



Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

Departamento de Engenharia Elétrica

Trabalho de Conclusão de Curso

**Estudo da necessidade e estruturação
de prática no laboratório de automação**

Autor:

GUILHERME VIECILI ROSSI

Número USP: 6553593

Orientador:

Prof. Dr. Dennis Brandão

São Carlos, Novembro de 2012.

Guilherme Viecili Rossi

ESTUDO DA NECESSIDADE E ESTRUTURAÇÃO DE PRÁTICA NO LABORATÓRIO DE AUTOMAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos
da Universidade de São Paulo.

Curso de Engenharia Elétrica com
ênfase em Sistemas de Energia e
Automação

ORIENTADOR: Prof. Dr. Dennis Brandão

São Carlos, SP 2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

R832 Rossi, Guilherme Viecili
e Estudo da necessidade e estruturação de prática no
laboratório de automação / Guilherme Viecili Rossi;
orientador Dennis Brandão. São Carlos, .

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,

1. Automação. 2. KIT Didático. 3. Acionamento de
máquinas elétricas. 4. Conversores de frequência. I.
Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Guilherme Viecili Rossi

Título: “Estudo da necessidade e estruturação de prática no laboratório de automação”

*Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 22/11/2012,*

com NOTA 10,0 (dez, zero), pela Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Dennis Brandão (Orientador)
SEL/EESC/USP

Prof. Dr. José Guilherme Sabe
SEM/EESC/USP

M.Sc. Paulo Henrique Toledo de Oliveira e Souza
SEL/EESC/USP

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Homero Schiabel

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, Lana e Rubinho, que muito além de me mostrarem o caminho e me apoiarem nas decisões me ensinaram valores.

Sem o carinho, o apoio e os ensinamentos que me proporcionaram com certeza não estaria onde estou. Obrigado!

Epígrafe

“A Educação é simplesmente a alma de uma sociedade à medida que passa de uma geração para outra”

Gilbert K. Chesterton

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus a oportunidade de poder estar aqui, e viver intensamente tudo o que a vida me proporcionou até agora.

Agradeço ao professor Dr. Dennis Brandão, por todas as oportunidades e ensinamentos durante os últimos anos acadêmicos.

Aos meus grandes amigos da graduação: Diego, Luiz Roberto e Ana Cláudia que compartilharam comigo todos os melhores e mais difíceis momentos do meu tempo na Escola de Engenharia. Com certeza sem o apoio, as horas de estudo e principalmente o companheirismo, não estaria me formando.

A minha irmã, Giovana que junto aos meus pais e avós sempre estiveram presentes em tudo e me apoiaram em todas as minhas decisões.

A minha namorada Isadora, por toda paciência, calma e colaboração.

Ao amigo, André F. Sabe que me proporcionou ensinamentos e valores, os quais levarei por toda minha vida.

Ao pesquisador e amigo do Laboratório de Automação, Guilherme Sestito que sempre me apoiou e me fez acreditar e lutar pelos meus objetivos e estudos.

Agradeço ao Paulo Henrique, ao Luiz Roberto novamente, ao Paulo e a Beatriz. A família Toledo de Oliveira e Souza que sempre foi uma referência minha em São Carlos. Muito obrigado por todas as conversas, junto aos longos almoços que pude desfrutar, sou eternamente grato!

Agradeço novamente ao Diego Barros pelos estudos, paciência e companheirismo enquanto morávamos juntos.

Agradeço muito a todos aos grandes amigos que fiz na SIEMENS em especial ao Guilherme Fuzato, Thiago Russolo, Felipe Acquati e Tarso Ribeiro que muito me ensinaram e me motivam todos os dias a continuar.

Um agradecimento especial ao Thiago Cunha, que me recebeu em São Paulo e de certa forma considero um irmão por tudo que me fez.

Agradeço a turma de 2009 pela colaboração neste trabalho, e em especial a todos da minha turma, pois juntos, chegamos onde estamos.

Agradeço a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para minha formação e por esse trabalho. Muito Obrigado!

Apresentação e motivação

A princípio planejava fazer meu trabalho de conclusão de curso projetando uma máquina ou produto, utilizando como base conhecimentos de automação que desenvolvi na universidade e as necessidades do mercado que estava aprendendo com meu estágio na SIEMENS.

Um amigo me disse – contrariando muita gente que diz que este trabalho é muito chato e sofrido... – que eu deveria fazer meu trabalho de conclusão de curso com muito gosto, devendo aproveitá-lo durante toda sua execução e conclusão. Pois de alguma forma, é uma parte minha que deixarei para a universidade onde me formei, então devo fazê-lo muito bem.

Sempre tive vontade de ensinar. Voluntariei-me para ser monitor da disciplina de automação no primeiro semestre de 2012 e durante o semestre todo pude ensinar e aprender muito com os alunos que cursavam a disciplina.

No final deste período quando estava analisando e pensando em tudo o que havia realizado na monitoria junto com meu estágio na SIEMENS, tentando decidir o tema que iria fazer, percebi uma necessidade - um gap - que o curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação tem.

Observando na monitoria, notei que os alunos não aprendem o básico prático de conversores de frequência e a inclusão deles na indústria, somente teoria voltada a sua topologia e aspectos de controle. Percebi também durante todo meu estágio que é evidente a necessidade de profissionais que tenham noções práticas de conversores de frequência.

Resolvi fazer um projeto com objetivos voltados à didática para a faculdade, focado em um melhor amadurecimento dos alunos para o mercado do trabalho.

Este trabalho de conclusão defende a inclusão de uma prática de laboratório para uma melhor inserção dos alunos formados pela EESC-USP no mercado de trabalho baseados na minha vivência como aluno, monitor e estagiário no ramo de automação industrial.

Espero estar contribuindo para a Universidade, de forma que os próximos alunos possam aprender mais com a prática de laboratório aqui proposta e também com a teoria que aqui consta.

Sumário

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
1.1 Introdução	1
1.2 Objetivos	2
CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1 Automação Industrial	5
2.2 Máquinas Elétricas	6
2.2.1 Os Motores Elétricos	6
2.2.2 Funcionamento de Motores Elétricos	8
2.3 PLCs	11
2.3.1 História	11
2.3.2 Funcionamento e programação	12
2.4 Acionamento de Máquinas Elétricas	13
2.4.1 Partida direta	13
2.4.2 Partida Y – Δ (Estrela-triângulo)	16
2.4.3 Soft Starters.	19
2.5 Conversores de frequência	22
2.5.1 Topologia	22
2.5.2 Métodos de Controle	27
2.5.3 Operação dos conversores	29
2.6 KITs didáticos	31
CAPÍTULO 3 – MONITORIA	33
3.1 A Disciplina e o Laboratório	33
3.2 Os Discentes	35
3.3 O Projeto	36
3.4 A 1ª Entrega:	37
3.4.1 Áreas de Atuação da Automação industrial e Esquematização do Projeto	37

3.4.2 Análise de resultados após a 1ª Entrega	38
3.4.3 Resumo dos projetos propostos:	38
Alimentos:	38
Automotiva - Automobilística:	38
Cranes – Elevação de Carga	39
Indústria química	39
Indústria de reciclagem	39
Açúcar e Alcool	39
Automação Residencial	39
3.4.4 Notas	40
3.5 A 2ª entrega:	41
3.5.1 Entregas necessárias	41
3.5.2 Atividades entre a 1ª e 2ª Entrega	42
3.5.3 Análise de Resultados após a 2ª Entrega	42
3.6 A 3ª Entrega	43
3.6.1 Atividade entre a 2ª e a 3ª Entrega	43
3.6.2 Análise de Resultados após a 3ª Entrega	44
3.7 A 4ª Entrega	45
<i>CAPÍTULO 4- ANÁLISE DA NECESSIDADE DE INCLUSÃO DA PRÁTICA DE ACIONAMENTO DE MÁQUINAS ELÉTRICAS NO LABORATÓRIO</i>	47
4.1 Questões do Formulário	48
4.2 Objetivos do formulário	50
4.3 Resultados obtidos	51
4.4 Análise e Conclusões	54
<i>CAPÍTULO 5 – PROJETO DO KIT DIDÁTICO</i>	57
5.1 O Kit	57
5.2 Funcionamento básico	66
<i>CAPÍTULO 6 – ENSAIO DE LABORATÓRIO PROPOSTO</i>	67
6.1 Prática I	67

6.1.1 Equipamentos utilizados	67
6.1.2 Propostas da Prática I Parte I	67
6.1.3 Montagem da Prática I Parte I	68
6.1.4 Parte I- Comissionando o Conversor	68
6.1.5 Comissionamento rápido	71
6.1.6 Operando com o BOP	73
6.1.7 Realizando mudanças de parâmetros.	74
6.1.8 Propostas da Prática I Parte II	74
6.1.9 Parte II – Mudança de Controle	74
6.1.10 Troca do método de controle e comando	75
6.1.11 Mudando funções das entradas digitais	77
6.1.12 Finalização e conclusões da prática 1	78
6.2 Prática II	79
6.2.1 Equipamentos utilizados	79
6.2.2 Propostas da Prática II	79
6.2.3 Montagem da Prática II	79
6.2.4 Comissionando o Conversor	80
6.2.5 Frequências Fixas	80
6.2.6 Ligação com o PLC	81
6.2.7 Aplicação	82
6.2.8 Finalizações e conclusões da prática 2	84
CAPÍTULO 7- CONCLUSÕES	85
Bibliografia	87
Anexos	91

Índice de Figuras

Figura 1 - Motor de Indução Trifásico	7
Figura 2 - Rotor e Estator	8
Figura 3 - Estator Alimentado.....	9
Figura 4- Família de PLC Siemens	11
Figura 5 - PLC SIEMENS S7-300 com módulos.....	12
Figura 6 - Partida Direta	13
Figura 7 - Slots ATOS	14
Figura 8 - Programa de PLC	14
Figura 9 - Variáveis de Usuário.....	15
Figura 10 - Variáveis de Entrada e Saída	15
Figura 11 - Motor 415V ligado em Estrela	17
Figura 12 - Motor 415V ligado em Triângulo.....	17
Figura 13 - Diagrama Elétrico de Comando.....	18
Figura 14 - Diagrama Elétrico de Potência	18
Figura 15 - Terminais Estrela.....	19
Figura 16 - Terminais Triângulo	19
Figura 17 - Soft starter SIRIUS 3RW40	20
Figura 18 - Família de Conversores MICROMASTER SIEMENS	22
Figura 19 - Topologia do Conversor.....	23
Figura 20 - - Circuito Conversor de frequência	23
Figura 21 - Estrutura do Inversor	24
Figura 22 - Formas de onda de corrente nas bases dos transistores	25
Figura 23 - Tensão de Fase	25
Figura 24 - Tensão de Linha	26
Figura 25 - Formas de Onda.....	26
Figura 26 - Quadrantes de Operação	29
Figura 27 - 1º Quadrante.....	30
Figura 28 - 2º Quadrante.....	30

Figura 29 - 3º Quadrante	30
Figura 30 - 4º Quadrante	30
Figura 31 - KIT DIDÁTICO	31
Figura 32 - Design do Kit Didático.....	57
Figura 33 - Design 2.....	58
Figura 34- BOP.....	64
Figura 35 - S7-300 314C-2DP.....	65
Figura 36 - Montagem do BOP	68
Figura 37 - BOP e suas teclas	69
Figura 38 - Conexões.....	75

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Consumo de Energia Elétrica na Indústria.....	6
Gráfico 2 - Gráfico do Torque por Escorregamento.....	10
Gráfico 3 - Comparação entre partidas.....	21
Gráfico 4 - Controle V/F	27
Gráfico 5 - Distribuição de alunos por ano de ingresso	35
Gráfico 6 - Distribuição de Alunos por curso.....	35
Gráfico 7 - Distribuição da quantidade de alunos pelas Notas na E1.....	40
Gráfico 8 - Relação entre Notas da P1 e da E1.....	40
Gráfico 9 - Notas 1ª X 2ª Entrega	43
Gráfico 10 - Notas da 2ª Entrega x 3ª Entrega	44
Gráfico 11 – Distribuição dos alunos que responderam o questionário	51
Gráfico 12 – Importância das disciplinas	52
Gráfico 13 – Nível de conhecimento de conversores de frequência antes	52
Gráfico 14 – Nível de conhecimento de conversores de frequência após	53
Gráfico 15 – Média de conhecimentos antes e após	53
Gráfico 16 - Curva característica do conjugado e corrente do motor 1LP7 – 060 – 2AA9*	60
Gráfico 17 - Curva característica de rendimento e fator de potência e função da carga	60
Gráfico 18 - Curva característica de escorregamento e corrente em função da carga	61
Gráfico 19 - Ciclo de velocidades.....	82

Índice de Tabelas

Tabela 1- Tabela de motores	59
Tabela 2 - Características MICROMASTER (SIEMENS, 2012)	62
Tabela 3 - Tabela MICROMASTER 440 (SIEMENS, 2012)	63
Tabela 4 - TABELA DE COMISSIONAMENTO RÁPIDO (SIEMENS, 2012).....	73
Tabela 5 - Velocidades Fixas	83
Tabela 6 - Entradas e Saídas.....	84

Índice de Anexos

Anexo 1 - Diagrama elétrico - Partida direta com PLC	91
Anexo 2 – Respostas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 do formulário	92
Anexo 3- Respostas 7 e 8 do formulário	94
Anexo 4 - Projeto do KIT	96
Anexo 5 - Velocidades Fixas.....	97

Resumo

Este trabalho de conclusão de curso envolve o estudo de automação industrial, os conceitos envolvidos e suas aplicações industriais. A monografia primeiramente aborda tópicos de automação, focando na história, suas utilizações no mercado e a teoria envolvida nos produtos. Nesta primeira parte também são estudados conceitos de máquinas elétricas e seus respectivos acionamentos. Após definida a teoria, um estudo foi feito sobre uma monitoria realizada na disciplina SEL-406 automação, com o objetivo de esclarecer e entender necessidades dos alunos para uma melhor formação na disciplina e principalmente no curso de Engenharia Elétrica. Com base em um estudo da monitoria e utilizando dos conceitos previamente estudados, um kit didático é proposto e junto a ele um roteiro de laboratório. No final do trabalho encontram-se as tabelas, os diagramas elétricos e o projeto do KIT

Palavras chave: Automação Industrial, Kit Didático, Acionamento de Máquinas Elétricas, Conversores de Frequência, SEL-406 Automação, PLC

Abstract

This monograph is about the study of industrial automation, the concepts involved and their industrial applications. The work first discusses about topics in automation, focusing on history, its uses in the market and the theory involved in the products. In this first part are also studied concepts of electrical machines and their respective drives. After the theory is set, a study on the discipline SEL-406 Automação was conducted through a monitoring in order to understand students' needs for better outcomes in the discipline and especially in the Electrical Engineering course. Based on a study of the monitoring and using the concepts previously studied an educational KIT is proposed by him and a script for laboratory use. At the end of the work, tables, diagrams and the electrical design of the KIT are defined.

Keywords: Industrial automation, Educational Kit, Drives, Electrical Machines, Frequency Converter, SEL406- Automação, PLC

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 Introdução

Desde os primeiros relatos da história, os homens utilizam ferramentas e utensílios para substituir seu trabalho braçal. Dos primeiros homens que inventaram a roda, aos que desenvolveram linhas de produção todos tinham uma mesma ambição: substituir funções operárias em funções de máquinas.

A globalização e os desenvolvimentos em ciência e tecnologia proporcionaram à humanidade um *avanço* na modernização dos processos automatizados, visando à redução de custo nos processos, uma melhor qualidade dos produtos e maior velocidade na produção.

Automação é a aplicação de técnicas computadorizadas ou mecânicas para diminuir o uso de mão-de-obra em qualquer processo (LACOMBE, 2004).

Os avanços tecnológicos do Século XX puderam proporcionar uma integração mecânica, elétrica e computacional no campo de automação industrial. O aparecimento da eletrônica de potência, os processos computadorizados e os motores elétricos de alta eficiência fizeram com que os processos mecânicos pudessem ser otimizados e automatizados de uma maneira surpreendente, fazendo com que os homens reduzissem de maneira drástica seus trabalhos manuais e repetitivos.

Para o desenvolvimento da automação é importante a formação de líderes na indústria com uma vasta gama de conhecimentos. Atualmente conceitos de automação, assim como seus equipamentos e técnicas são amplamente ministrados em diversos cursos de tecnologia.

Baseando-se na inovação, na importância histórica da automação industrial e principalmente na importância do estudo técnico para formação de bons profissionais e líderes na indústria, este trabalho de conclusão de curso versará a respeito da esfera didática de automação industrial no curso de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos, e um possível incremento e melhoramento de conteúdo, relacionando automação industrial com acionamento de máquinas elétricas.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver Kit Didático e roteiro para prática de laboratório com tema de “Tecnologia de *Drives* com aplicação em Automação Industrial” para incluir na disciplina SEL 406 – Automação e em seu respectivo laboratório de ensino.

No presente estudo serão abordados os conhecimentos do curso de Engenharia Elétrica com ênfase e Sistemas de Energia e Automação, a experiência técnica adquirida durante o estágio na empresa SIEMENS para o desenvolvimento do KIT e a experiência acadêmica como monitor na disciplina SEL 406 – Automação para análise da necessidade da inclusão deste tópico.

Para atingir este objetivo foi realizado:

1. Um estudo teórico e conceitual, apresentando os fundamentos da automação industrial, quais são os equipamentos utilizados na indústria, a integração e a evolução de acionamentos na indústria de automação.
2. Uma análise qualitativa de uma monitoria oferecida aos alunos matriculados na disciplina Automação SEL-406 no primeiro semestre do ano de 2012.
3. Uma análise quantitativa de dados de uma pesquisa realizada com os discentes quanto aos seus respectivos projetos, quanto à disciplina e ao laboratório.
4. Um estudo das diversas aplicações com Tecnologia de *Drives* e Automação Industrial em clientes SIEMENS durante o estágio técnico do autor.
5. Um projeto piloto de Kit didático
6. Desenvolvimento de roteiro para prática de laboratório

1.3 Cronogramas do Trabalho

O Desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso seguiu o cronograma abaixo:

1. Monitoria e acompanhamento na disciplina: Automação SEL406
2. Pesquisa conceitual/teórica sobre automação industrial
3. Pesquisa conceitual/teórica sobre *PLCs*
4. Pesquisa conceitual/teórica sobre acionamentos em automação industrial
5. Pesquisa com os Alunos
6. Finalização das partes conceituais / acadêmicas
7. Projeto de um KIT didático e Análise dos dados da pesquisa
8. Finalização do projeto e da apresentação
9. Estágio técnico de *Field Service* e visitas técnicas em plantas de clientes da empresa

	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
1	Acadêmica								
2		Teórica							
3			Teórica						
4				Teórica					
5					Pesquisa				
6					Finalizações				
7						Projeto			
8									X
9	Prática								

CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA

O projeto do kit didático envolve diversos conceitos abordados no curso. Serão apresentados os tópicos mais importantes para o desenvolvimento do trabalho.

2.1 Automação Industrial

Pela explanação no dicionário de Lacombe (2000), a Automação é aplicação de diversas técnicas para diminuir o uso de mão de obra em qualquer processo. A Automação tem como objetivo diminuir os custos e aumentar a velocidade da produção

Segundo as hipóteses de (RIFKIN, 1995):

[...] O Termo automação, inspirado pela palavra automática, não era amplamente utilizado antes de 1947, quando a General Motors estabeleceu o departamento de automação. Naquele tempo as tecnologias de automação eram elétricas, mecânicas, hidráulicas e pneumáticas. Entre 1957 e 1964 a produção das fábricas quase dobrou enquanto o número de trabalhadores braçais começou a declinar.

Os componentes eletrônicos foram muito importantes no avanço da automação industrial, como relata Morimoto (2005): “O transistor é um componente eletrônico que começou a se popularizar na década de 1950, tendo sido principal responsável pela revolução eletrônica da década de 1960”.

Segundo os trechos acima a automação é um processo que utiliza da tecnologia para aperfeiçoar processos, cujo desempenho é proporcional a inovação tecnológica aplicada a ela. A revolução eletrônica contribuiu diretamente na tecnologia da automação industrial, melhorando a velocidade das máquinas, a precisão e seus desempenhos.

A Automação Industrial tem um papel muito importante e significativo na economia mundial e na inovação tecnológica.

2.2 Máquinas Elétricas

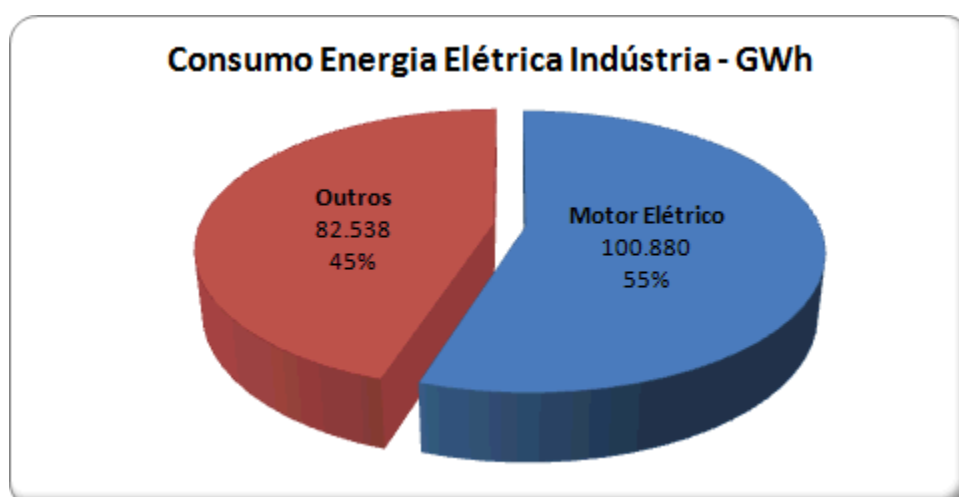
O estudo acadêmico de máquinas elétricas é o estudo universal de motores elétricos e geradores elétricos. Pela definição clássica de Flanagan (1993), máquina elétrica é um sinônimo de motor elétrico ou gerador elétrico, os quais são conversores eletromecânicos de energia¹: Convertem eletricidade em energia mecânica ou energia mecânica em eletricidade.

2.2.1 Os Motores Elétricos

De acordo com o Departamento de Energia Estadunidense (ENERGY, 2012), atualmente motores elétricos consomem mais da metade de toda a energia produzida no mundo. Os Estados Unidos da América são uma economia muito desenvolvida e sua indústria é referência no mundo. Podemos confirmar com as afirmações abaixo que o Brasil, apesar de sua indústria ainda em desenvolvimento os motores elétricos tem uma significância muito quanto a seu consumo.

“A Indústria representa 47% do consumo de energia elétrica do Brasil (Eletrobrás), deste percentual, 55% em média são devidos a motores elétricos, vide Gráfico 1 - Consumo de Energia Elétrica na Indústria.

Gráfico 1 - Consumo de Energia Elétrica na Indústria



(ANEEL, 2012)

¹ Transformadores não contem partes que se movem, mas também são incluídos na família de máquinas elétricas.

Os dados demonstrados acima ilustram a importância dos motores elétricos na indústria, nem como seu impacto energético.

Motores Elétricos são encontrados em diversas aplicações industriais como, por exemplo: ventiladores industriais, bombas, exaustores, máquinas ferramentas, esteiras, portões, centrifugas, elevação de cargas e muitas outras aplicações que necessitam de uma alta eficiência energética ou controles especiais.

