓRIO	KR42- 6 LITROS	01
ITEM	DESCRIÇÃO	CODIGO	QTDE.

ANEXOS

ANEXO A – Tabela de opções de cilindros comerciais disponibilizados por fabricantes.

Ø CILINDRO	Ø Haste mm	Área (cm ²)			Relação Área total Área coroa	Força (kg)													
		Total	Coroa	Haste		35 ATM		70 ATM		105 ATM		140 ATM		175 ATM		210 ATM			
						Avanço	Retração	Avanço	Retração	Avanço	Retração	Avanço	Retração	Avanço	Retração	Avanço	Retração		
1.1/2 "	HN 1/2"	11,40	10,13	1,27	1,13/1,0	399	354	709	1063	1418	1772	2127	399	354	709	1063	1418	1772	2127
	HI 5/8 "		9,42	1,98	1,21/1,0		329	659	989	1318	1995	2660		3394	3978				
2 "	HN 1"	20,27	15,20	5,07	1,33/1,0	709	532	1064	1596	2128	2660	3192	709	532	1064	1596	2128	2660	3192
	HP 1.1/4"		12,35	7,92	1,64/1,0		432	864	1296	1729	2161	2593		3127					
2.1/2 "	HN 1"	31,67	26,40	5,07	1,19/1,0	1108	931	1862	2793	3724	4655	5586	1108	931	1862	2793	3724	4655	5586
	HI 1.3/8"		22,09	9,58	1,43/1,0		773	1546	2319	3092	3865	4638		5512					
3.1/4 "	HP 1.3/4"	53,52	16,15	15,52	1,96/1,0	1873	565	1130	1695	2261	2826	3391	1873	565	1130	1695	2261	2826	3391
	HN 1.3/8"		43,94	9,58	1,22/1,0		1537	3075	4613	6151	7689	9227							
4 "	HI 1.3/4"	81,07	33,25	20,27	1,61/1,0	2837	1163	2327	3491	4655	5818	6982	2837	1163	2327	3491	4655	5818	6982
	HP 2.1/2"		49,40	31,67	1,64/1,0		1729	3458	5187	6916	8645	10374							
5 "	HN 2.1/2"	126,68	65,55	15,52	1,24/1,0	4433	2294	4588	6882	9177	11471	13765	4433	2294	4588	6882	9177	11471	13765
	HI 2"		60,80	20,27	1,33/1,0		2128	4256	6384	8512	10640	12768							
6 "	HP 3.1/2"	182,42	64,61	62,07	1,96/1,0	6384	2261	4522	6784	9045	11306	13568	6384	2261	4522	6784	9045	11306	13568
	HN 2.1/2"		150,75	31,67	1,21/1,0		5276	10552	15828	21105	26381	31657							
8 "	HI 3.1/2"	324,29	120,35	62,07	1,52/1,0	11350	4212	8424	12636	16849	21061	25273	11350	4212	8424	12636	16849	21061	25273
	HP 4"		101,35	81,07	1,80/1,0		3547	7094	10641	14189	17736	21283							
8 "	HN 3.1/2"	324,29	262,22	62,07	1,24/1,0	11350	9177	18354	27533	36710	45888	55066	11350	9177	18354	27533	36710	45888	55066
	HI 4.1/2"		221,68	102,61	1,46/1,0		7758	15517	23276	30450	38794	46552							
	HP 5.1/2"	171,01	153,28	1,90/1,0	5985	11970	17956	23941	29926	35912									

Fonte: SPX-STONE

ANEXO B – Modelos de bombas de engrenagens disponíveis pela fabricante americana SPX-STONE

PUMPS



KIT NUMBER	DISPLACEMENT		LENGTH		MAX RPM	MAXIMUM PRESS	
	CC REV	CIPR	MM	INCH		CONT. PSI/BAR	INTERMIT PSI/BAR
KP08	0.8	0.049	57	2.25	5000	4000/350	5000/350
KP10	1.0	0.061	58	2.28	5000	4000/350	5000/350
KP12	1.2	0.073	59	2.32	5000	4000/350	5000/350
KP16	1.6	0.098	60	2.38	5000	4000/350	5000/350
KP20	2.0	0.122	62	2.44	4000	4000/350	5000/350
KP25	2.5	0.153	64	2.52	4000	4000/350	5000/350
KP31	3.1	0.189	67	2.62	4000	3600/250	5000/350
KP40	4.0	0.244	70	2.75	4000	3000/200	4000/280
KP50	5.0	0.305	74	2.90	4000	2300/160	3200/220
KP63	6.3	0.384	79	3.11	3200	1800/125	2500/175
KP80	8.0	0.488	86	3.37	2400	1500/100	2000/140

Kit includes washers and mounting bolts. Use all washers. Mounting bolts are grade 5.
DO NOT SUBSTITUTE. KP10 cannot be used in duplex pump applications.

Fonte:SPX-STONE