Eles podem ser divididos em diversas categorias devido aos seus diferentes métodos de funcionamento e diferentes características como, por exemplo: Síncronos e Assíncronos, Corrente Contínua e Corrente Alternada, Refrigerados e com Ventilação própria, tipos de materiais, número de polos, e muitas outras diversas características são utilizadas para classificar motores.

A figura abaixo representa um motor de indução trifásico assíncrono usual.

Figura 1 - Motor de Indução Trifásico



(SIEMENS, 2012)

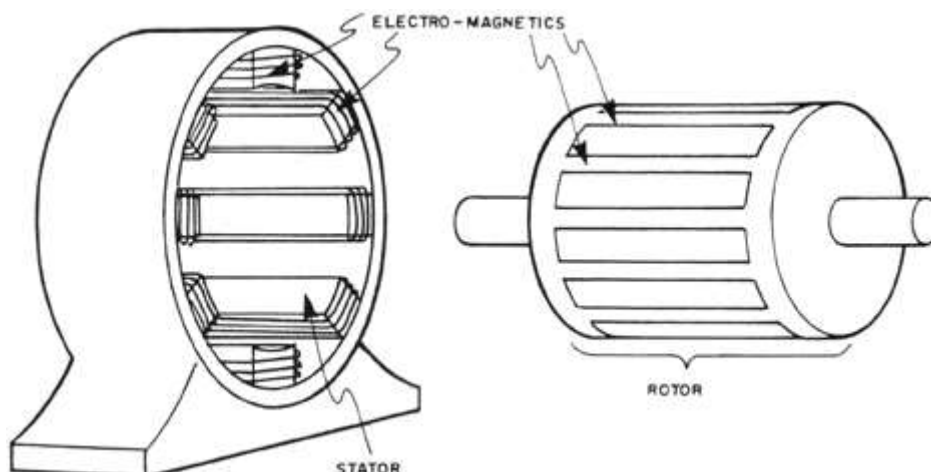
2.2.2 Funcionamento de Motores Elétricos

Esta seção tem como objetivo explicitar o funcionamento básico de um motor de indução trifásico – MIT.

O motor de indução trifásico assíncronos tem características bem peculiares. Utilizando como base as notas de aula do Dr. J. Patrick Donohoe (2006) da Universidade Estadual do Mississippi será explanado de maneira breve o funcionamento e as características do Motor.

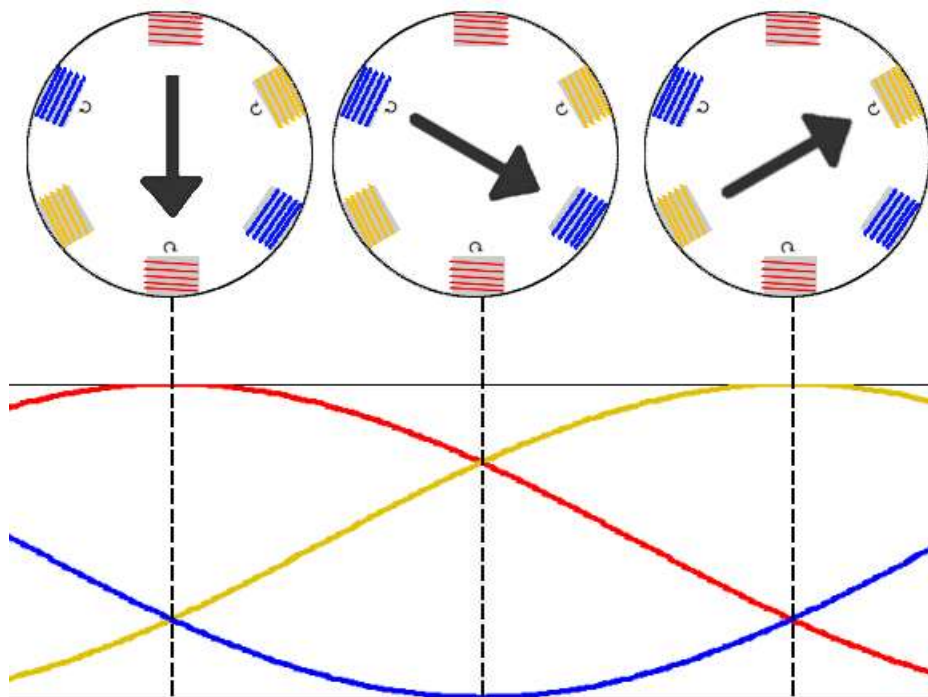
A máquina de indução trifásica é a máquina girante mais amplamente utilizada na indústria. O MIT é composto basicamente por duas partes, um rotor e um estator que estão demonstrados na Figura 2 - Rotor e Estator. O rotor é a parte que se move do motor, devido a um campo magnético induzido, Este campo é induzido pelo estator devido ao seus enrolamentos.

Figura 2 - Rotor e Estator



O motor de indução tem seu nome devido à maneira em que opera. Uma fonte de tensão alternada é aplicada aos enrolamentos do estator, entretanto nenhuma fonte externa de energia é aplicada aos enrolamentos do rotor. Esta tensão alternada aplicada ao estator produz um campo magnético variante no tempo. Devido à distribuição uniforme dos enrolamentos do estator este campo magnético fica girante internamente com velocidade proporcional a velocidade da frequência da rede trifásica que alimentou este estator. A Figura 3 - Estator Alimentado representa o campo resultante girante alinhando com os enrolamentos e como as fases estão nos respectivos momentos

Figura 3 - Estator Alimentado



Analisando a Figura 3 - Estator Alimentado, percebe-se que a velocidade do campo girante é proporcional a frequência da rede e também a quantidade de pares de pólos – enrolamentos - por fase. Como os enrolamentos do rotor estão em curto circuito, haverá uma tensão induzida neles. Esta tensão terá como consequência uma corrente resultante passando pelos seus enrolamentos, o que também produzirá um fluxo magnético. Este fluxo magnético tentará se alinhar com o campo girante do estator fazendo com que o rotor gire.

Matematicamente, as fórmulas que descrevem a velocidade em que o rotor girará são as seguintes:

$$n_s = \frac{60 \times f}{p}$$

Equação 1 - Velocidade do Campo Girante

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

Equação 2 – Escorregamento

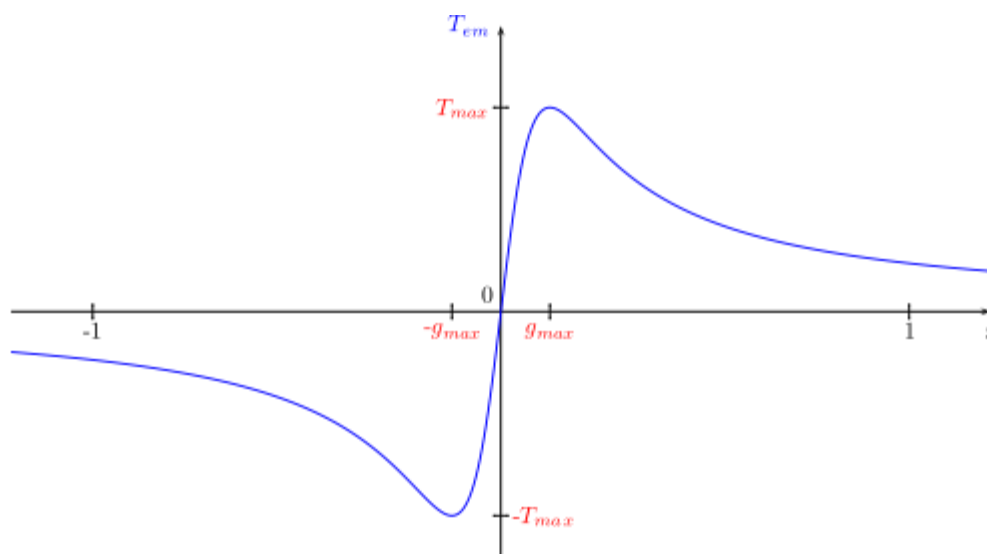
Sendo: n_s = velocidade do campo girante, f = frequência, p = número de pares de polos, s = escorregamento, n_r = velocidade de rotação.

Na Equação 1 - Velocidade do Campo Girante, o valor de f é definido pela frequência da rede em que o motor estará ligado e p é o valor do número de pares de polos por fase do motor. Por exemplo, em um motor pequeno trifásico com seis pólos organizados em três pares opostos, à 120° um do outro assim como demonstrado na

Figura 3 - Estator Alimentado haverá um par de polos por fase, o que fará com que a velocidade do campo girante seja de 3600 Rotações por Minuto (RPM).

A Equação 2 – Escorregamento define a relação de rotação do rotor n_r com a velocidade do campo girante n_s . Quando o motor está parado, o escorregamento s é igual à 1. Quando o motor está em operação nominal, o escorregamento fica na faixa de 1,5% à 6%, o que implica em uma velocidade de rotação pouco abaixo da velocidade definida pela Equação 1 - Velocidade do Campo Girante. O gráfico 2 mostra a relação do torque do motor e seu escorregamento. Nota-se que o escorregamento no gráfico é definido pela variável g .

Gráfico 2 - Gráfico do Torque por Escorregamento



O motor de indução trifásico possui algumas características complicadas de controle e partida. O motor de indução quando ligado na rede, no caso da rede Brasileira de 60hz, terá seu campo girante proporcional a essa velocidade, ou seja, quando ele for diretamente ligado à rede, já tentará girar a velocidade definida pelas fórmulas apresentadas anteriormente sem nenhum controle específico. Isto causa um

tranco e uma corrente altíssima de partida. Para solucionar este caso de partida e controle, métodos de acionamento de motores serão descritos posteriormente.

2.3 PLCs

PLC, *Programmable logic controller*, ou controlador lógico programável é um computador digital utilizado para processos de automação. Com uma programação relativamente simples ele é amplamente utilizado para soluções industriais. Ele será utilizado para controles na prática proposta.

2.3.1 História

Utilizado em muitas indústrias e máquinas ele é um computador robusto desenvolvido para múltiplas entradas e saídas e uma grande tolerância à altas e baixas temperaturas, ruídos elétricos, impactos e vibrações. A figura a seguir mostra a família de PLCs da SIEMENS

Figura 4- Família de PLC Siemens



(SIEMENS, 2012)

Em 1968 a GM fez uma solicitação de proposta ao mercado por um substituto eletrônico para a lógica a relês. O projeto campeão de Dick Morley, considerado o pai do PLC, era chamado de Modicon, que significava *Modular Digital Controller*. Modicon foi considerado o primeiro PLC da história (The father of invention: Dick Morley looks back on the 40th anniversary of the PLC, 2008). Em 1977 a marca Modicon foi vendida

a Gold Electronics, que em seguida foi vendida a Schneider Electric, a atual detentora da marca.

2.3.2 Funcionamento e programação

O PLC tem uma estrutura modular, em que diversos cartões possam ser conectados a ele para cada tipo de projeto. O dispositivo central de processamento, os cartões de aquisição de dados, de atuação e de funções especiais são customizados conforme sua respectiva aplicação em bastidores, de forma que possam ser expansíveis conforme a demanda de um projeto.

A Figura 5 - PLC SIEMENS S7-300 com módulos seguir representa um PLC SIEMENS com os seus respectivos módulos identificados.

Figura 5 - PLC SIEMENS S7-300 com módulos



(SIEMENS, 2012)

A seta número 1 está indicando a fonte que alimenta o bastidor do PLC e seus outros cartões. A seta número 2 está mostrando a central de processamento, e a 3 os outros módulos que são de entradas e saídas analógicas e digitais.

Para programação dos PLCs existem cinco linguagens definidas pela IEC 1131-3: FBD – *Function block diagram*, LD – *Ladder Diagram*, ST – *Structured text*, IL – *Instruction List* e SFC – *Sequential function chart*. Usualmente utiliza-se o diagrama *Ladder* que é uma programação gráfica. Neste tipo de diagrama, as funções lógicas são representadas através de contatos e bobinas de modo análogo a um diagrama elétrico.

Na linguagem *ladder* são utilizados somente três elementos. As entradas – contatos - que leem valores de variáveis, As saídas – bobinas – que escrevem valores de variáveis e os blocos funcionais que permitem realizar funções avançadas com as

entradas e saídas. Para facilitar o entendimento da programação em PLC um exemplo será dado no tópico 2.4 Acionamento de Máquinas Elétricas

2.4 Acionamento de Máquinas Elétricas

Os motores de indução trifásico devido a sua topologia não são facilmente controlados e tem diversos problemas quando ligados somente e diretamente à rede como:

- Corrente de partida elevadíssima
- Consumo de energia maior
- Dificuldades na inversão de rotação
- Impossibilidade de controlar a velocidade
- Impossibilidade de realizar posicionamento
- Falta de proteção

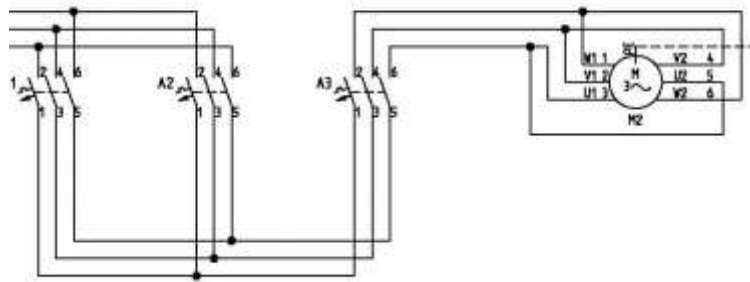
Para solucionar estes problemas diversos métodos de acionamento foram criados. Nos tópicos 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3 e 2.5 os mais significantes serão citados.

2.4.1 Partida direta

O método mais simples utilizado para controlar o sentido do motor e para ligar ou desligar é a partida direta. Será explanada a partida direta junto ao funcionamento básico de um PLC utilizando como base uma prática de laboratório realizada pelo autor em 2010. A prática consistia em ligar, desligar o motor e também inverter a rotação dele.

Para controle deste motor com a partida direta foi utilizado um PLC ATOS, contadores, e chaves para controle. O esquema elétrico na Figura 6 - Partida Direta está projetado no Anexo 1 - Diagrama elétrico - Partida direta com PLC.

Figura 6 - Partida Direta

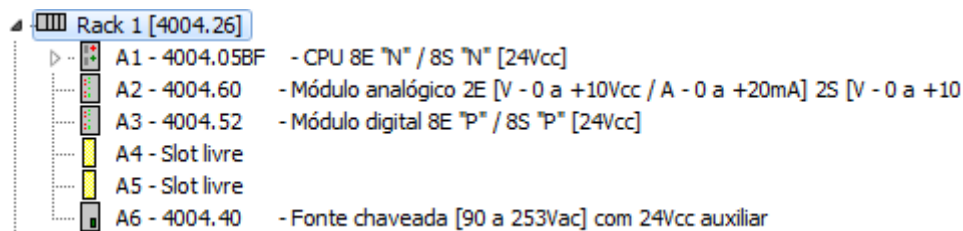


(ROSSI, 2010)

Os contatores A1 e A2 controlam o sentido do motor, verifica-se que duas fases estão invertidas quando ligada a um ou a outro esta inversão de fases na inversão de sentido de giro do motor. O contator A3 serve para ligar o desligar o motor.

O PLC ATOS tinha os seguintes módulos (slots) preenchidos: A1 era o CPU, o A2 um módulo analógico de duas entradas e duas saídas e o A3 um módulo digital de oito entradas e duas saídas. A Figura 7 - Slots ATOS demonstra tais slots

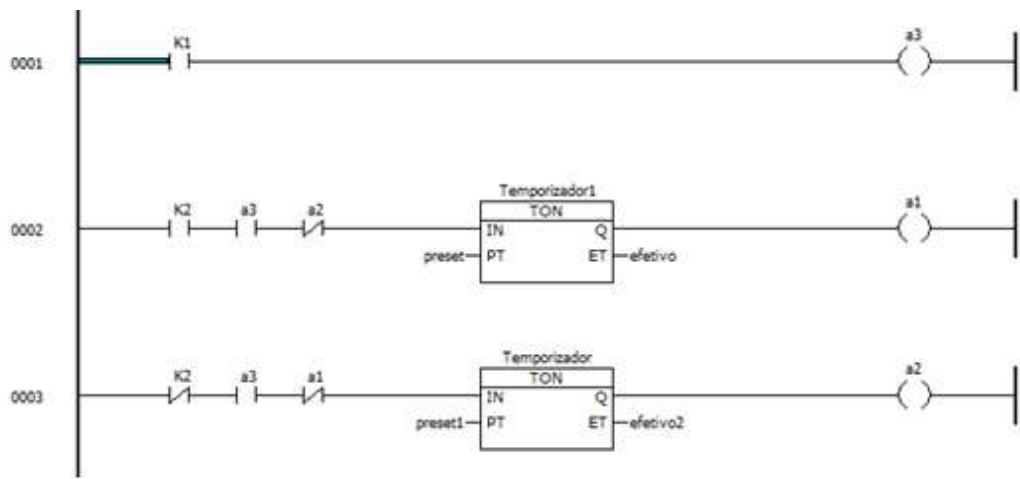
Figura 7 - Slots ATOS



(ROSSI,2010)

Utilizando esta configuração de módulos e também a configuração dos contatores, o seguinte programa de PLC foi criado.

Figura 8 - Programa de PLC



(ROSSI, 2010)

Para criação do programa foi necessário relacionar variáveis, na figura Figura 9 - Variáveis de Usuário e a Figura 10 - Variáveis de Entrada e Saída estão representadas todas as variáveis utilizadas.

Figura 9 - Variáveis de Usuário

Endereço	Nome	Tipo de dado	Atributo	Valor inicial	Descrição	Endereço físico
NI01	preset	TIME	NÃO RETEN...	500		3C00
NI02	efetivo	TIME	NÃO RETEN...	0		3C04
NI03	preset1	TIME	NÃO RETEN...	500		3C08
NI04	efetivo2	TIME	NÃO RETEN...	0		3C0C

(ROSSI,2010)

Figura 10 - Variáveis de Entrada e Saída

Endereço	Nome	Tipo de dado	Valor inicial	Descrição	Endereço físico	Posição Modbus
%I0.0	LIGA	BOOL		ENTRADA DIGITAL 0	0000	1
%I0.1	Vai	BOOL		ENTRADA DIGITAL 1	0001	2
%I0.2		BOOL		ENTRADA DIGITAL 2	0002	3
%I0.3		BOOL		ENTRADA DIGITAL 3	0003	4
%I0.4		BOOL		ENTRADA DIGITAL 4	0004	5
%I0.5		BOOL		ENTRADA DIGITAL 5	0005	6
%I0.6		BOOL		ENTRADA DIGITAL 6	0006	7
%I0.7		BOOL		ENTRADA DIGITAL 7	0007	8
%Q0.0	A1	BOOL	FALSE	SAÍDA DIGITAL 0	0200	3001
%Q0.1	A2	BOOL	FALSE	SAÍDA DIGITAL 1	0201	3002
%Q0.2	A3	BOOL	FALSE	SAÍDA DIGITAL 2	0202	3003
%Q0.3		BOOL	FALSE	SAÍDA DIGITAL 3	0203	3004
%Q0.4		BOOL	FALSE	SAÍDA DIGITAL 4	0204	3005
%Q0.5		BOOL	FALSE	SAÍDA DIGITAL 5	0205	3006
%Q0.6		BOOL	FALSE	SAÍDA DIGITAL 6	0206	3007
%Q0.7		BOOL	FALSE	SAÍDA DIGITAL 7	0207	3008

(ROSSI, 2010)

Para compreensão do programa de PLC e de suas respectivas variáveis verifique que:

- K1 é a chave de Liga/Desliga
- K2 é a chave que define o lado de rotação do motor
- A1, A2 e A3 são os contatores que estão representados na Figura 6 - Partida Direta

Os blocos TON são blocos que estão temporizados com 500ms definidos na Figura 9 - Variáveis de Usuário para que não seja imediata a troca de sentido de rotação.

Analisando o programa do PLC vemos na primeira linha que se K1 está ligado, A3 é fechado, ou seja, se a chave K1 ligar a saída relacionada, A3, é fechada alimentando o motor.

As linhas 2 e 3 se complementam, pois se K2 está aberta, a linha 3 será alimentada com delay de 500ms, alimentando a saída A2 e fazendo com que o motor rode para um lado. Se a entrada K2 for alimentada, a linha 3 deixará de energizar a saída A2, devido ao seu contato fechado e 500ms depois a linha 2 se energizará.

Assim, com este programa de PLC com duas chaves conseguimos ligar e desligar o motor e ainda inverter seu sentido de rotação com um atraso de 500ms.

2.4.2 Partida Y – Δ (Estrela-triângulo)

O método mais simples de acionamento de máquinas de indução trifásicas é a partida Y - Δ, devido a sua simplicidade e a não necessidade de eletrônica envolvida

neste acionamento. Neste tipo de partida, a corrente de partida é aproximadamente reduzida a um terço do que seria sem este tipo de partida.

O primeiro relato da transformação Y – Δ foi publicado em 1899 por Artur Edwin Kenelly. A transformação Y – Δ é o simples chaveamento de como a tensão será aplicada aos enrolamentos do motor. Sendo aplicada primeiramente uma tensão menor e em seguida, quando o motor já estiver em quase rotação nominal, uma manobra de contadores faz com que uma nova tensão seja aplicada ao motor.

Para uma análise figurativa e de valores, as figuras a seguir mostram um motor 415V no momento da partida respectivamente ligados em Estrela e Triângulo.

Figura 11 - Motor 415V ligado em Estrela

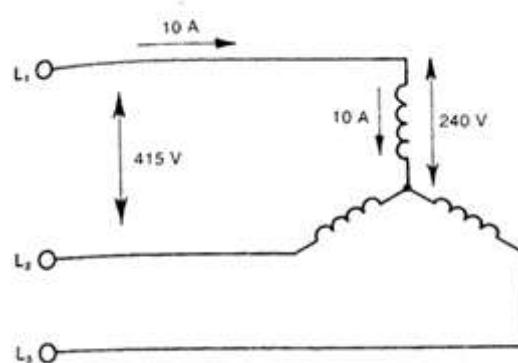
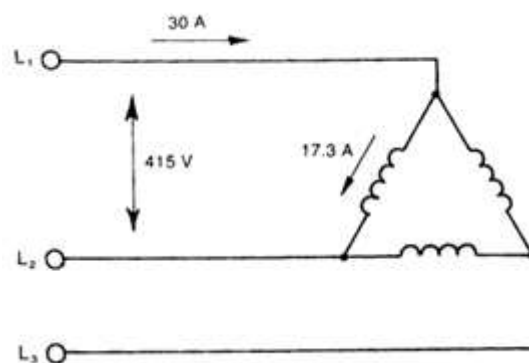


Figura 12 - Motor 415V ligado em Triângulo



Observa-se que a corrente de partida quando o motor está ligado em estrela é menor do que quando ligado em triângulo.

Este tipo de chaveamento só é possível com motores de seis terminais.

Com o intuito de ilustrar o chaveamento descrito nesta seção, um diagrama elétrico será analisado a partir das figuras 13 e 14.

Figura 13 - Diagrama Elétrico de Comando

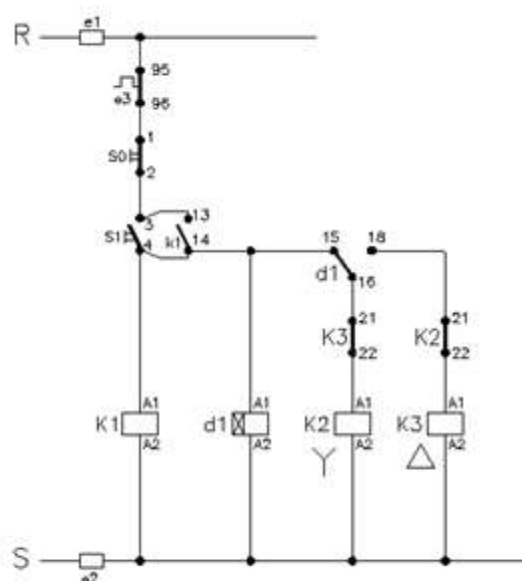
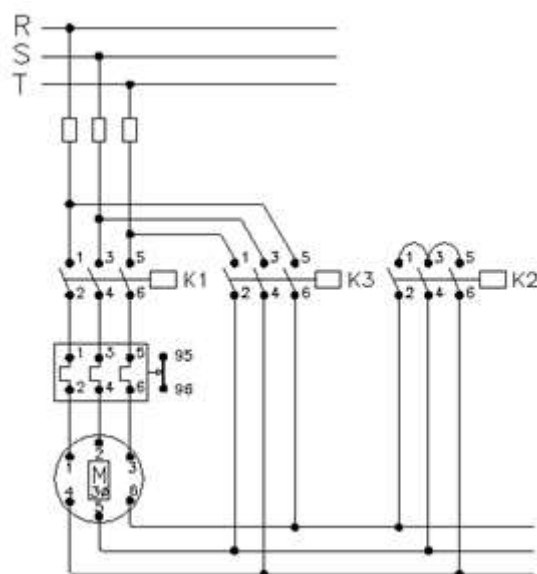
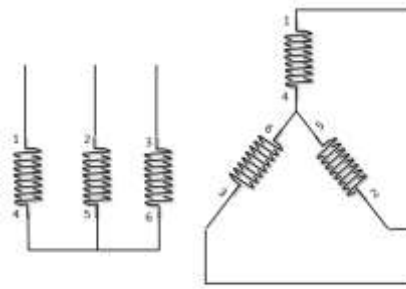
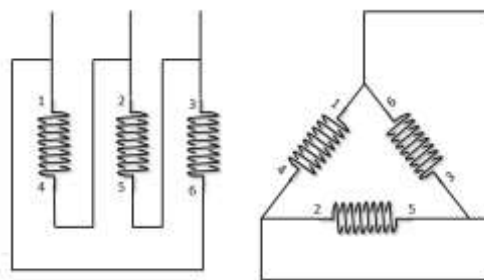


Figura 14 - Diagrama Elétrico de Potência



As figuras 15 e 16 representam os dois tipos de ligação do motor relacionados com seus seis terminais:

Figura 15 - Terminais Estrela**Figura 16 - Terminais Triângulo**

Verifica-se que na ligação estrela os terminais 4,5 e 6 estão curto-circuitados, e os terminais 1, 2 e 3 são ligados respectivamente nas fases. Já no caso da ligação em triângulo estão circuitados os terminais 1 e 6, 3 e 5, 2 e 5. E a eles cada fase.

Analisando os diagramas e os resumindo de maneira simples, os contatores K1, K2 e K3 são responsáveis pela partida.

O contator K1 é o que liga ou desliga o motor, e o contator K2 e K3 são os que realizam a manobra estrela triângulo.

Quando K1 é acionado junto com K2 o motor é ligado e alimentado em estrela, aplicando uma tensão menor a seus terminais devido à ligação estrela. No diagrama de controle d1 é temporizado, e após um determinado tempo é acionado realizando a manobra de K2 para K3 ligando o motor em triângulo operando agora com tensão nominal em seus terminais.

2.4.3 Soft Starters.

Traduzindo para o português, *soft starter* significa partida suave, e é literalmente o que este dispositivo eletrônico se propõe a fazer. Um soft starter de motor é um dispositivo utilizado para reduzir temporariamente a carga e o torque do motor em seu startup. Ele é composto por pontes de tiristores cujo ângulo de disparo é regulado, o que resulta na regulação da tensão eficaz aplicada ao motor.

Este tipo de motor é utilizado em aplicações que não requerem controle de velocidade, mas somente um controle na partida, pois após chegar à velocidade nominal é realizado um *bypass*² Soft starter.

Para uma melhor compreensão, o Soft Starter realiza quase a mesma função da partida estrela-triângulo, porém de maneira “analógica”, entregando aos terminais do motor não somente uma tensão mais baixa que a nominal, de uma maneira brusca, e sim uma variação da tensão com o tempo fazendo com que a partida seja bem mais suave.

A figura 17 representa um *Soft starter*:

Figura 17 - Soft starter SIRIUS 3RW40



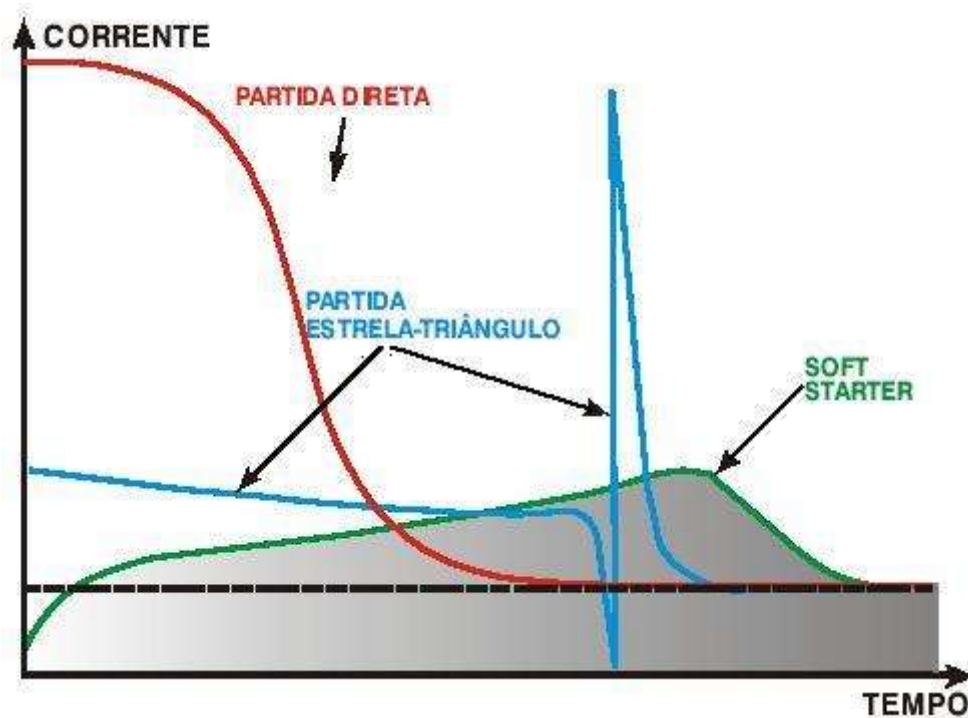
(SIEMENS, 2012)

Verifica-se neste *Soft starter* que ele pode ser configurado de maneira simples em sua própria estrutura, com valores como rampa de subida, rampa de descida e sua classe. A seguir, um gráfico mostrando as diferenças de partida será analisado

Este gráfico de comparação de acionamentos mostra claramente que a partida direta é a que consome maior corrente por maior tempo na partida de um motor, o que pode ser solucionado com uma partida estrela-triângulo.

² *Bypass* é um termo utilizado para definir um desvio, no caso do *softstarter* o *bypass* é definido como um curto circuito entre a entrada e saída do equipamento o ignorando na operação.

Gráfico 3 - Comparação entre partidas



Fonte: ROSA, 2003

Na partida estrela-triângulo verifica-se um transitório na manobra, o que pode ocasionar em problemas na rede.

Para solucionar os casos em que os picos de corrente podem ser prejudiciais para as aplicações e para as plantas onde elas estão instaladas ou até mesmo para economizar de energia a melhor solução é o soft-starter.

Entretanto, os *soft starters* não possuem controle de velocidade nem de posicionamento de um motor. Nos casos em que tais controles sejam necessários, os conversores de frequência são a melhor solução.

2.5 Conversores de frequência

Também conhecidos por inversores de frequência ou *Drives*, conversores de frequência são dispositivos eletrônicos que convertem a tensão da rede alternada em outra tensão alternada cuja frequência e amplitude são controláveis.

Em geral são utilizados para controlar motores elétricos dentro de uma ampla faixa de valores, otimizando as características de torque e de corrente conforme as características da carga e do sistema elétrico.

Suas áreas de aplicações são muito vastas, podendo ser utilizados para bombeamento, ventilação e compressão, movimentos precisos, processamentos e usinagem. Todos eles com um elemento em comum que é o controle de motores.

A figura 18 representa a família de conversores de frequência MICROMASTER da SIEMENS:

Figura 18 - Família de Conversores MICROMASTER SIEMENS

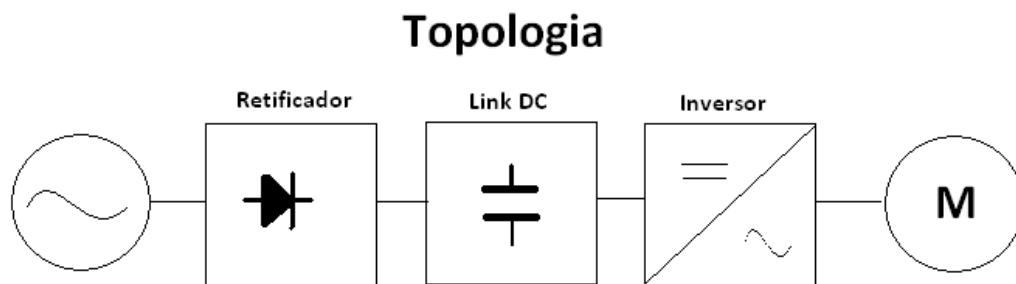


(SIEMENS, 2012)

2.5.1 Topologia

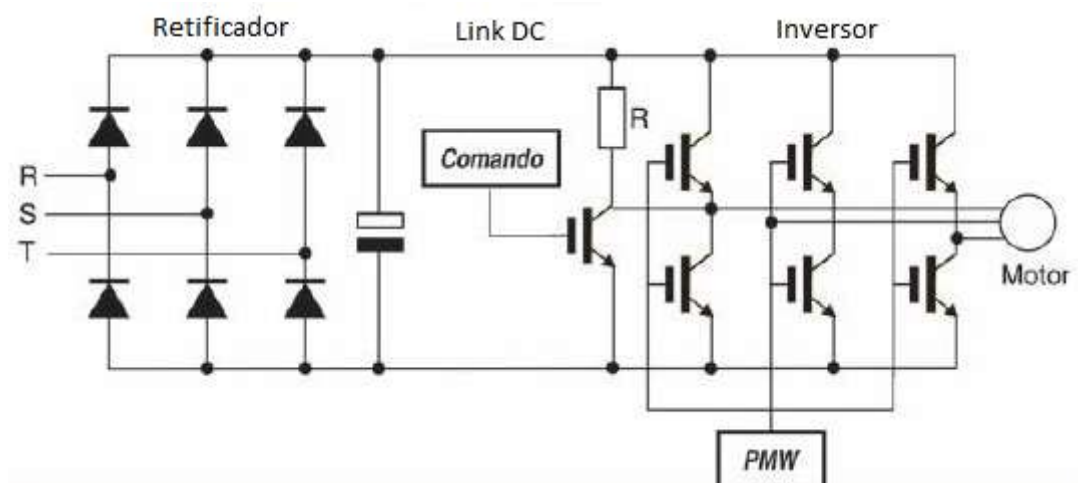
A topologia de um conversor de frequência pode ser representada em blocos, como na Figura 19 - Topologia do Conversor

Figura 19 - Topologia do Conversor



Para um entendimento mais profundo será explicitado na figura 20 como é o circuito de um conversor de frequência trifásico simples.

Figura 20 - - Circuito Conversor de frequência



O bloco do retificador da figura 20 pode ser controlado (Utilizam SCR³) ou não controlado que é exclusivamente feita por diodos. Este bloco transforma a corrente alternada, no caso do Brasil de 60Hz, para um tensão com corrente contínua.

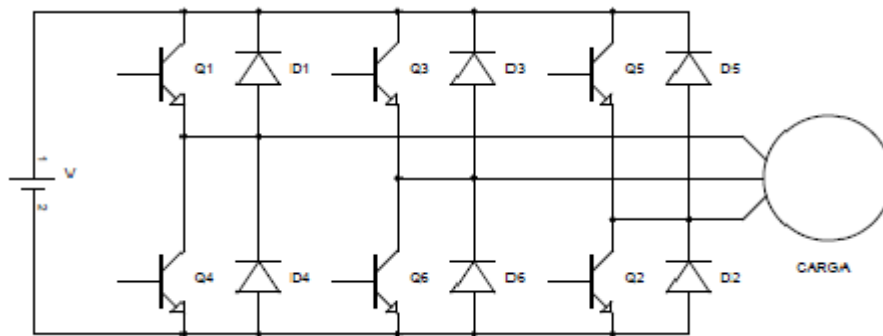
O *link DC*, que fica logo após o bloco retificador, é responsável por filtrar os ruídos e os harmônicos resultantes do chaveamento. O link DC em um modelo ideal, teria que dispor de energia CC, como se fosse uma bateria infinita. (KEVIN, 2010).

³Do inglês: Retificador controlado de Silício

A parte inversora e a estratégia de comutação da mesma serão explicadas com base na apostila de eletrônica de potência do professor José Roberto Monteiro, (2011).

A Figura 21 - Estrutura do Inversor retrata a estrutura típica da parte inversora de um conversor de frequência:

Figura 21 - Estrutura do Inversor

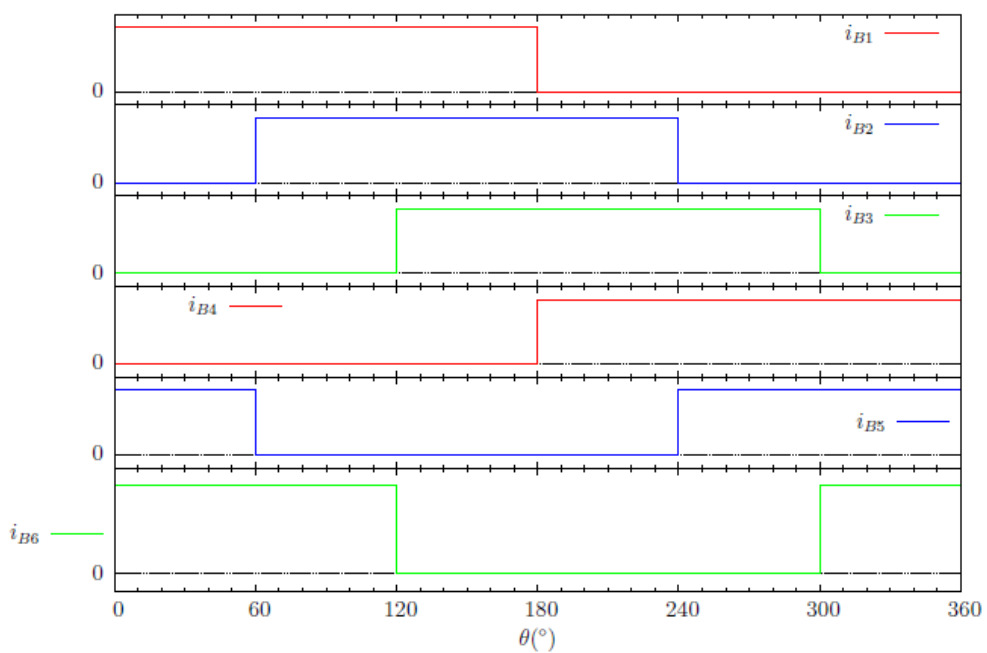


(MONTEIRO, 2011)

São descritas duas estratégias de comutação, modo de seis pulsos 180° e Modo de seis pulsos 120° em (MONTEIRO, 2011). Para entendimento de como são chaveados, o modo de 180° será explícito nas formas de onda nas bases dos transistores. Para visualização da forma de onda resultante será explícito o de 120° .

Cada transistor é acionado durante meio ciclo (180°) por isso é chamado de 180° . As formas de onda de corrente na base dos transistores da ponte inversora trifásica da Figura 21 - Estrutura do Inversor pode ser vista na Figura 22 - Formas de onda de corrente nas bases dos transistores.

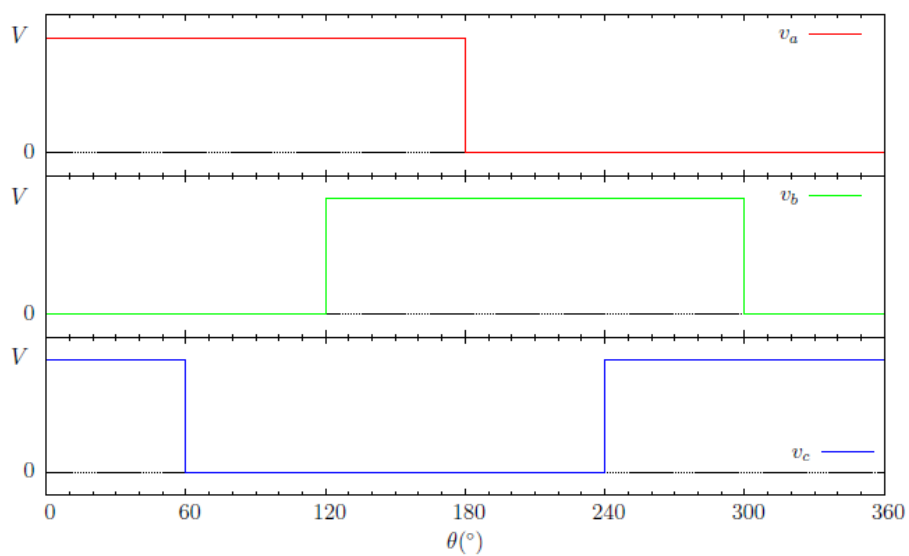
Figura 22 - Formas de onda de corrente nas bases dos transistores



(MONTEIRO, 2011)

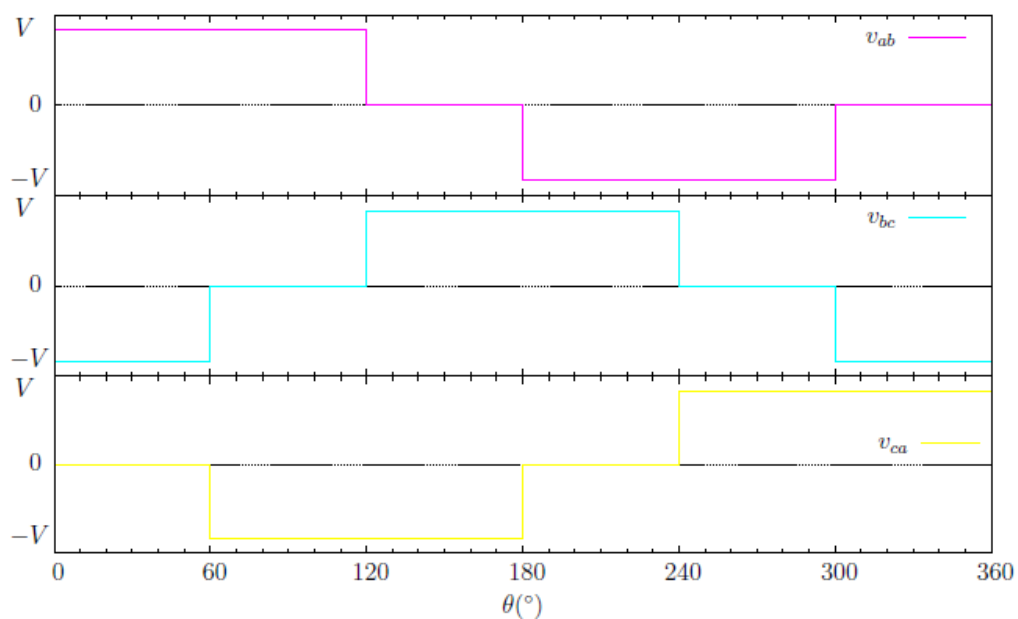
As formas de onda de tensão podem ser vistas nas figuras abaixo, sendo respectivamente tensão de fase e tensão de linha.

Figura 23 - Tensão de Fase



(MONTEIRO, 2011)

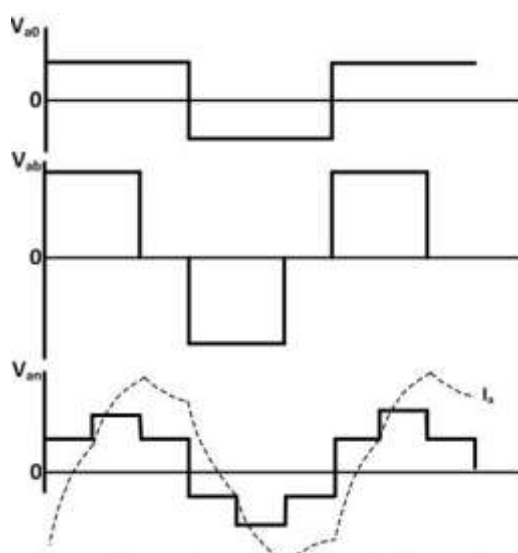
Figura 24 - Tensão de Linha



(MONTEIRO, 2011)

Para uma melhor visualização da forma de onda resultante do chaveamento de 6-pulsos – no caso da figura abaixo 120° - a imagem a seguir demonstra as formas de ondas resultantes desse chaveamento, incluindo a de corrente, quando aplicada a um motor trifásico. Observa-se que é muito semelhante a uma tensão senoidal, o que alimentaria o motor de indução trifásico.

Figura 25 - Formas de Onda

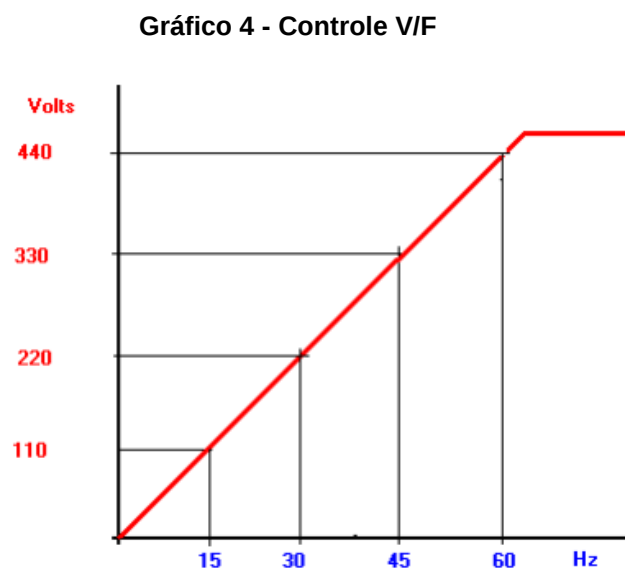


2.5.2 Métodos de Controle

Os métodos de controle são classificados em em dois grupos: Controle Escalar e Controle Vetorial

Controle escalar também conhecido como controle V/F é uma técnica de controle de velocidade utilizada para aplicações em processos que necessitam apenas de variação de velocidade, sem respostas precisas ou dinâmicas elevadas⁴.

Um exemplo para explicação do controle escalar pode ser visto no Gráfico 4 - Controle V/F



(SIEMENS, 2012)

Podemos dizer então que o controle escalar são fontes de alimentação com valores de tensão e frequência predeterminados dentro de toda faixa de variação de velocidade.

Existem curvas V/F prontas, para aplicações mais comuns, como por exemplo, curvas quadráticas para bombas e ventiladores que além de terem um alto torque de partida tem seu torque proporcional quadrático a velocidade.

Controle Vetorial é exigido nas aplicações em que o controle de posição é necessário, exigindo um alto desempenho dinâmico. Nesta técnica o sistema de controle age no torque eletromagnético estimando, ou medindo, o fluxo magnético em relação à corrente do rotor.

⁴ Dinâmicas elevadas caracterizam-se por respostas rápidas e de alta precisão

O controle vetorial mais simples utiliza o controle V/F de determinada forma, entretanto com um algoritmo incorporado que influi na frequência e na tensão proporcionando um melhor desempenho ao motor. Muitas funções são incluídas neste tipo de controle, como por exemplo, a compensação de escorregamento que aumenta a frequência de saída baseado na elevação de corrente do motor, compensando a queda de velocidade devido ao escorregamento. Além disso, funções de economia de energia, que em determinados casos em que a carga é reduzida, o algoritmo reduz a tensão de saída, assim melhorando a eficiência do motor e economizando energia elétrica.

Já no controle vetorial de fluxo, a tensão e a frequência são controladas independentemente não seguindo uma curva V/F fixada. O objetivo dele é manter um fluxo magnético do motor constante e controlar diretamente o torque que está sendo aplicado ao eixo do motor, controlando a corrente nele.

Nos controles escalares e vetoriais que utilizam a curva V/F o torque do motor é consequência do escorregamento. No caso do controle vetorial por fluxo este torque é imposto e controlado diretamente.

Existem dois tipos de controle vetorial de fluxo, o com *encoder*⁵ e sem *encoder*. O com *encoder* obtém a velocidade diretamente do eixo do motor e a controla com alta precisão, pois sua malha de controle é fechada - em casos que necessitam de extrema precisão, como em máquinas ferramentas, chegam a ser utilizados dois *encoders* em um só eixo -. Os sem *encoder*, conhecidos como *sensorless vector control* (SLVC), que através de artifícios matemáticos um algoritmo tenta calcular a velocidade real e o escorregamento do motor baseado no fluxo do mesmo, que mesmo sem *encoder* é muito mais preciso do que o controle escalar.

Para realização correta do controle vetorial de fluxo é necessário que todos os dados de placa do motor sejam inseridos corretamente na parametrização do conversor.

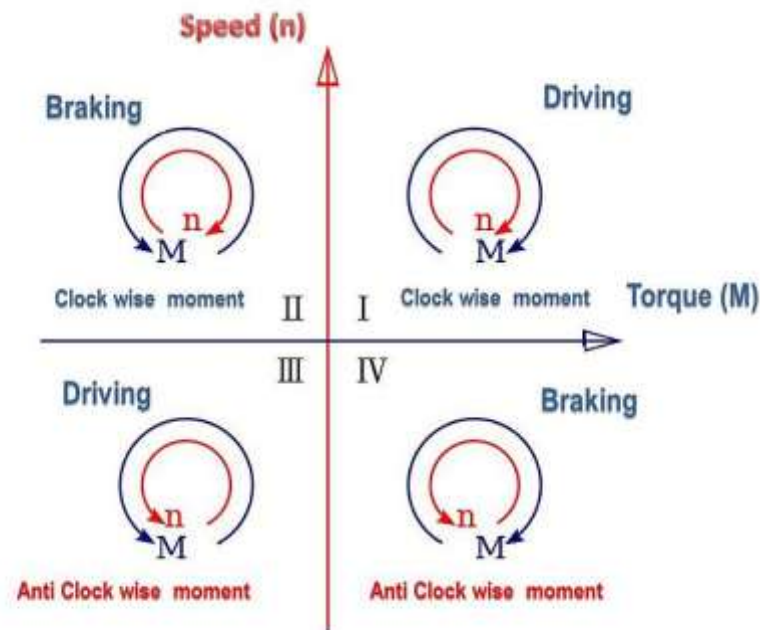
Para melhor compreensão dos tipos de controle, é interessante que o manual do fabricante do conversor seja lido, pois cada tipo e cada malha de controle são diferentes para cada tipo de fabricante.

⁵ Dispositivo eletromecânico que conta pulsos elétricos a partir do movimento rotacional em seu eixo. Conseguem obter a velocidade de um eixo rotativo pelos pulsos elétricos que são distribuídos uniformemente ao longo de seus 360° de giro.

2.5.3 Operação dos conversores

Os motores podem operar em diferentes quadrantes. O Diagrama de quatro quadrantes está explicito na figura abaixo:

Figura 26 - Quadrantes de Operação



(SIEMENS, 2012)

Quando o motor roda no sentido horário e o torque é positivo, ou seja, ele está realizando força no sentido de operação, ele encontra-se no primeiro quadrante. ($n > 0$ e $M > 0$). Quando o motor está rodando no sentido anti-horário, porém o torque está no sentido contrário, ou seja, ele está freando ou regenerando, ele encontra-se no segundo quadrante. ($n > 0$ e $M < 0$). No caso do motor estar no sentido horário, e seu respectivo torque também é negativo, ou seja, ele está rodando ao contrário e realizando torque no mesmo sentido de movimento, ele encontra-se no terceiro quadrante. ($n < 0$ e $M < 0$). No caso da operação do quarto quadrante, ele está com movimento no sentido anti-horário e seu torque está no sentido horário, ou seja, ele está novamente freando ou regenerando energia. ($n < 0$ e $M > 0$). Para uma melhor explanação da operação nos quatro quadrantes será ilustrado como seria o controle de um trem elétrico nos respectivos quadrantes:

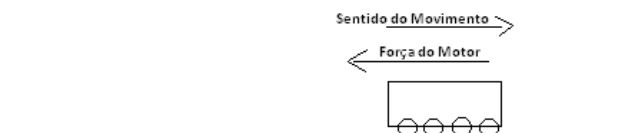
- a) 1º Quadrante caracteriza-se pelo trem se movimentando para um sentido com os motores realizando trabalho para aquele sentido.

Figura 27 - 1º Quadrante



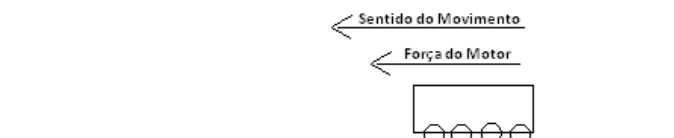
- b) 2º Quadrante caracteriza-se pelo trem ainda se movimentando para o mesmo sentido, porém com os motores realizando trabalho para o outro lado, ou seja, freando ou regenerando energia.

Figura 28 - 2º Quadrante



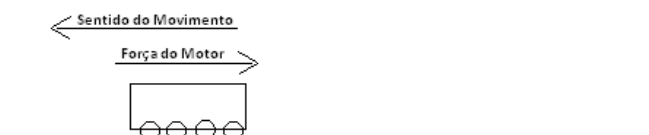
- c) 3º Quadrante caracteriza-se pelo trem movimentando-se para o sentido contrário do primeiro quadrante e com seus motores realizando trabalho para o mesmo sentido do trem.

Figura 29 - 3º Quadrante



- d) O 4º e último quadrante caracteriza-se pelo trem indo na mesma direção do trem do terceiro quadrante, porém desta vez freando.

Figura 30 - 4º Quadrante



2.6 KITS didáticos

Kits didáticos são utilizados para realizar ensaios e testes tanto em ambientes acadêmicos como em ambientes industriais. As empresas vendedoras de produtos de Automação Industrial como, Siemens, Weg, Schneider, Rockwell Automation, Festo e diversas outras empresas desenvolvem estes kits com a finalidade de treinar os fabricantes de máquinas, seus clientes,

A Figura 31 - KIT DIDÁTICO é um utilizado para treinamentos do conversor de frequência MICROMASTER 440 Da SIEMENS.

O kit utilizado como exemplo é composto por um conversor, um motor de Indução Trifásico e Entradas digitais e analógicas. O kit vem em uma maleta para fácil transporte e para a segurança do mesmo.

Os kits didáticos tem muita importância para o ensino de automação industrial. Os fabricantes de produtos assim como os cursos que lecionam conhecimentos de automação industrial os desenvolvem para que seja possível a formação de novas pessoas capacitadas para o mercado de trabalho.

Figura 31 - KIT DIDÁTICO



CAPÍTULO 3 – MONITORIA

SEL406-AUTOMAÇÃO é uma disciplina ministrada pelo Professor Dr. Dennis Brandão que tem como objetivo apresentar aos alunos conceitos e técnicas na automação de processos industriais através de aulas práticas⁶. Além das aulas práticas, um projeto de automação industrial é proposto aos alunos para que estes desenvolvam o mesmo durante o semestre. O fundamento principal do projeto é que os alunos possam ter uma abordagem técnica de como é um projeto real no mercado de trabalho de automação industrial.

No ano de 2012, a disciplina SEL406 AUTOMAÇÃO passou a ter um crédito a mais do que no semestre anterior, tendo a carga horária ampliada para duas aulas de dois créditos na semana. Esta ampliação da carga horária possibilitou a inclusão de tópicos como acionamento de motores elétricos e conversores de frequência na disciplina.

Para uma análise de resultados dos projetos dos alunos e um suporte à disciplina durante o primeiro semestre de 2012, o autor deste trabalho foi monitor da disciplina SEL-406 (Automação).

A Monitoria teve como principais objetivos:

- Tirar dúvidas dos discentes quanto aos tópicos da disciplina
- Orientar e estimular a sala no projeto de automação
- Apresentar simulações práticas de conversores de frequência em simulações no laboratório
- Analisar as entregas e a evolução da sala durante o semestre
- Aprender sobre novos mercados da indústria
- Observar as necessidades da disciplina

3.1 A Disciplina e o Laboratório

A disciplina Automação ocorre nos semestres ímpares na Escola de Engenharia de São Carlos, sendo disciplina obrigatória para os alunos que cursam Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação e disciplina

⁶ <https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/obterDisciplina?sgldis=SEL0406>

optativa eletiva para outros cursos de engenharia da Escola de Engenharia de São Carlos.

De acordo com o programa resumido⁷ e com as Notas de Aula, de Brandão (2012), os tópicos a serem seguidos na disciplina são:

- “1. Conceituação: Níveis de Automação, Triângulo de Hierarquia.
2. Automação de processos contínuos: Sistemas supervisórios, tipos de malhas de controle, Instrumentação analógica e digital, instrumentação inteligente: Conceito, aplicações, Transdutores, Sistemas digitais de controle distribuído. Controladores Multi Loop.
3. Automação de sistemas discretos: Introdução aos Sistemas e Eventos Discretos.

CLP, CNC, Linguagem da programação dos controladores programáveis, norma IEC 1131-3, Aplicações para Automação, Diagrama de Relés, Redes de Petri, Robótica, Sistemas CAID/CAE/CAD/CAM.
3. Aspectos gerais de Automação: Conceito de Grau de Proteção, Conceitos básicos de instrumentação, Conceito de Área de Segurança, Redundância, Conceito de Tipos de Indústrias, Conceitos de Confiabilidade e Disponibilidade de equipamentos. Documentação de projetos, integração de processos.
4. Comunicação Industrial: Fundamentos de Comunicação de Dados, Redes e protocolos para automação. Escalonamento de tarefas e de mensagens.
5. Ferramentas para Automação de Sistemas Elétricos: Sistemas de supervisão dos Sistemas Elétricos de Potência, Automação de subestações, usinas e sistemas de distribuição. O impacto da automação no mundo do trabalho.”

Junto com a disciplina de automação um laboratório é ministrado para os discentes: SEL0430 – Laboratório de Automação. Este laboratório tem como objetivo proporcionar um contato direto com os equipamentos de instrumentação e controle industrial. Através de experimentos práticos, os alunos realizam em roteiros em grupos que cobrem os procedimentos básicos para operação de sensores, atuadores, controladores Interface Homem Máquina e redes industriais.

⁷ Ementa no website : <https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/obterDisciplina?sgldis=SEL0406>

3.2 Os Discentes

Com o intuito de uma análise quantitativa em relação ao desempenho da sala no Projeto de Automação os seguintes dados serão considerados: A sala continha 54 alunos sendo:

Gráfico 5 - Distribuição de alunos por ano de ingresso

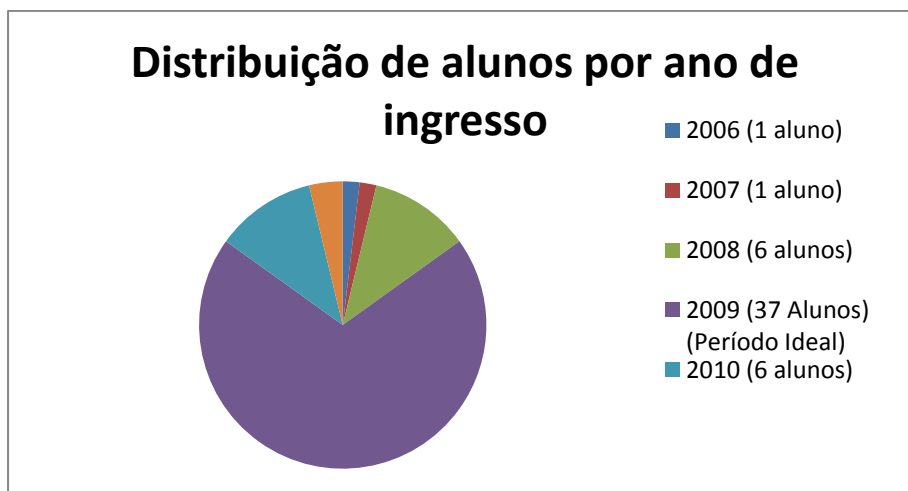
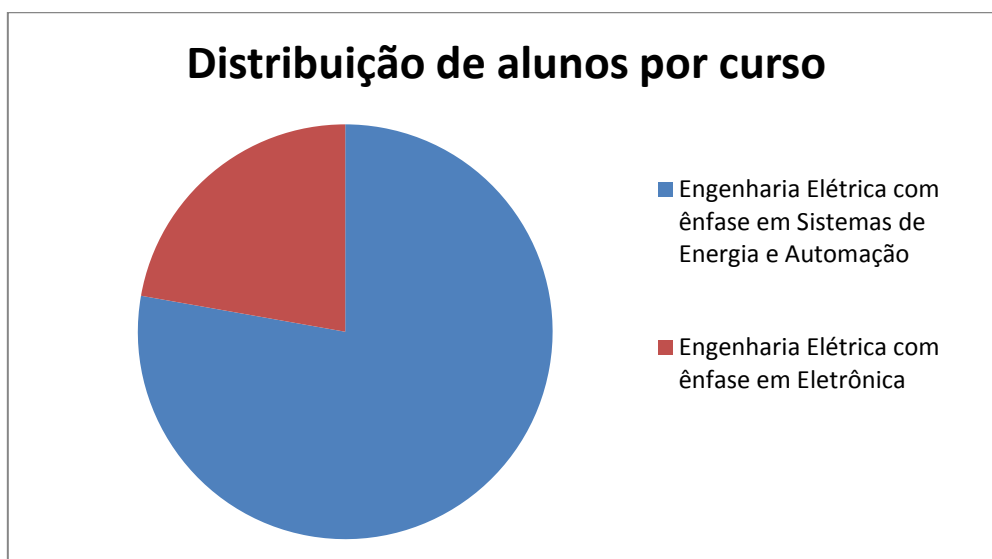


Gráfico 6 - Distribuição de Alunos por curso



3.3 O Projeto

O projeto de automação da disciplina tinha como propósito apresentar o mercado de automação industrial, suas linhas de atuação, os produtos e possibilitar que os discentes pudessem criar um projeto com características profissionais.

Diferente dos projetos realizados nos anos anteriores, os alunos tiveram a possibilidade de propor máquinas de diferentes áreas para seus respectivos projetos. Esta mudança no projeto foi realizada com o intento de criar maior interesse dos alunos na disciplina de automação.

O projeto foi realizado em grupos de três alunos e dividido em quatro entregas em diferentes datas sendo elas:

- 1ª Entrega - Áreas de atuação da automação industrial e Esquematização do Projeto (11/05/2012)
- 2ª Entrega - Projeto Elétrico e Pneumático, Croqui Mecânico. (01/06/2012)
- 3ª Entrega - Programa do PLC e Segurança. (12/06/12)
- 4ª Entrega - Projeto completo. (29/06/2012)

A nota do projeto completo representava 50% da nota final da disciplina SEL406, sendo ela composta pelos seguintes pesos:

$$\text{Nota Final} = \frac{E1 * 2 + E2 * 2 + E3 * 2 + E4 * 4}{10}$$

Equação 3 - Nota Final

3.4 A 1ª Entrega:

A 1ª Entrega deveria ser entregue até dia 11 de maio de 2012, os tópicos a seguir descrevem, o que deveria constar na primeira entrega, o desenvolvimento e a análise e os resultados.

3.4.1 Áreas de Atuação da Automação industrial e Esquematização do Projeto:

Os alunos deveriam escolher uma das áreas que mais simpatizavam dos mercados verticais⁸ da indústria para desenvolver seus projetos. Os seguintes mercados verticais foram indicados como exemplo para desenvolvimento do projeto: Açúcar e álcool, Portos e Elevação de Carga, Metais e Minérios, Alimentação e Bebidas, Gás e Óleo, Automotiva, Papel e Celulose, Automação residencial, Águas e Saneamento, Química. No entanto, eles poderiam escolher qualquer outro mercado que lhes interessava.

A pesquisa deveria conter:

- Um breve resumo do que se tratava o Mercado Vertical de no máximo uma página
- A história e como a automação industrial melhorou os processos, também de no máximo uma página.
- Os tipos de máquina que o setor escolhido possui e suas diversas funções, com máximo de uma página.
- Os produtos utilizados e seus fabricantes com máximo de duas páginas.
- Lista de Alguns fabricantes de Equipamentos de Automação Industrial

Depois de realizada a pesquisa, o grupo deveria propor o projeto de uma das máquinas automatizadas mostradas na breve pesquisa, Sendo o monitor da disciplina responsável pela aprovação do projeto.

Ao escolher a máquina as seguintes informações deveriam ser complementadas para a 1ª Entrega:

- Um Esboço da máquina – para começar a estruturar um croqui mecânico que seria entregue na próxima entrega.

⁸ Mercado Vertical é uma indústria em particular ou um grupo de empresas com produtos ou serviços particulares que são desenvolvidos e vendidos de métodos similares (...) (ROUSE, 2007)

- O que a máquina realiza detalhadamente –um passo a passo de ações que a máquina realizaria
- As entradas e saídas da máquina – I/Os
- Os produtos que serão utilizados detalhadamente – detalhamento quantitativo de quais produtos seriam utilizados para o projeto

3.4.2 Análise de resultados após a 1ª Entrega

Durante a 1ª Entrega os grupos selecionaram os seguintes mercados verticais:

Alimentos, Automotiva, *Cranes* e Elevação de Carga, Indústria Química, Reciclagem, Automação Residencial e Açúcar e Álcool. Sendo que somente quatro alunos não entregaram proposta de projeto.

3.4.3 Resumo dos projetos propostos:

Alimentos:

1 - Máquina de Pasteurizar de Cerveja - A máquina controla o movimento das esteiras e das garrafas dentro da máquina de pasteurização. (CAMARGO, KONDA e MARQUITTI, 2012)

2- Colocadores de Rolhas em garrafas - A máquina é responsável por engarrafar cervejas. (JÚNIOR, BORGES e NOVAES, 2012)

3 - Seladora de Caixas com frutos - A máquina sela as caixas de frutos que é transportada por esteiras. (SILVA, LIMA e MARCOS, 2012)

Automotiva - Automobilística:

4 – Equipamento de Pintura - Processo de PRIMER que caracteriza-se por uniformizar a superfície da carroceria. (PIREZ, PRATELEIRA e ZATARIN, 2012).

5 – Prensa - Máquina utilizada para a estampagem de portas, capô e outras partes da carroceria. (CIFONI, ANTONELLI e BOTECHIA, 2012).

6 – Máquina que posiciona e fura roda – Dois sistemas independentes: uma prensa e um braço de posicionamento de peças. (VIEIRA, NAVARRO e MANSUR, 2012).

Cranes – Elevação de Carga

7 - Crane posicionador - O Sistema posiciona os Cranes e realiza troca de containers (ALMEIDA, CASSIMIRO e BENTO, 2012).

8 – RTG – Rubbed Tired Gantry, uma ponte rolante com pneus, utilizada para posicionar containers. (BUENO, CAVENAGHI e LEITE, 2012).

Indústria química

9 – Estações de preparação de polímeros - A estação de preparação de polímeros faz a dosagem, preparação e estocagem de um polímero químico. (FERREIRA e ALVES, 2012).

10 – Reatores de mistura - Processo de produção de Bicarbonato de Sódio. Reatores de mistura apresentam como característica básica o movimento das soluções para formação do produto final. (RAGAZZI, LEITE e SILVA, 2012)

Indústria de reciclagem

11-Esteira seletora – Esteira seleciona materiais para reciclagem (MANSUR e PEREIRA, 2012).

Açúcar e Alcool

12 – Projeto de garra pneumática transportadora: A garra é utilizada para movimentar cana. (DOMINGUES, HERNANDES e MIZANI, 2012)

13 – Máquina de Hidrojateamento: Hidrojateamento de tubos trocadores de calor das calandras utilizadas nos evaporadores das usinas de açúcar e álcool (MACAN, ARRUDA e HASHIMOTO, 2012)

14 - Terno de Moagem - O terno é formado por três rolos, montados em triângulo para que a cana seja esmagada duas vezes (BARBOSA, BRESSAN e MELO, 2012)

Automação Residencial

15 – Projeto de Automação Residencial – Iluminação automatizada de uma casa (PEDROSA, DOS REIS e MORITA, 2012)

3.4.4 Notas

Nesta 1ª Entrega os grupos tiveram a percepção do que se trata o mercado e puderam propor uma máquina a sua escolha.

Em geral os grupos fizeram um bom trabalho, sendo que as notas mais baixas foram devido à falta de informações requisitadas para o trabalho e por cópias idênticas a outros trabalhos. De uma maneira geral os grupos apresentaram bom desempenho na 1ª Entrega. A seguir seguem os gráficos da distribuição das notas dos alunos e a relação entre as notas da 1ª Entrega em relação às notas da primeira prova dos alunos.

Gráfico 7 - Distribuição da quantidade de alunos pelas Notas na E1

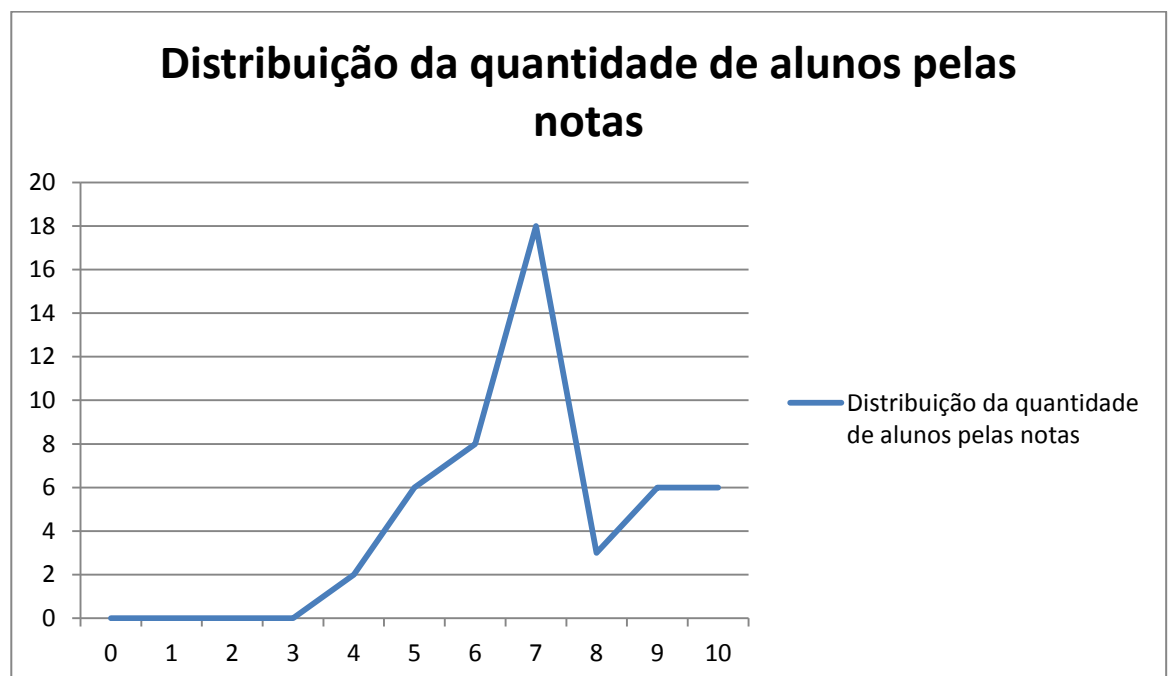
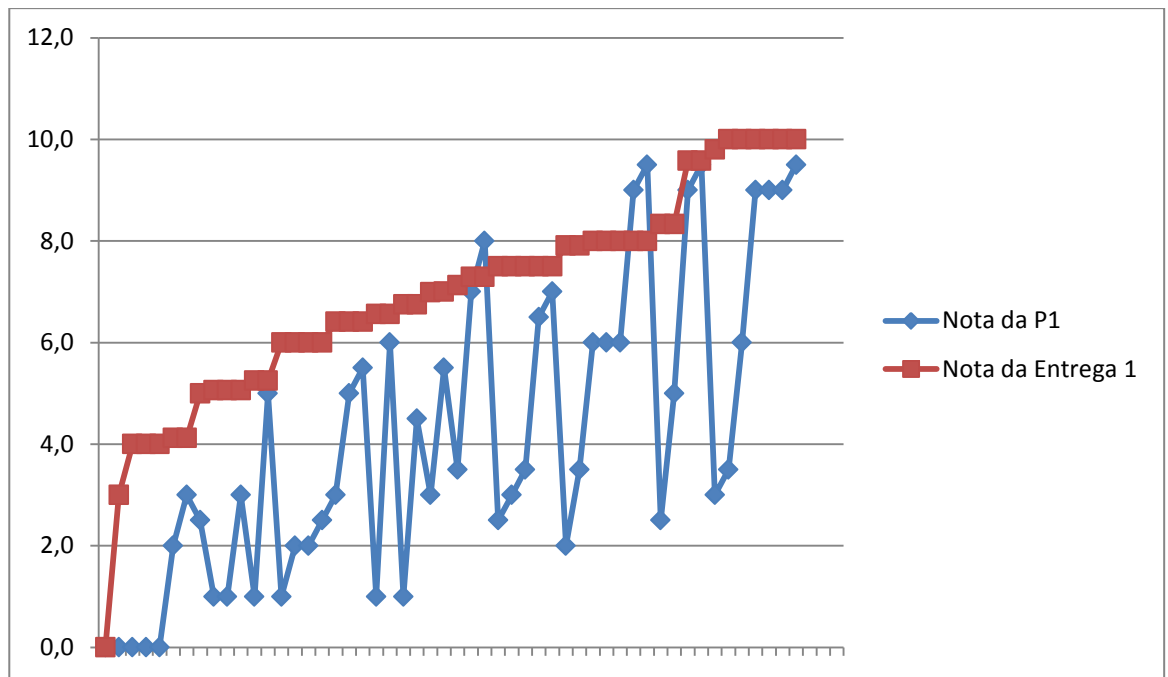


Gráfico 8 - Relação entre Notas da P1 e da E1



Pode-se observar que se analisados de forma linear, as notas da primeira prova seguem o comportamento das notas da 1ª Entrega.

3.5 A 2ª entrega:

A 2ª Entrega deveria ser entregue até dia 1º de junho de 2012. Os tópicos a seguir descrevem assim como o anterior, o desenvolvimento a análise e dos resultados.

3.5.1 Entregas necessárias

Para 2ª Entrega era necessária a entrega de três projetos:

- Um croqui mecânico, que é uma espécie de rascunho mecânico da máquina. Neste croqui não era necessário precisão nem dimensões corretas, somente um esboço de como a máquina seria.

- O Diagrama Elétrico. Neste diagrama deveria constar todo o sistema elétrico do projeto. A alimentação, os motores, os transformadores, os controladores lógicos programáveis, seus cartões e remotas, e toda parte elétrica que constava no projeto proposto.

- O Projeto Pneumático. Diversos projetos tinham pneumática, logo esquemas pneumáticos também deveriam ser montados.

3.5.2 Atividades entre a 1ª e 2ª Entrega

Antes do final da 2ª Entrega um minicurso de Conversor de Frequência MICROMASTER 440 foi realizado no Laboratório de Automação Industrial, na Escola de Engenharia de São Carlos. Compareceram ao minicurso nove pessoas de quatro grupos diferentes.

No minicurso foram abordados diversos tópicos a respeito de conversores de frequência e sua utilização no mercado de automação industrial. Para uma demonstração prática, a SIEMENS disponibilizou um Notebook Industrial e o Laboratório de Automação Industrial um conversor de frequência modelo MICROMASTER 440 e um PLC S7-300 para realizar os testes.

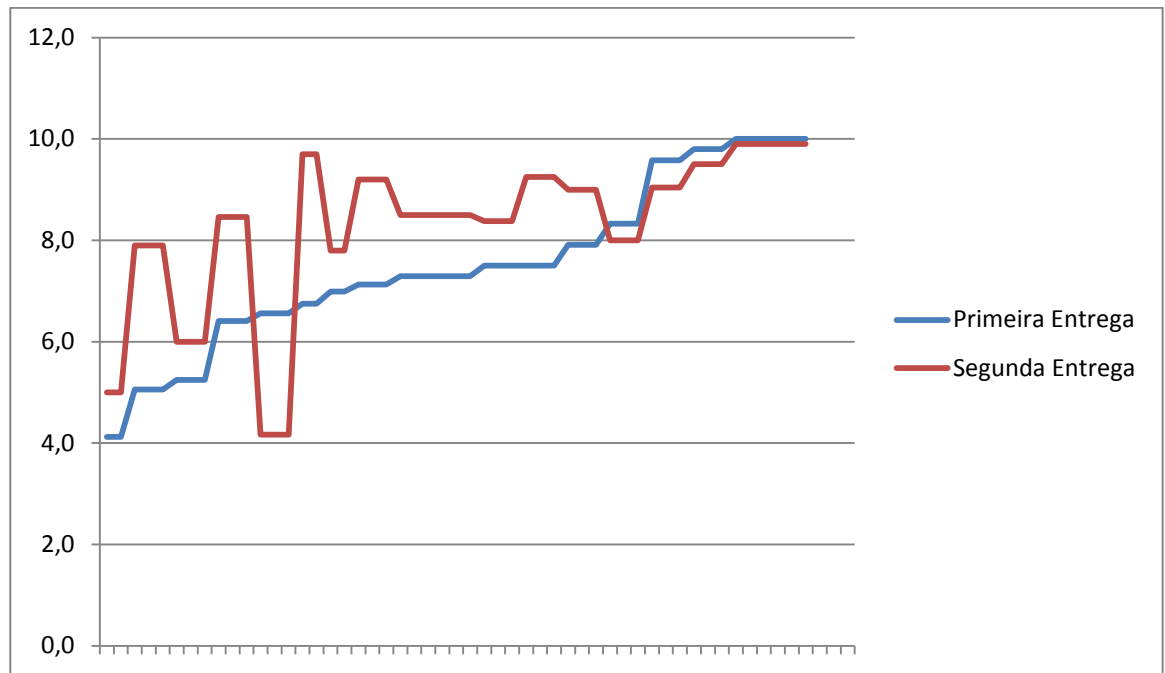
Durante os testes, o PLC foi ligado o conversor de frequência em suas saídas analógicas e digitais e, com a ajuda do Notebook Industrial, o conversor foi parametrizado para funcionar com o PLC. Os alunos puderam verificar como controlar um motor com um PLC conectado ao conversor.

De todos os alunos presentes nenhum tinha tido contato com conversores antes. O *feedback* deles foi positivo dado que todos se sentiram encorajados a usar conversores em seus respectivos projetos.

3.5.3 Análise de Resultados após a 2ª Entrega

Utilizando a mesma base de comparação da 1ª Entrega, porém com relação à 1ª Entrega e não mais à Primeira Prova, observa-se no gráfico a seguir que a sala obteve um desempenho melhor na 2ª Entrega do que na 1ª Entrega.

Gráfico 9 - Notas 1ª X 2ª Entrega



3.6 A 3ª Entrega

A 3ª Entrega consistia na entrega de três partes do projeto.

1. O programa de PLC em Ladder, envolvendo todas as variáveis, entradas, saídas e também os blocos especiais envolvidos.
2. O sistema de segurança do projeto, envolvendo as emergências, os diagramas elétricos e a programação específica.
3. Todos os parâmetros de equipamentos que estavam envolvidos no projeto, como parâmetros de conversores e Soft starters.

3.6.1 Atividade entre a 2ª e a 3ª Entrega

Entres as entregas novamente foram realizadas atividades no laboratório, porém desta vez envolvendo o PLC. As atividades foram voltadas praticamente para explicar melhor os ciclos do PLC e como programa-lo.

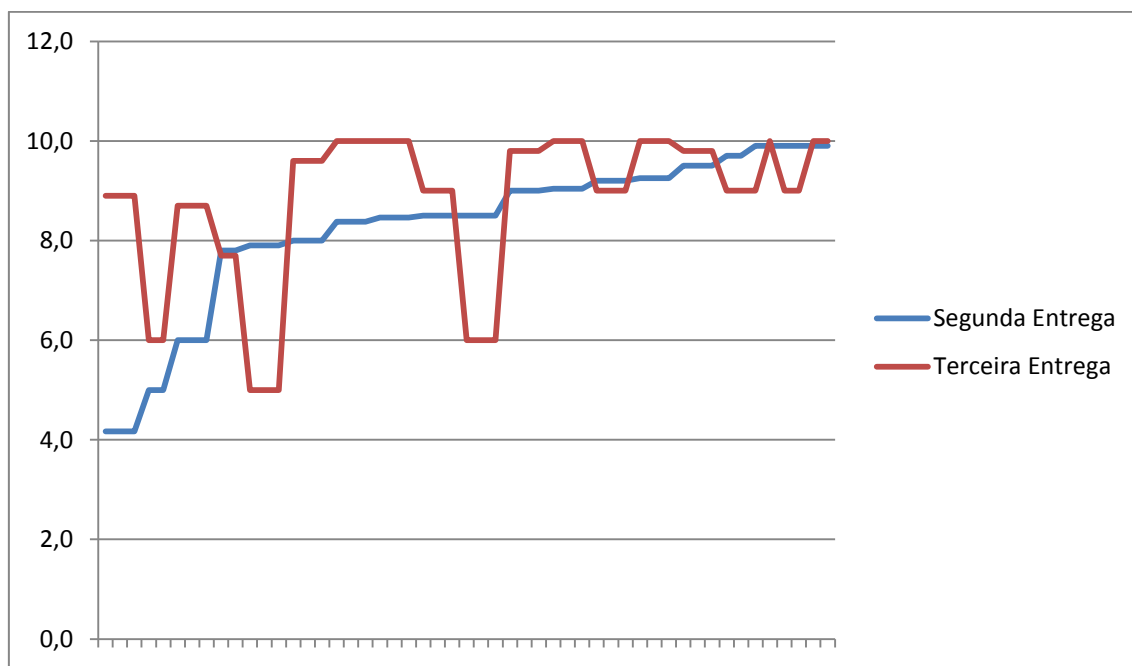
Três grupos compareceram ao laboratório com a finalidade de aprender mais a respeito do conversor de frequência, porém devido à indisponibilidade do Computador Industrial emprestado pela SIEMENS e ao horário dos alunos não foi possível realizar outro curso do conversor.

3.6.2 Análise de Resultados após a 3ª Entrega

A 3ª Entrega teve resultados ótimos em comparação às outras entregas. Não houve nenhum caso de plágio e as notas mais baixas ocorreram devido à falta da inclusão do sistema de segurança do projeto. Entretanto, somente um dos grupos entregou os dados de parametrização dos conversores que eles utilizaram em seus projetos. Os grupos justificaram que não tinham conhecimento suficiente para colocar estes dados, e o único grupo que colocou, o fez incorretamente. Neste ponto observa-se a necessidade da inclusão deste tópico na disciplina, pois apesar dos discentes estarem familiarizados com a topologia de um conversor, eles não sabem o funcionamento básico do mesmo e como opera-lo

Para uma análise quantitativa seguem as notas dos discentes, levando em consideração a 2ª Entrega.

Gráfico 10 - Notas da 2ª Entrega x 3ª Entrega



Entre estas duas entregas, os alunos entraram em contato com o monitor diversas vezes. Todas elas envolvendo a possibilidade de refazer o curso de conversor de frequência no laboratório.

3.7 A 4ª Entrega

A quarta e última entrega foi prorrogada devido às dificuldades dos discentes de conciliar a entrega final do trabalho e as provas finais. Nela deveriam estar compiladas todas as entregas, contendo a apresentação do projeto completo.

Devido ao peso proporcional da nota em relação ao trabalho e a finalização do projeto coube ao docente responsável pela disciplina, Professor Dennis Brandão finalizar a correção junto com a prova final.

Levando em conta a apresentação do trabalho como um todo, os trabalhos ficaram muito bons. Alguns com características extremamente profissionais como o Crane Posicionador e a Máquina que fura rodas.

Neste final de monitoria foi possível perceber a dificuldade que os discentes tiveram para compreender o funcionamento de um conversor de frequência e suas aplicações.

Após analisar os e-mails trocados referentes a dúvidas e todos os projetos no modelo final, dos diversos projetos que utilizaram acionamento de motores, todos utilizaram de maneira inadequada. Mesmo com a monitoria, com o minicurso e com as disciplinas realizadas a respeito de acionamentos, os discentes ainda não sabiam operar um conversor.

Para uma melhor análise deste problema encontrado, foi realizada uma pesquisa com discentes que já cursaram a disciplina SEL406 e uma análise para a viabilidade de criar tópicos e roteiros de laboratórios juntos a disciplina Sel406 para solucionar a dificuldade que a maioria dos discentes tem de compreender de maneira prática o que é e como se opera um conversor de frequência.

CAPÍTULO 4- ANÁLISE DA NECESSIDADE DE INCLUSÃO DA PRÁTICA DE ACIONAMENTO DE MÁQUINAS ELÉTRICAS NO LABORATÓRIO

Após um estudo e uma análise do desempenho dos discentes no projeto de automação, foi constatado que a maior dificuldade encontrada está no entendimento do funcionamento básico dos conversores de frequência e seus respectivos comandos.

As disciplinas do curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação que abordaram o tema conversores de frequência e acionamentos durante a graduação no período entre 2008 a 2012 foram:

- SEL0330 - Laboratório de Conversão Eletromecânica de Energia (7º período)
- SEL0401 - Eletrônica de Potência (7º período)
- SEL0435 - Inversores de Frequência e Aplicações (7º período)
- SEL0422 - Máquinas Elétricas (7º período)
- SEL0342 - Acionamento de Máquinas Elétricas (9º período)
- SEL0423 - Laboratório de Máquinas Elétricas (8º período)

Todas as disciplinas citadas acima foram cursadas pelos discentes após ou no mesmo semestre que a disciplina SEL406 – Automação.

As disciplinas SEL0435 e SEL0342 aplicam e desenvolvem muitos conceitos avançados a respeito de acionamento de motores e conversores de frequência, todavia não há introdução prática aos conversores de frequência e sua ligação ao universo de automação industrial nem antes nem após os alunos cursarem estas disciplinas. Isto resulta em uma maior dificuldade na absorção de conhecimentos das disciplinas e também no déficit de estudo prático de um tema amplamente utilizado na indústria e que poderia ser mais explorado na graduação.

Avaliando os dados da monitoria e levando em consideração que pelo menos 70% dos discentes que cursaram a disciplina SEL406 – automação, estavam no período ideal. Verifica-se a possibilidade de introduzir conhecimentos básicos e práticos de conversores de frequência no 7º período para uma melhoria e incremento no curso.

Para confirmar as expectativas deste déficit, em relação aos conhecimentos dos discentes sobre conversores de frequência, e também para a aquisição de informações complementares foi realizada uma pesquisa entregue aos alunos através

de um formulário online. No formulário os discentes que haviam cursado a disciplina SEL 406 - Automação nos anos de 2012, 2011, 2010 2009 e anos anteriores responderam as questões que serão descritas posteriormente.

4.1 Questões do Formulário

O formulário foi enviado através dos e-mails de salas das turmas de Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação e ênfase em Eletrônica dos seguintes anos de ingresso: 2009, 2008, 2007, 2006 e 2005.

As turmas que ingressaram no curso de Engenharia Elétrica nos anos de 2010, 2011 e 2012 não foram incluídas, pois ainda não cursaram a disciplina SEL406-Automação.

O formulário foi enviado pelo sistema *GOOGLE Spreadsheets*, que gera um relatório em formato de tabela com as respostas, facilitando as análises posteriores.

Questão 1) Em qual ano o discente cursou a disciplina?

- 2009 ou anos anteriores
- 2010
- 2011
- 2012

Os discentes deveriam avaliar as questões 2, 3 e 4 com valores inteiros de 1 a 5 sendo respectivamente:

1. Representando sem Importância e 5. muito importante, de maneira gradual.

Questão 2) O quão importante foi a disciplina de automação SEL406 para sua formação?

Questão 3) O quão importante foi a realização do projeto da disciplina de automação SEL406 para sua formação?

Questão 4) O quão importante foram os experimentos realizados no laboratório para sua formação

Questão 5) Qual o conhecimento que o aluno tinha a respeito de conversores de frequência antes de cursar a disciplina SEL406- Automação:

1. Nenhum
2. Já tinha ouvido falar, porém não sabia do que se tratava.
3. Sabia do que se tratava

4. Já tinha visto e sabia o funcionamento e topologia
5. Sabia a topologia e também operar, ligar e comunicar.

Questão 6. Qual o conhecimento de conversores de frequência que você agregou após cursar a disciplina SEL406-Automação:

Os discentes deveriam avaliar o seu aprendizado com valores inteiros de 1 a 5 sendo respectivamente

- 1 Representando que o discente não aprendeu nada e 5 representando que o discente aprendeu muito

Questão 7) O discente fazia parte de qual das ênfases?

1. Eletrônica
2. Sistemas de Energia e Automação

Questão 8) Em qual das áreas os discentes atualmente Trabalham, ou estudam, ou estagiam profissionalmente. Mais de uma opção poderia ser selecionada.

- ☐ Automação
- ☐ Acionamentos
- ☐ Eletrônica
- ☐ Telecomunicações
- ☐ Energia
- ☐ Não trabalho com Engenharia Elétrica
- ☐ Outros:

4.2 Objetivos do formulário

Este formulário como principal finalidade obter valores quantitativos dos discentes que cursaram a disciplina que este trabalho de conclusão de curso está se basenado e responder as seguintes questões:

1. Quão impactante foi, na visão dos discentes, a mudança de três para quatro créditos da disciplina SEL406 – Automação levando em consideração a importância que os alunos de 2012 classificam a disciplina em relação aos alunos que a cursaram em anos anteriores
2. Qual a percepção dos discentes sobre os conhecimentos de conversores de frequência com a disciplina de automação no ano de 2012 em relação aos alunos de anos anteriores. Isto devido ao aumento de créditos na disciplina e também com a proposta de utilização dos conversores nos projetos desenvolvidos
3. Baseado nas experiências de sala de aula, de laboratório e de projeto quais das três eles consideram mais importante para suas respectivas formações
4. Qual a relação da pergunta anterior com o ano em que os discentes cursaram a disciplina
5. Houve alguma mudança em relação à importância da disciplina, do projeto e dos laboratórios baseado na avaliação dos alunos e levando em consideração a mudança do projeto e o aumento de créditos?
6. A matéria de automação é significativa para os alunos que cursam a ênfase de eletrônica visto que a disciplina não é obrigatória.
7. Dos alunos, qual proporção que trabalha/estuda no ramo da automação industrial.
8. Existe alguma possibilidade de melhora na disciplina, no projeto ou no laboratório.

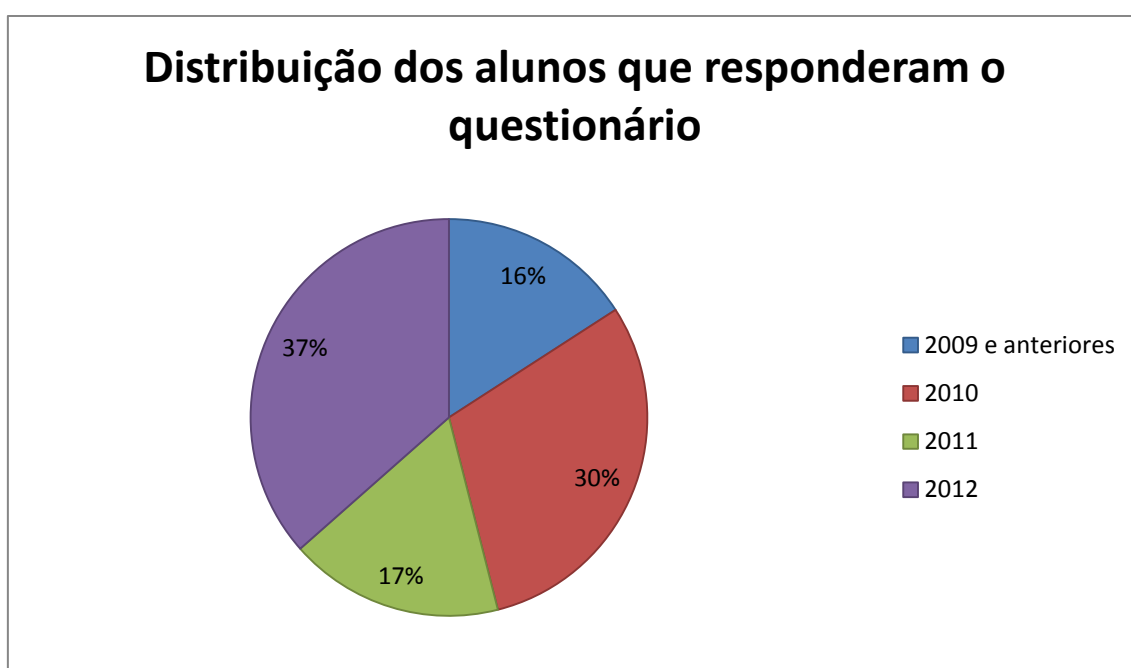
4.3 Resultados obtidos

A pesquisa foi liberada para os discentes responderem através de seus grupos de e-mail de salas no dia 04 de outubro de 2012 e após cinco dias 63 alunos responderam. As respostas obtidas estão nos Anexos: Anexo 2 – Respostas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 do formulário e Anexo 3- Respostas 7 e 8 do formulário

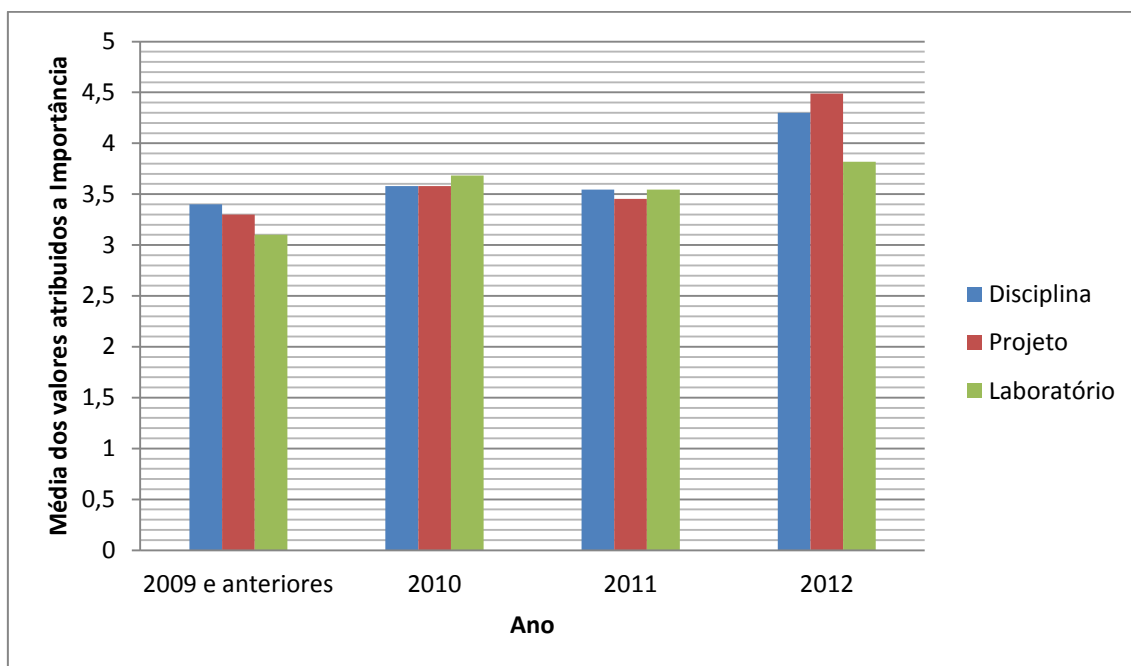
Para uma melhor visualização e análise dos dados, algumas representações gráficas foram desenvolvidas.

O Gráfico 11 representa a distribuição dos discentes que responderam o questionário pelo ano que cursaram a disciplina.

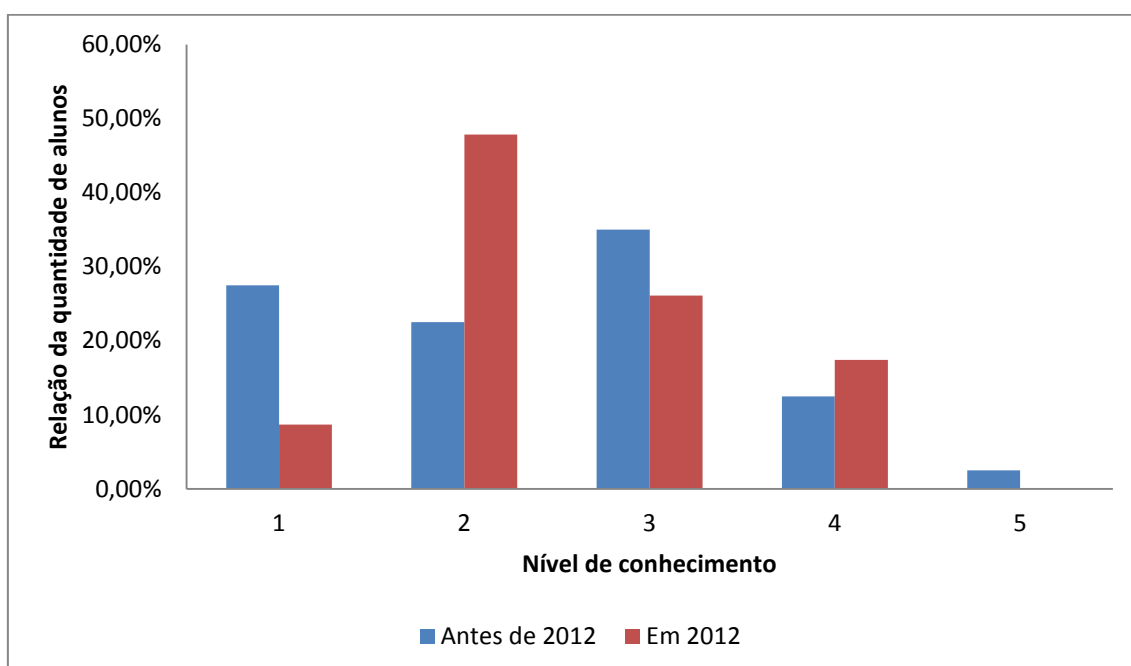
Gráfico 11 – Distribuição dos alunos que responderam o questionário



Para uma análise da importância que os discentes consideram em relação à disciplina, ao laboratório e ao projeto de automação realizado o Gráfico 12 foi gerado levando-se em consideração o ano cursado contido no Gráfico 11.

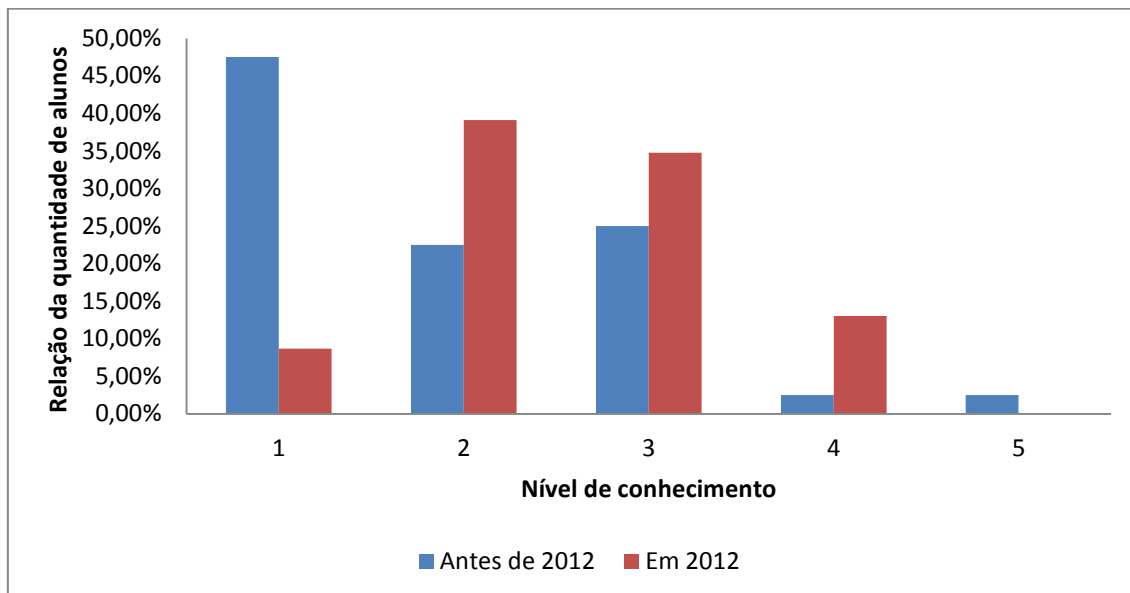
Gráfico 12 – Importância das disciplinas

O Gráfico 13 representa a quantidade de alunos em percentual em relação ao total do grupo e suas respectivas respostas quanto ao seu conhecimento de conversores de frequência antes de cursar a disciplina SEL-406 Automação.

Gráfico 13 – Nível de conhecimento de conversores de frequência antes

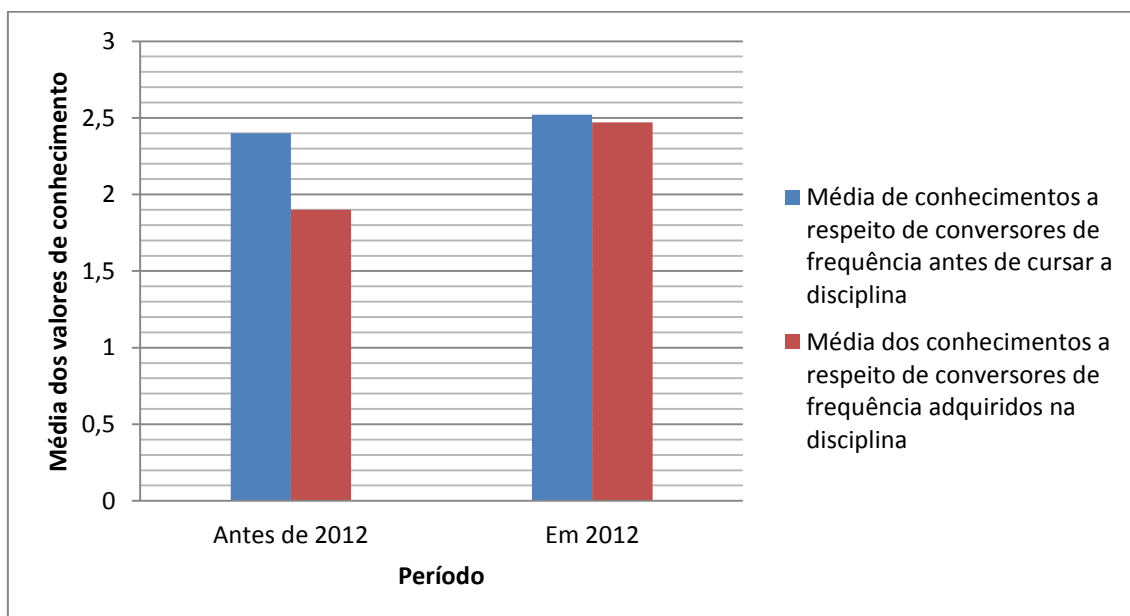
O Gráfico 14 representa a quantidade de alunos em percentual em relação ao total do grupo e suas respectivas respostas quanto ao seu conhecimento de conversores de frequência após cursar a disciplina.

Gráfico 14 – Nível de conhecimento de conversores de frequência após



O Gráfico 15 mostra a relação da média das respostas do nível de conhecimento dos discentes no ano de 2012 e nos anos anteriores

Gráfico 15 – Média de conhecimentos antes e após



Todos os gráficos foram gerados com base nas respostas dos discentes contidos nos anexos no final do trabalho.

4.4 Análise e Conclusões

Após analisar as respostas dos discentes, e levando em consideração que aproximadamente 30% dos alunos que cursaram a disciplina nos últimos quatro anos responderam o questionário e que a pesquisa teve resultados bem diversificados como mostra o Gráfico 11, podemos levantar as seguintes hipóteses:

Do Gráfico 12 podemos constatar dois fatores interessantes.

Primeiro, que os alunos que cursaram a disciplina em 2012 dão um maior valor médio de importância nas três categorias, Disciplina, Projeto e Laboratório, em relação aos alunos que cursaram anteriormente. Ou seja, esta mudança de três para quatro créditos na disciplina impactou os alunos, pois eles a classificam mais importante do que os alunos dos anos anteriores.

Segundo, constata-se que a importância que os alunos dão ao Laboratório não cresceu na mesma proporção que os outros itens em relação aos anos anteriores. Levantamos aqui a questão do que pode ser melhorado no laboratório para que os discentes deem a mesma importância para o laboratório que dão à disciplina e ao projeto.

Do Gráfico 13 observa-se que mais alunos em média chegaram a disciplina de automação sem saber do que inversores de frequência se tratavam em relação aos alunos que cursaram a disciplina antes de 2012, ou seja, todos que responderam 1 ou 2 para a questão 5. Ambas as situações correspondem a mais 50% da sala. O que levanta a seguinte questão e preocupação:

-Por que mais de 50% dos alunos que cursaram SEL-406 Automação no penúltimo ano de Engenharia Elétrica não sabem do que se tratam Conversores de Frequência, sendo que este é um tema muito abordado na indústria e em âmbitos acadêmicos?

Analisando o Gráfico 14, podemos observar que em antes de 2012, 50% dos alunos que cursaram a disciplina não desenvolveram nenhum conhecimento a respeito de conversores de frequência, e no ano de 2012 menos de 10% dos alunos tiveram esta mesma resposta. Isto mostra que inclusão do tópico de conversores de frequência na disciplina é impactante para o conhecimento do tópico de conversores de frequência para os discentes.

Analisando o Gráfico 15 junto ao Gráfico 14, é notório que no ano de 2012 os alunos alegam ter aprendido mais a respeito de conversores de frequência, em relação aos outros alunos.

Ponderando a importância classificada pelos alunos e considerando a ênfase do curso do mesmo, nota-se que a média dos valores de importância está muito próxima, verifica-se este valor no Anexo 3- Respostas 7 e 8 do formulário. Com isto podemos concluir que a importância que os alunos dão a disciplina, ao laboratório e ao projeto não está vinculada a sua ênfase.

Entretanto, há um fato muito curioso quando ponderado o Anexo 3- Respostas 7 e 8 do formulário. Todos os discentes que cursaram a disciplina automação, da ênfase em Eletrônica, e já estão de alguma forma no mercado de trabalho – que cursaram em anos anteriores a 2012 -, 45% deles trabalham ou estudam profissionalmente na área de Automação Industrial ou acionamento de máquinas elétricas. Se comparado aos alunos da ênfase de Sistemas de Energia e Automação este percentual é inferior, alcançando apenas 25%.

Podemos findar que pode haver muita influência da disciplina de automação na determinação de carreira dos estudantes de Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica.

Com as seguintes hipóteses, listadas a seguir, obtidas na avaliação das respostas do questionário, será proposto um possível incremento para o curso e para a disciplina.

- A maioria dos alunos não tinha conhecimento de conversores de frequência antes de cursar a disciplina automação.
- Os alunos passaram a adquirir mais conhecimento a respeito de conversores de frequência aplicados na indústria no ano de 2012 depois da mudança do projeto e o aumento de três para quatro créditos de SEL406 Automação.
- Levando em consideração que o laboratório, nivelado com menor importância em relação aos outros itens pelos discentes de 2012, possa obter um incremento prático visando os conversores de frequência, sua respectiva aplicação na indústria e sua interação com os outros tópicos abordados na disciplina.

Nos próximos capítulos serão propostos: um Kit didático para o Laboratório com seu projeto completo e um roteiro a ser seguido com uma prática para os discentes seguirem utilizando como base o próprio trabalho de conclusão de curso como referência teórica, objetivando um incremento na formação dos próximos alunos da Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos.

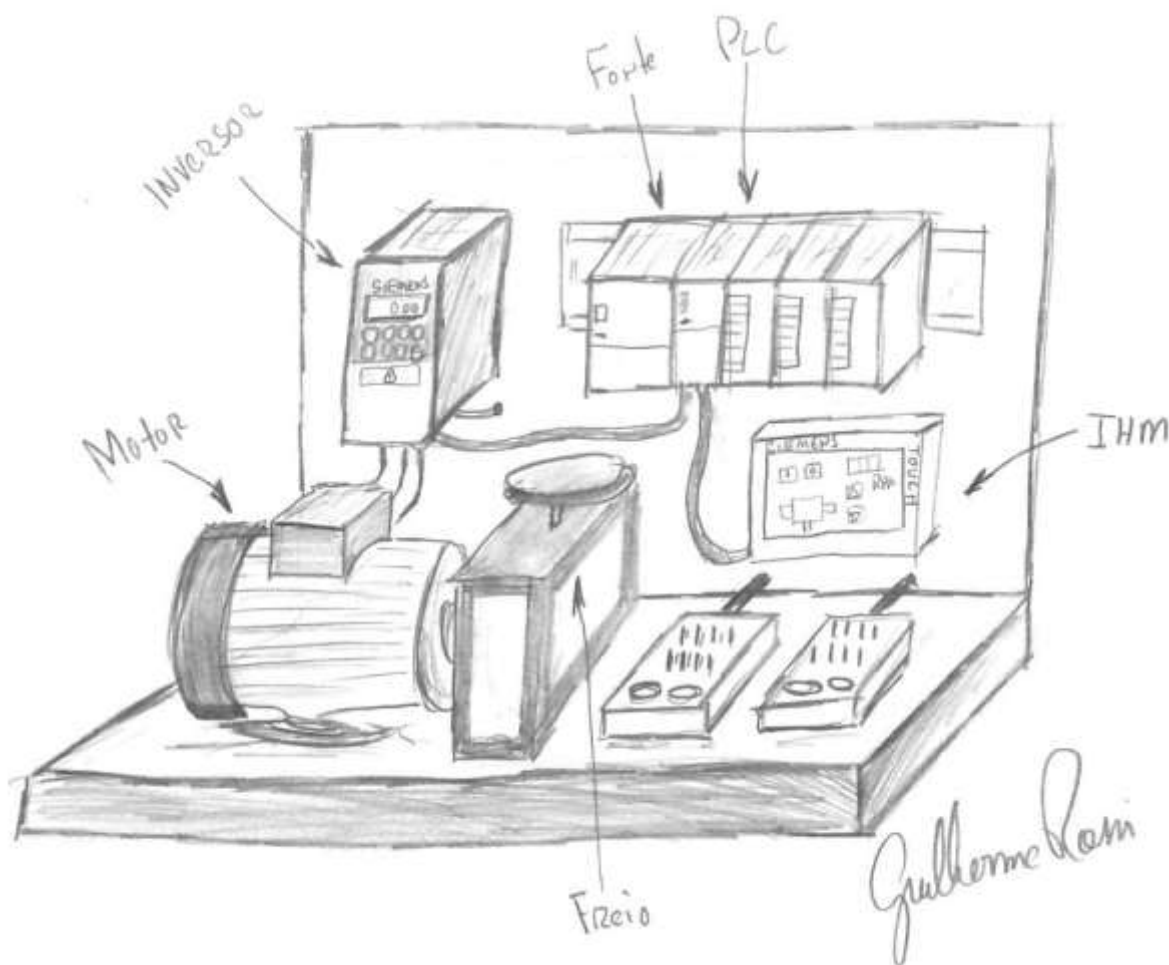
CAPÍTULO 5 – PROJETO DO KIT DIDÁTICO

5.1 O Kit

O projeto do Kit didático será desenvolvido com o objetivo de explicar o funcionamento básico de um conversor de frequência e como ele se integra com um PLC para finalidades industriais.

A figura 32 representa o design piloto do KIT a ser projetado.

Figura 32 - Design do Kit Didático

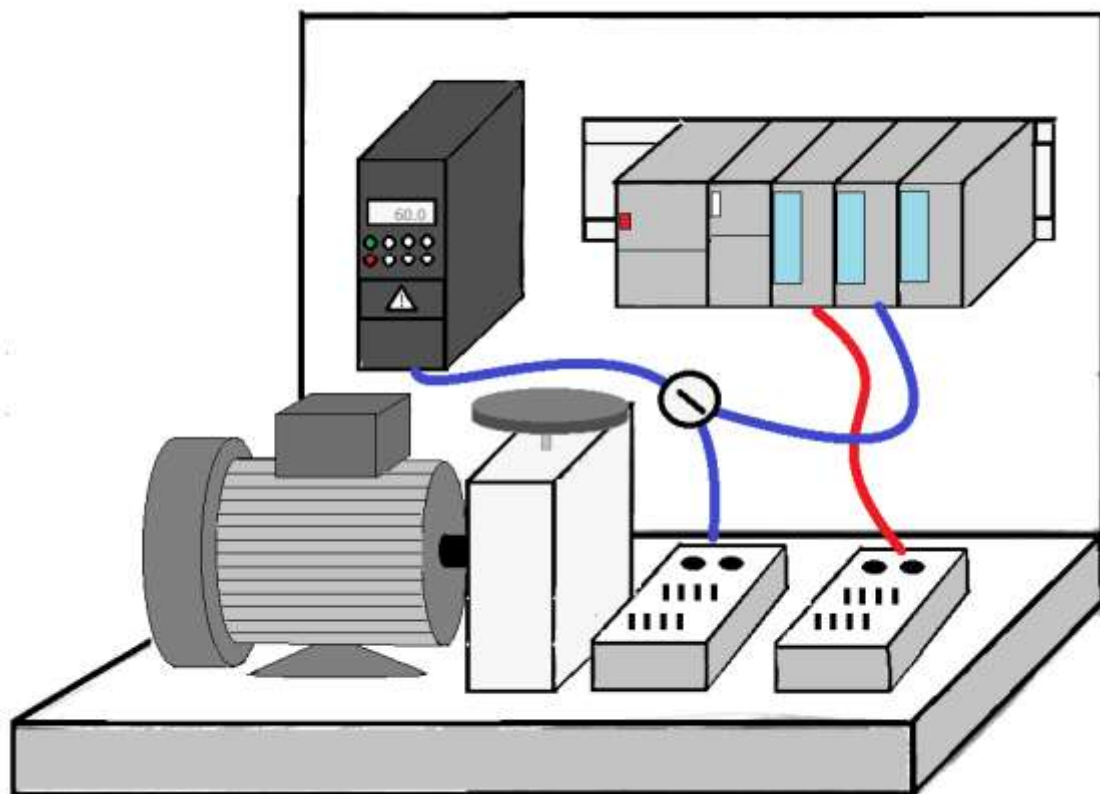


Fonte: Autoria Própria

Após uma divisão estruturada de todas as atividades que poderiam ser desenvolvidas e simuladas nesta primeira idéia de KIT, foi concluído que não haveria tempo suficiente para que os discentes pudessem aprender todas as funções que este kit piloto propõe com somente uma ou duas práticas no laboratório.

Para que os discentes possam ter uma visão básica e clara do funcionamento de um conversor de frequência e sua integração com um PLC o kit foi desenvolvido com um design mais enxuto como mostra a figura a seguir, sendo retirada a IHM e a comunicação PROFIBUS.

Figura 33 - Design 2



Fonte: Autoria Própria

Na determinação das entradas digitais do conversor há uma chave no cabo azul que será para determinação se as entradas digitais que vão ao conversor virão do PLC ou virão das entradas digitais físicas. Ela só será utilizada se, na prática, houver a presença do PLC.

Serão utilizados os seguintes equipamentos no KIT Didático:

- Motor elétrico SIEMENS 1LP7 – 060 – 2AA9*
- Conversor de frequência MICROMASTER 440
- BOP – *Basic Operator Panel*
- PLC SIEMENS CPU 314C-2SP

O Motor que fará parte do projeto é o 1LP7 – 060 – 2AA9*, um motor da SIEMENS de dois polos, 3600 RPM – em 60Hz – com refrigeração realizada pela sua própria rotação e de alumínio, para que o Kit seja mais leve.

O primeiro item da tabela 1 indica o motor que será utilizado no projeto, esta tabela é utilizada para escolha de motores em seus respectivos projetos baseando-se no tamanho e potência. O Motor 1LP7 – 060 – 2AA9* escolhido apresenta as seguintes curvas características, contidas no gráficos 16, 17 e 18 quando operado com 220V.

Tabela 1- Tabela de motores

IEC Squirrel-Cage Motors					
Standard motors up to frame size 315 L					
Self-cooled motors without external fan					
Aluminum series 1LP7/1LP5					
Selection and ordering data					
Rated output with		Frame size	Order No.	Price	Weight
			For Order No. supplements for voltage and type of construction, see table below		For IM B3 type of construction approx.
50 Hz	60 Hz	FS			
P_{rated}	P_{rated}				
kW	kW				/m
					kg
2-pole, 3000 rpm at 50 Hz, 3600 rpm at 60 Hz, temperature class 155 (F), used acc. to temperature class 130 (B), IP55 degree of protection, with reduced output					
0.12	0.14	63 M	1LP7 060-2AA00		3.4
0.16	0.18	63 M	1LP7 063-2AA00		3.9
0.19	0.22	71 M	1LP7 070-2AA00		4.9
0.27	0.3	71 M	1LP7 073-2AA00		6.4
0.35	0.40	80 M	1LP7 080-2AA00		8.0
0.55	0.6	80 M	1LP7 083-2AA00		9.6
0.82	0.95	90 S	1LP7 090-2AA00		12.5
1.1	1.25	90 L	1LP7 096-2AA00		15.2
1.3	1.5	100 L	▶ 1LP7 106-2AA00		22.3
1.8	2.1	112 M	▶ 1LP7 113-2AA00		29.0
2.5	2.9	132 S	▶ 1LP7 130-2AA00		42.0
3.4	3.9	132 S	▶ 1LP7 131-2AA00		51.0
5	5.7	160 M	▶ 1LP7 163-2AA00		70.0
6	6.9	160 M	▶ 1LP7 164-2AA00		82.0
7	8	160 L	▶ 1LP7 166-2AA00		99.0
10	11.5	180 M	1LP5 183-2AA00		112.0
13.5	15.5	200 L	1LP5 206-2AA00		160.0
16.5	19	200 L	1LP5 207-2AA00		182.0

(SIEMENS, 2012)

As curvas a seguir foram obtidas na planilha da SIEMENS disponível em seu *website*⁹

⁹ <http://www.siemens.com.br/templates/v2/templates/TemplateB.aspx?channel=9304>

Gráfico 16 - Curva característica do conjugado e corrente do motor 1LP7 – 060 – 2AA9*

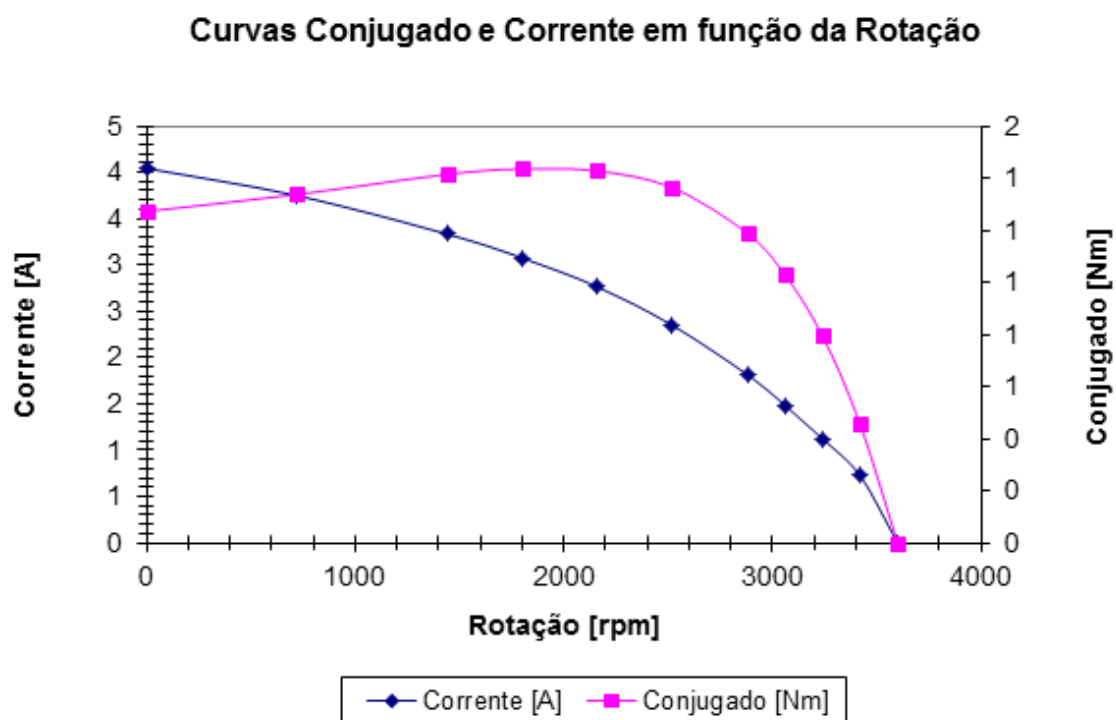


Gráfico 17 - Curva característica de rendimento e fator de potência e função da carga

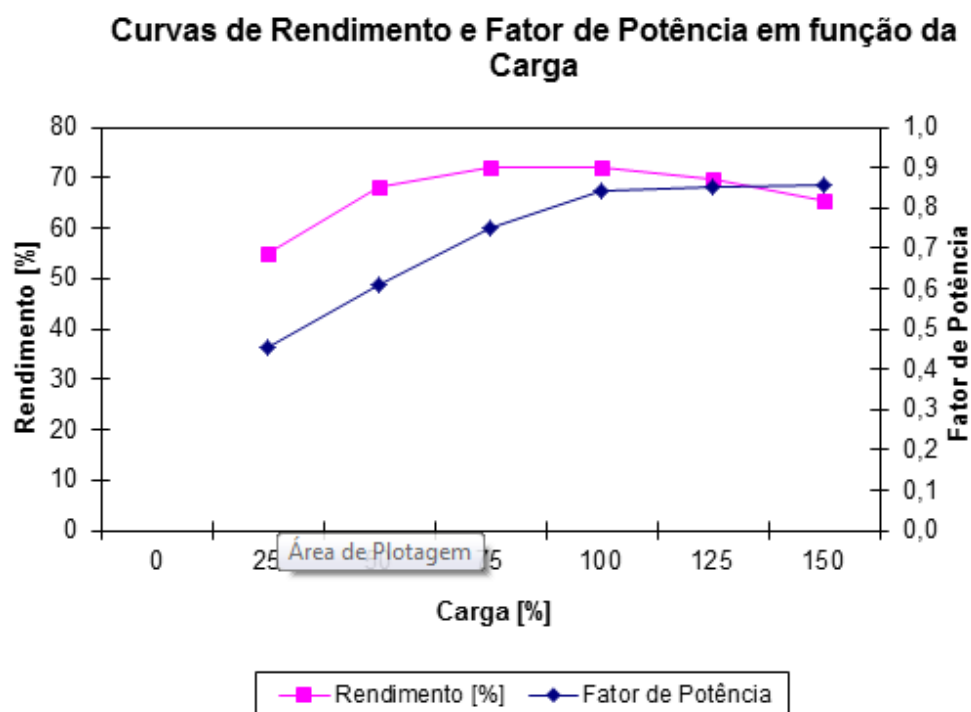
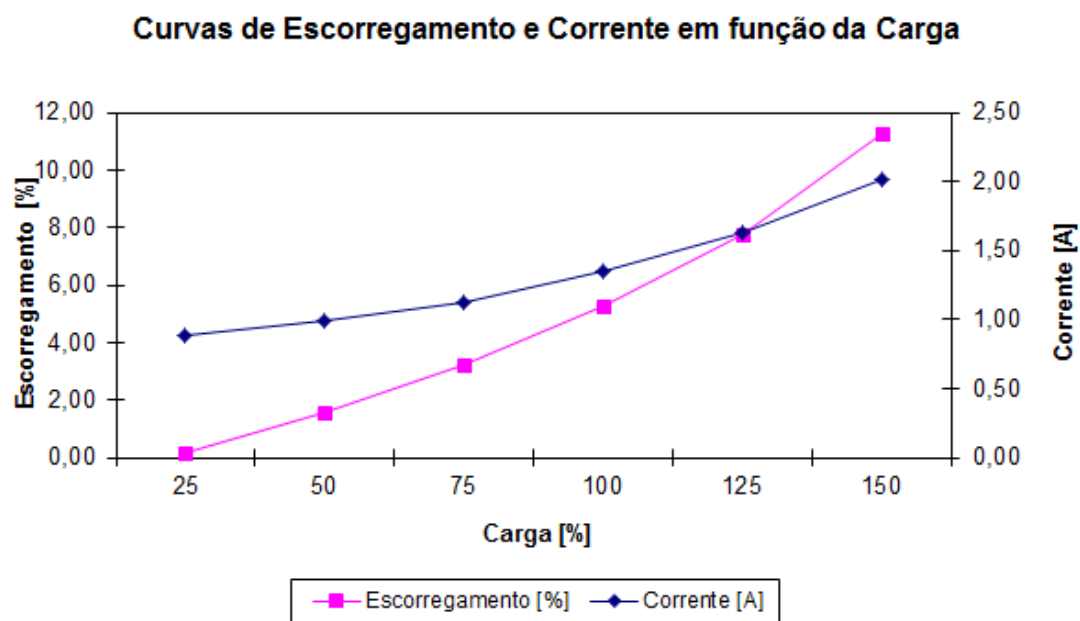


Gráfico 18 - Curva característica de escorregamento e corrente em função da carga



(SIEMENS, 2012)

O conversor de frequência utilizado será o MICROMASTER 440, escolhido devido aos seus diversos tipos de controle. A tabela 2 do Catalogo MICROMASTER (SIEMENS, 2011) mostra as características do Conversor:



Micromaster 440

200 a 240 V 1ca: 0,16 a 4/5 CV

200 a 240 V 3ca: 0,16 a 75 CV

380 a 480 V 3ca: 0,50 a 300/385 CV

500 a 600 V 3ca: 1 a 100 CV

-10°C a +50°C (torque constante até tamanho F)

-10°C a +40°C (torque quadrático até tamanho F)

0°C a +40°C (tamanho FX e GX)

150% (SP) ou 110% (SL) por 60s a cada 300s (até tamanho F)

136% (SP) ou 110% (SL) por 57s a cada 300s (tamanhos FX e GX)

- Escalar U/F (torque linear/quadrático)
- U/F multiponto programável
- Vetorial de Fluxo de corrente (FCC)
- Controle vetorial "sensorless" (malha aberta)
- Controle vetorial com encoder (malha fechada)
- Controle de Torque

- 6 entradas digitais programáveis PNP/NPN isoladas galvanicamente

- 2 entradas analógicas (ou 7ª e 8ª digitais)

Tabela 2 - Características MICROMASTER (SIEMENS, 2012)

Como a Potência do Motor é 0,14KW o modelo do conversor escolhido será o 6SE6440-2UC12-2AA1, para que o motor possa operar com uma corrente de até 1,9 Ampere em Sobrecarga leve, como mostra a tabela a seguir.

MICROMASTER® 440Alimentação mono/trifásica 200 a 240 Vca $\pm 10\%$

Descrição do produto				Modelo	Dimensões AxLxP	Modelo Com filtro interno Classe A	Dimen- sões AxLxP	Tamanh
Sobrecarga pesada		Sobrecarga leve						
Potência (CV)	Corrente (A)	Potência (CV)	Corrente (A)					
0,16	0,9	0,16 - 0,25	1,0	6SE6440-2UC11-2AA1	147x73x149	6SE6440-2AB11-2AA1	147x73x149	A
0,25 - 0,5	1,7	0,33 - 0,5	1,9	6SE6440-2UC12-5AA1	147x73x149	6SE6440-2AB12-5AA1	147x73x149	A
0,5	2,3	0,5	2,4	6SE6440-2UC13-7AA1	147x73x149	6SE6440-2AB13-7AA1	147x73x149	A
0,75	3	0,75	3,3	6SE6440-2UC15-5AA1	147x73x149	6SE6440-2AB15-5AA1	147x73x149	A
1	3,9	1	4,3	6SE6420-2UC17-5AA1	147x73x149	6SE6440-2AB17-5AA1	147x73x149	A
1,5	5,5	1,5	6,0	6SE6440-2UC21-1BA1	202x149x172	6SE6440-2AB21-1BA1	202x149x172	B
2	7,4	2	8,1	6SE6440-2UC21-5BA1	202x149x172	6SE6440-2AB21-5BA1	202x149x172	B
3	10,4	3	11,4	6SE6440-2UC22-2BA1	202x149x172	6SE6440-2AB22-2BA1	202x149x172	B
4	13,6	4 - 5	14,9	6SE6440-2UC23-0CA1	245x185x195	6SE6440-2AB23-0CA1	245x185x195	C
* 5 - 6	17,5	6 - 7,5	22	6SE6440-2UC24-0CA1	245x185x195	6SE6440-2AC24-0CA1	245x185x195	C
* 7,5	22	10	28	6SE6440-2UC25-5CA1	245x185x195	6SE6440-2AC25-5CA1	245x185x195	C
* 10	28	12,5 - 15	42	6SE6440-2UC27-5DA1	520x275x245	—	—	D
* 12,5 - 15	42	20	54	6SE6440-2UC31-1DA1	520x275x245	—	—	D
* 20	54	25	68	6SE6440-2UC31-5DA1	520x275x245	—	—	D
* 25	68	30	80	6SE6440-2UC31-8EA1	650x275x245	—	—	E
* 30	80	40	104	6SE6440-2UC32-2EA1	650x275x245	—	—	E
* 40	104	50	130	6SE6440-2UC33-0FA1	850x350x320	—	—	F
* 50	130	60	154	6SE6440-2UC33-7FA1	850x350x320	—	—	F
* 60	154	75	178	6SE6440-2UC34-5FA1	850x350x320	—	—	F

* Somente alimentação trifásica.

Tabela 3 - Tabela MICROMASTER 440 (SIEMENS, 2012)

O primeiro conversor da lista também poderia ser utilizado, porém por uma questão de folga e segurança, não há problema em sobre dimensionar o conversor. Caso o motor necessite operar com maior sobrecarga, ou caso o motor do KIT necessite ser trocado por um de potência maior, o conversor não necessitaria ser trocado.

Para que o conversor funcione sem a utilização de um PLC ou de um computador com cabe serial, é necessária a utilização de um BOP, que é o *Basic Operator Panel*.

O BOP é utilizado para parametrizar o Conversor de frequência diretamente nele, assim os alunos que estariam utilizando o KIT poderiam aprender e simular somente o conversor de frequência sem depender de componentes paralelos.

O BOP é o equipamento representado na figura 35

Figura 34- BOP

(SIEMENS, 2012)

O BOP também possibilita a operação de controle diretamente nele, como por exemplo: Ligar e desligar o motor, inverter o sentido de rotação, variar a velocidade do motor, trocar parâmetros de controle

O PLC utilizado no projeto será uma CPU da linha S7-300 modelo - CPU 314C-2DP

Esta CPU foi escolhida, pois já consta com diversos módulos de fábrica como:

- Módulo de comunicação PROFIBUS – Para futuras modificações no KIT
- 24 Entradas digitais
- 16 Saídas digitais
- 4 Entradas Analógicas
- 4 Saídas Analógicas

A Figura 35 - S7-300 314C-2DP demonstra o PLC já com os módulos:

Figura 35 - S7-300 314C-2DP

(SIEMENS, 2012)

Para o KIT não é necessário que seja escolhido especificamente este PLC, pois para a aplicação que será desenvolvida e os experimentos, qualquer PLC da família S7-300, S7-400 ou S7-1200 poderia substituí-lo. Somente seria necessário adequar os módulos de I/O para as entradas e saídas que forem determinadas.

Já em relação ao motor e ao conversor escolhidos, uma substituição por algo equivalente para o projeto teria maiores dificuldades, pois no caso do conversor de frequência os parâmetros que serão definidos para a prática mudam de modelo para modelo. No caso do motor a potência do mesmo deverá ser inferior ao conversor.

O projeto elétrico do KIT, contendo todas as ligações necessárias, encontra-se no Anexo 4 - Projeto do KIT no final do trabalho.

5.2 Funcionamento básico

O Kit terá dois modos de funcionamento, um com as entradas digitais do MICROMASTER conectados à régua de bornes para a primeira prática de laboratório, e para a segunda prática, as entradas digitais do conversor conectados nas saídas do PLC e a régua de bornes conectada às entradas do PLC. Para que isto seja possível serão utilizadas duas réguas de bornes, uma delas estará sempre conectada ao PLC e a outra terá que ser trocada nas entradas do conversor com as saídas do PLC entre as práticas. Para esta troca duas possibilidades são propostas, a troca física dos cabos nos conectores do conversor de frequência, o que permitiria aos alunos aprender a manusear as entradas e saídas do conversor, porém levando mais tempo; ou a simples troca utilizando um conector DB9, o que facilitaria e deixaria a prática mais rápida e dinâmica.

O conversor terá três métodos de controle e seleção de velocidades. Primeiramente pelo seu BOP, onde os discentes aprenderão a comissionar e compreender o funcionamento dos blocos de parametrização do conversor. No próprio BOP é possível dar partida e selecionar a velocidade do conversor. Após aprender a controlá-lo com o BOP serão feitos os comandos através das entradas digitais do conversor, utilizando como entrada a régua de bornes. Para finalização do laboratório e das práticas caso haja tempo suficiente será utilizado um PLC para integrar os comandos e a programação desenvolvida na disciplina para controlar o conversor.

CAPÍTULO 6 – ENSAIO DE LABORATÓRIO PROPOSTO

6.1 Prática I

Durante monitoria e a avaliação dos projetos dos alunos, considerando a necessidade da indústria de profissionais com mais conhecimento prático de automação industrial é de muita valia para o desenvolvimento e aprendizado dos alunos e também para um incremento no curso de Engenharia Elétrica que o tópico Conversores de frequência seja mais abordado de forma técnica e prática.

Esta primeira prática sugerida tem como principal objetivo um primeiro *approach* técnico com conversores de frequência. Esta prática possivelmente fará com que os alunos se sintam mais familiarizados com conversores de frequência antes de entrar em aspectos mais profundos desenvolvidos nas matérias que venham a seguir no curso, e também um desenvolvimento prático possibilitando os alunos a desenvolver projetos melhores na disciplina SEL406-Automação.

Para a realização desta prática não é necessário que o discente tenha conhecimento prático de conversores de frequência, somente conhecimentos básicos da topologia do mesmo e de máquinas elétricas.

6.1.1 Equipamentos utilizados

Para esta prática serão utilizados:

- 1 Motor Elétrico 1LP7 – 060 – 2AA9
- 1 Conversor de Frequência MICROMASTER 440
- 1 Basic operator panel
- 1 Régua com 6 Chaves digitais e 1 potenciômetro analógico.

Todas as vezes que o conversor de frequência for desligado durante a prática para manuseio é necessário a espera de cinco minutos antes de manusear seus contatos elétricos, pois os capacitores do Link DC armazenam energia e podem descarregar mesmo com o conversor sem estar conectado na tomada.

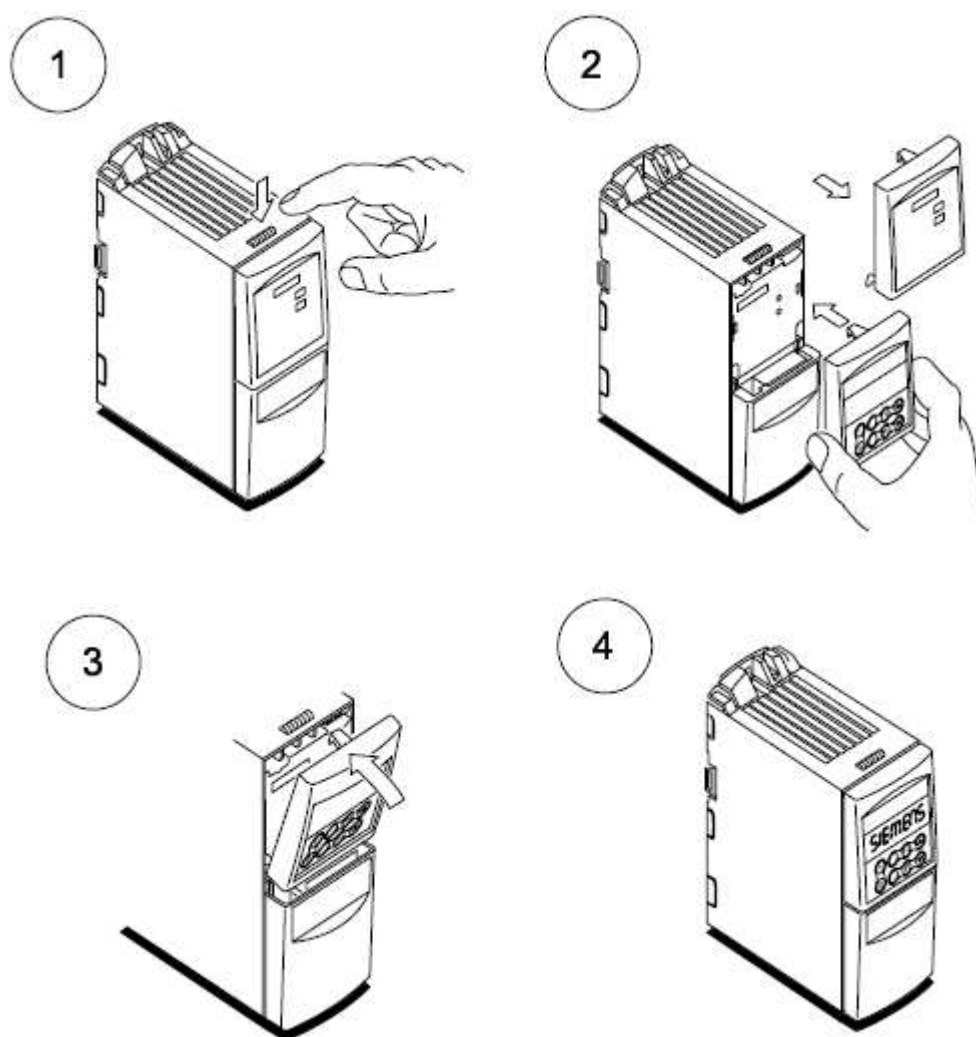
6.1.2 Propostas da Prática I Parte I

- Realizar o comissionamento rápido do conversor
- Operar o motor com o *Basic Operator Panel*
- Realizar mudanças de parâmetros para que o motor tenha rampas de subida e de descida com valores mais altos e mais baixos que os de fábrica

6.1.3 Montagem da Prática I Parte I

Como o motor já deve estar conectado ao conversor, para execução desta prática somente é necessário ligar o BOP na parte frontal do conversor de frequência MICROMASTER 440. Isto é realizado somente encaixando o BOP com o conversor desligado. A Figura 36 - Montagem do BOP mostra um passo-a-passo de como encaixar e trocar o *Basic Operator Panel* (SIEMENS, 2012).

Figura 36 - Montagem do BOP



(SIEMENS, 2011)

6.1.4 Parte I- Comissionando o Conversor

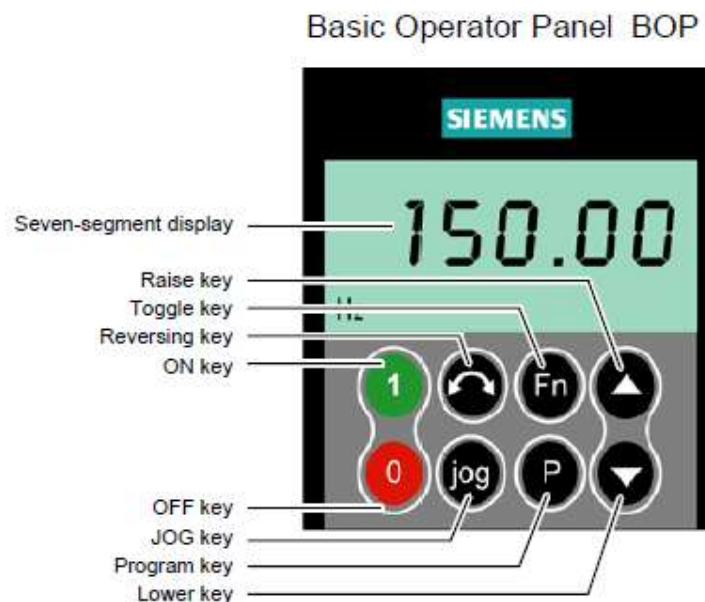
Para começar a utilizar o conversor de frequência, parâmetros devem ser inseridos nele através do BOP ou do software STARTER.

Focando em um primeiro controle do motor utilizando o conversor, ele deve ser parametrizado com as seguintes informações:

- Controle V/F (Escalar)
- Sinais digitais vindos do BOP
- Sinais analógicos vindos do BOP
- Velocidade máxima 60Hz
- Velocidade mínima 0Hz
- -Rampas de aceleração e desaceleração de 10s

As *Raise key* e *Lower Key* realizam a seleção do parâmetro, e quando apertado a letra P o valor desejado deve ser inserido com as setas novamente. Como mostrado na Figura 37 - BOP e suas teclas. Os procedimentos das páginas a seguir mostram um Guia de comissionamento rápido para o conversor de frequência. Se os passos forem seguidos corretamente o motor deverá se mover quando apertado o botão verde no BOP, e quando variada sua frequência pelos botões de aumentar a velocidade e diminuir a velocidade. Quando apertado o botão vermelho o motor deverá parar.

Figura 37 - BOP e suas teclas



(SIEMENS, 2012)

Os parâmetros a seguir mostram de maneira simplificada como o motor deve ser parametrizado, nas páginas a seguir está detalhado o que cada parâmetro significa:

P0003=3 P

0010=1

P0100=2

P0205=0

P0304=Tensão do Motor (ver dado de placa)

P0305=Corrente do motor(Ver dado de placa)

P0307=Potência Nominal do Motor(Ver dado de placa)

P0308=CosPhi do motor(ver dado de placa)

P0310=frequencia nominal do motor(ver dado de placa)

P0311=velocidade nominal do motor(ver dado de placa)

P0335=1

P0700=1 (SELEÇÃO DO BOP como comando)

P1000=1 (SELECAO DO BOP como setpoint de velocidade)

P1080=0

P1082=60

P1120=10

P1121=10

P1135=5

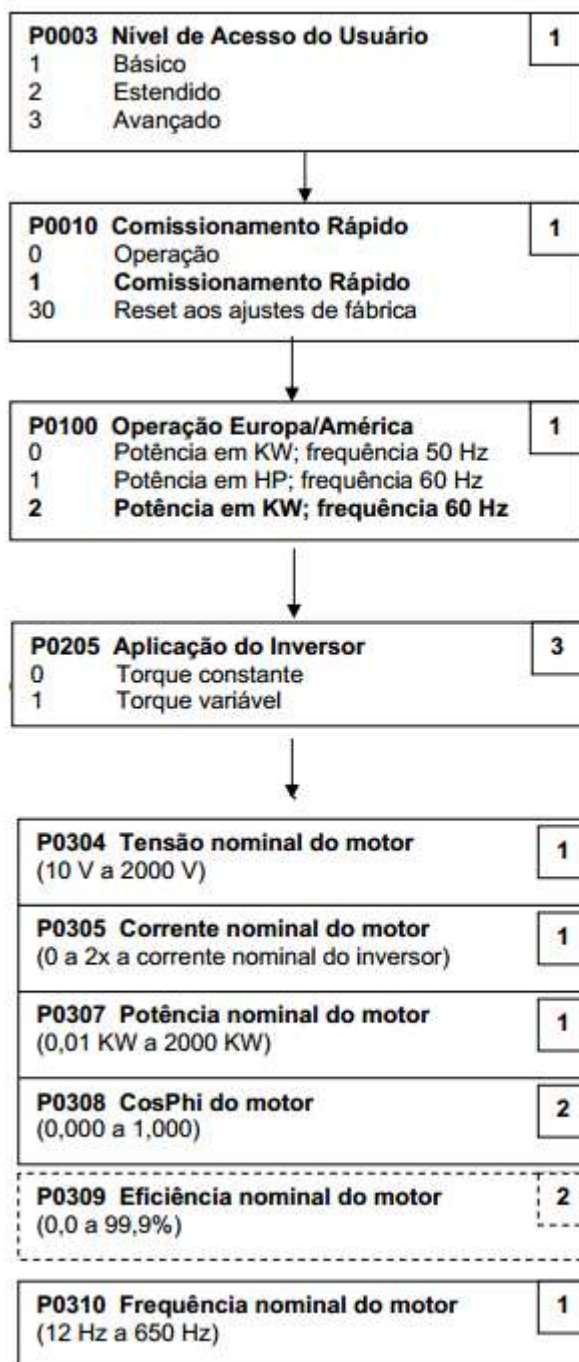
P1300=0

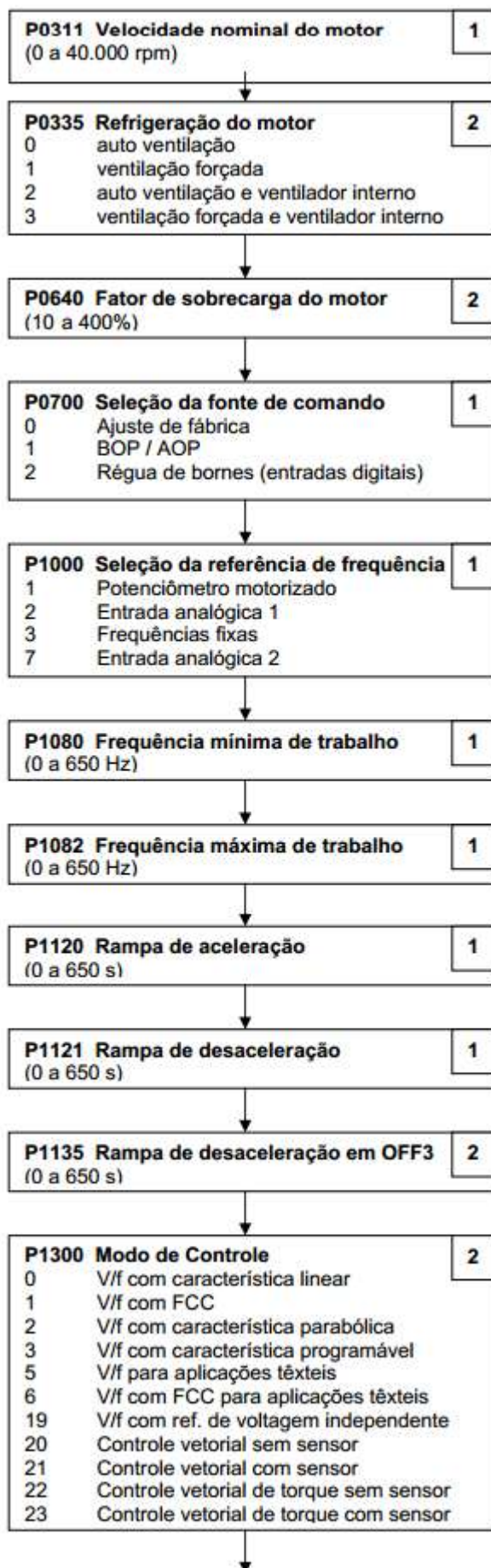
P1910=1

Espere até o alarme sumir

P3900=1

6.1.5 Comissionamento rápido





¹⁰ P1000 = 1 Potenciômetro

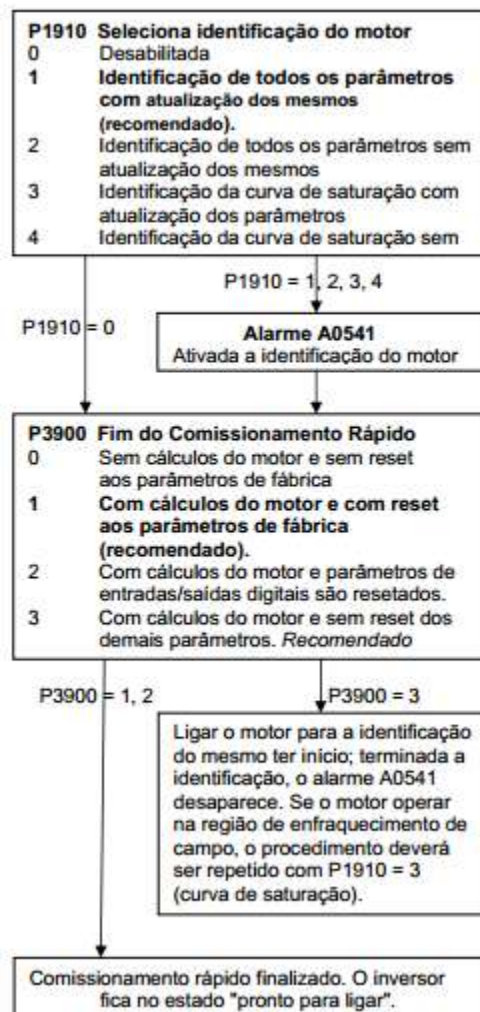


Tabela 4 - TABELA DE COMISSIONAMENTO RÁPIDO (SIEMENS, 2012)

Note que após escolher o Parâmetro P1910 para a identificação do motor, o alarme A0541 será mostrado na tela enquanto o conversor identifica o motor.

6.1.6 Operando com o BOP

Depois de realizado o comissionamento rápido, com o objetivo de primeiros testes é indicado que o motor seja operado com BOP. Mudando diversas frequências de operação, ligando e desligando, e invertendo o sentido de rotação com a tecla Reversing Key demonstrada na Figura 37 - BOP e suas teclas

Caso o motor não tenha se comportado conforme o esperado, é necessário que o comissionamento rápido seja realizado novamente,

6.1.7 Realizando mudanças de parâmetros.

Com a finalidade de mudar os parâmetros, é necessário que seja realizado novamente o comissionamento rápido e troque os parâmetros das rampas de aceleração e desaceleração de 10 s para 2 segundos. Os parâmetro P1120 e P1121 deverão ser modificado para que haja este efeito. Verifique operando novamente o motor se houve alguma mudança significativa em seu comportamento.

6.1.8 Propostas da Prática I Parte II

- Troca de controle de Escalar para controle vetorial sem encoder
- Análise das diferenças dos controles de maneira prática
- Conexão da régua de bornes no conversor
- Parametrização do novo método de controle
- Mudança de outros parâmetros

6.1.9 Parte II – Mudança de Controle

Realize novamente o comissionamento rápido, troque o tipo de controle de escalar V/F com característica linear para SLVC - Controle vetorial sem sensor.

(P1300=20). Todos os parâmetros de valores de placa do motor deverão estar corretos e os cálculos e identificações realizadas no final do comissionamento deverão ser realizadas para que o novo modo de controle funcione corretamente.

Deve-se atentar as diferenças práticas entre ambos os tipos de controle, girando com a mão o eixo do motor com velocidade zero, e verifique os alarmes que o conversor apresenta quando o eixo do motor está bloqueado tanto no controle vetorial, quanto no controle escalar. Contidas

Verifique também como estão as chaves que determinam como será a entrada analógica 1, na figura acima representada por AIN1, se estiver em ON a entrada analógica será de 0-20mA se estiver em OFF será de 0-10V. No projeto elétrico encontrado no Anexo 4 - Projeto do KIT a entrada analógica da régua de Bornes 1 é de 4-20mA e a entrada analógica da régua de bornes 2 é de 0-10V, logo selecione a correta posição da chave.

Depois de conectados corretamente, realize novamente o comissionamento rápido, porém com mudanças nos parâmetros P0700 e P1000 para os parâmetros adequados. Verificar na Tabela 4 - TABELA DE COMISSIONAMENTO RÁPIDO quais são os valores que devem ser inseridos nos respectivos parâmetros.

Depois de realizado o comissionamento verifique que as entradas digitais já têm funções pré-estabelecidas. Através de testes descubra a função que as entradas digitais 1, 2 e 3 têm a partir de testes práticos. Realize testes com as chaves e também com o potenciômetro para escolher o *setpoint* de velocidade.

Estas entradas digitais não necessariamente precisam ter estas funções pré-determinadas. Elas podem ser modificadas por parâmetros para cada aplicação. Para uma melhor compreensão é interessante que o manual das funções específicas de cada parâmetro seja lida.

Os Parâmetros P0701 à P0706 selecionam a função das entradas digitais e o parâmetro r7222¹¹ mostra os valores lógicos atuais destas entradas.

O tópico descrito a seguir explicita como mudar estas funções

¹¹ Note que o parâmetro r0722 não tem a mesma notação dos outros parâmetros, o r é da palavra inglesa *read*. Estes tipos de parâmetros são somente para leitura e também para conectar seus valores a parâmetros do tipo p

6.1.11 Mudando funções das entradas digitais

Para mudar a função das entradas digitais que foram conectadas no exercício proposto do tópico anterior parâmetros devem ser modificados. Utilizando como base o manual do MICROMASTER 440 e o Guia de Parâmetros encontrados em seu website¹² os parâmetros P0701, P0702, P0703, P0704, P0705 e P0706 representam respectivamente as funções das entradas digitais 1, 2, 3, 4, 5, 6. A lista a seguir determina o que significa cada valor se colocado em seu respectivo parâmetro:

1 ON/OFF1

2 ON reverse /OFF1

3 OFF2 - coast to standstill

4 OFF3 - quick ramp-down

9 Fault acknowledge

10 JOG right

11 JOG left

12 Reverse

13 MOP up (increase frequency)

14 MOP down (decrease frequency)

15 Fixed setpoint (Direct selection)

16 Fixed setpoint (Direct selection + ON)

17 Fixed setpoint (Binary coded selection + ON)

25 DC brake enable

29 External trip

33 Disable additional freq setpoint

99 Enable BICO parameterization

As entradas digitais 1, 2 e 3 tem respectivamente os seguintes valores: *Default* Entrada digital 1 – *On/OFF1*; Entrada digital 2- *Reverse*; Entrada digital 3 – *Fault Acknowledge*.

¹² www.siemens.com

Como sugestão de prática para mudança de controle e para explorar funções adicionais, as seguintes funções deverão ser inseridas nas entradas digitais que restam, ou nas que já estão pré-definidas:

-Inserir um OFF3 que é uma desaceleração mais rápida cujo tempo é definido no comissionamento rápido

-Coloque o controle de velocidade através de duas chaves digitais

-Insira um freio DC, que trava o motor inserindo uma tensão DC defasada em seus respectivos enrolamentos.

Parâmetros adicionais encontram-se nos manuais

6.1.12 Finalização e conclusões da prática 1

Depois de realizada esta prática, espera-se que o discente tenha se familiarizado com o conversor de frequência, seu controle e seus comandos.

Se realizada de maneira correta o aluno terá agregado diversos conhecimentos como:

- Realizar o comissionamento rápido de um conversor de frequência
- Compreender o que são os parâmetros do conversor de frequência
- Selecionar os meios de comandos através de entradas analógicas e digitais
- Mudar o modo de controle escalar para vetorial e compreender quais as diferenças.

Com esta prática os discentes que forem realizar o projeto de automação terão uma base maior para entender como um conversor funciona e possivelmente o incluir em seus projetos. Esta prática também terá uma abordagem prática do controle vetorial de fluxo, explorado em outras disciplinas de maneira teórica possivelmente facilitando a compreensão do mesmo.

6.2 Prática II

Esta segunda prática sugerida tem como principal objetivo ligar os conhecimentos desenvolvidos na disciplina e no laboratório de automação industrial com os conhecimentos de conversores de frequência desenvolvidos na primeira prática e em alguns tópicos das disciplinas. Esta prática também desenvolverá um tópico novo de controle de conversores, frequências fixas.

Para a realização desta prática é necessário que o discente já tenha conhecimentos básicos de programação de PLC em *ladder* e de parametrização de conversores de frequência. Assim sendo é necessário que o discente já tenha realizado a prática I aqui descrita e ao menos uma prática de programação em ladder de PLC. Espera-se também que o aluno tenha conhecimento das funções de entradas e saídas analógicas e digitais de PLCs.

6.2.1 Equipamentos utilizados

Para esta prática serão utilizados:

- 1 Motor Elétrico 1LP7 – 060 – 2AA9
- 1 Conversor de Frequência MICROMASTER 440
- 1 PLC Siemens CPU 314C-2DP
- 1 Basic operator panel
- 1 Régua com 6 Chaves digitais e 1 potenciômetro analógico.

Atenção: Todas as vezes que o conversor de frequência for desligado durante a prática para manuseio é necessário a espera de cinco minutos antes de manusear seus contatos elétricos, pois os capacitores do Link DC armazenam energia e podem descarregar mesmo com o conversor sem estar conectado na tomada.

6.2.2 Propostas da Prática II

- Operar o Conversor com um programa de PLC utilizando frequências fixas
- Simular o funcionamento de uma aplicação com o conversor ligado ao PLC

6.2.3 Montagem da Prática II

Para a segunda prática devem ser ligados as entradas digitais do PLC a régua de bornes 2, e para o conversor de frequência devem ser ligadas as saídas assim como mostra o Anexo 4 - Projeto do KIT.

Para a prática II todos os comandos para o conversor de frequência devem ser realizados através do PLC.

6.2.4 Comissionando o Conversor

Para comissionar o conversor para esta segunda prática siga os passos da prática I (6.1.5 Comissionamento rápido). Os seguintes parâmetros devem ser trocados da prática I:

P0700 = 2;

P1000 = 3;

6.2.5 Frequências Fixas

Frequências fixas são uma das funções especiais do conversor de frequência Siemens. As utilizando é possível predeterminar velocidades no conversor e com entradas digitais alternar entre elas. Este tipo de função é muito utilizada em diversas aplicações como Elevações de Carga, Misturadores, Centrífugas e diversas outras.

De uma maneira simples a combinação dos valores digitais ligadas aos parâmetros P1020, P1021, P1022 e P1023 podem selecionar 16 diferentes velocidades que são selecionadas do parâmetro P1001 ao parâmetro P1015. Note que a primeira combinação já é selecionada para a velocidade 0 ou OFF1. O Anexo 5 - Velocidades Fixas mostra como são as combinações para cada velocidade e quais os parâmetros para seleciona-las.

Seguindo os passos de 6.1.10 Troca do método de controle e comando, selecione para as entradas digitais 3, 4 e 5 (P0704, P0705 e P0706) o valor 99 para que seja possível colocar o que seria inserido nelas como variáveis para outros parâmetros, respectivamente selecionáveis por r722.3, r722.4 e r722.5. Selecione os parâmetro P1020, P1021 e P1022 e coloque respectivamente.

P1020 = 722.3 (Entrada digital 3)

P1021 = 722.4 (Entrada digital 4)

P1022 = 722.5 (entrada digital 5)

E os seguintes parâmetros também deverão ser modificados para que a combinação lógica seja possível:

P1016=3;

P1017=3

P1018=3;

Logo com 3 entradas digitais será possível selecionar 8 frequências fixas, que serão parametrizadas do parâmetro P1001 até o P1009. Coloque nestes parâmetros diferentes valores para teste. Note que é possível colocar valores negativos, ou seja o motor girará para o lado contrário.

Com todos estes parâmetros selecionados, as entradas digitais terão as seguintes funções:

- Entrada digital 1 = Liga / Desliga (Selecionado automaticamente via Comissionamento rápido)
- Entrada digital 2 = Inverte Rotação (Selecionado automaticamente via Comissionamento rápido)
- Entrada digital 3 = Reset Falhas (Selecionado automaticamente via Comissionamento rápido)
- Entrada digital 4 = Bit 1 para frequência fixas pré-selecionadas
- Entrada digital 5 = Bit 2 para frequência fixas pré-selecionadas
- Entrada digital 6 = Bit 3 para frequência fixas pré-selecionadas

6.2.6 Ligação com o PLC

Conforme as práticas desenvolvidas anteriormente programe o PLC para controlar estas variáveis através de diagramas ladder.

As entradas digitais virão da régua de bornes 2

As saídas digitais deverão ser ligadas ao conversor para controlar o que foi definido em 6.2.5 Frequências Fixas.

Realize as seguintes tarefas com estas ligações:

- Utilize as chaves 1 e 2 da régua de bornes para que juntas ligue o motor
- Utilize a chaves 3, 4 e 5 para fazer a seleção das velocidades fixas.

Responda e reflita, como inverter a rotação do motor sem mudar a entrada digital 2 do conversor?

6.2.7 Aplicação

Um dos principais objetivos deste trabalho é aproximar o que é ensinado na faculdade ao mundo industrial. Com este propósito, nesta prática final deverá ser simulada uma aplicação industrial que utilize o PLC e o conversor com frequências fixas como *setpoint*.

A aplicação escolhida será um *conveyor*. Um conveyor é uma máquina utilizada para transportar materiais de um lugar para outro, podendo ser chamado em alguns casos de esteira. Ele é geralmente controlado por um motor elétrico que em muitos casos deve ter sua velocidade variada

O *conveyor* utilizado será para o processo de pintura, a peça a ser pintada passará por três estágios diferentes: No primeiro estágio a peça passará por um processo de pintura. Após este processo passará por um aquecimento lento e em seguida por um processo de resfriamento rápido. Para isto a velocidade da esteira deverá variar de acordo com o processo que a peça está. Note que na mudança de processos o conveyor deverá ter velocidade máxima para que o processo completo tenha seja mais rápido.

O gráfico e a tabela a seguir representam como deverão ser as velocidades em cada estágio da pintura

Gráfico 19 - Ciclo de velocidades

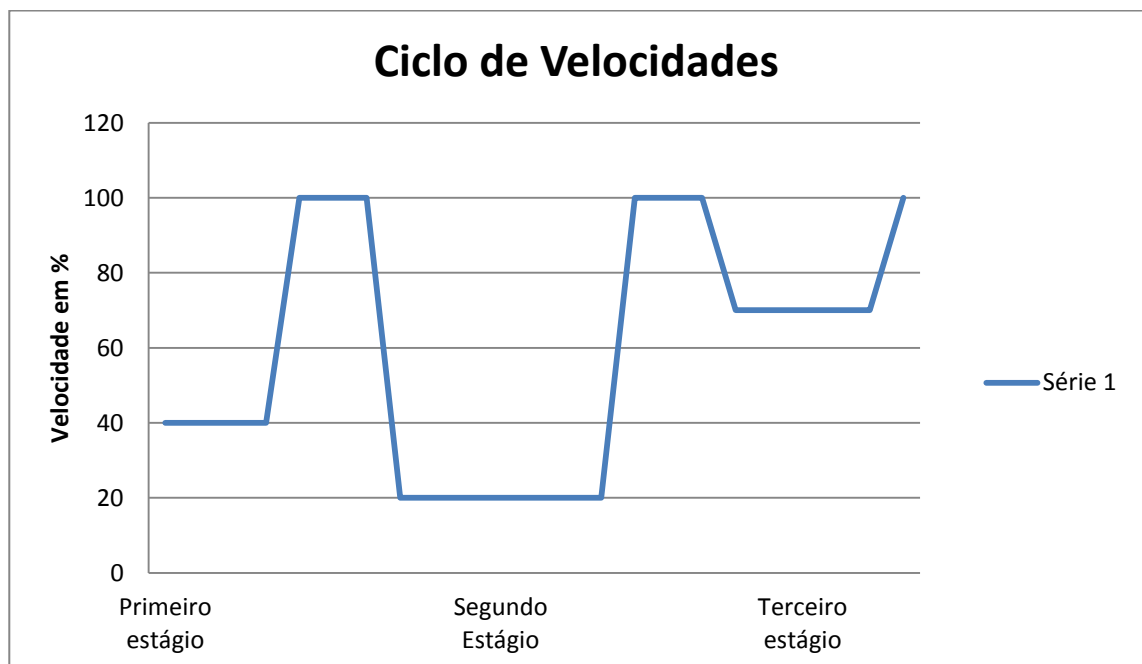


Tabela 5 - Velocidades Fixas

CICLO	VELOCIDADE
Primeiro Estágio (Pintura)	40% da Nominal (24Hz)
Transição (Transporte)	100% da Nominal (60Hz)
Segundo Estágio (Aquecimento)	20% da Nominal (20Hz)
Transição (Transporte)	100% da Nominal (60Hz)
Terceiro Estágio (Resfriamento)	70% da Nominal (42Hz)

Para isto deverão ser colocadas nos parâmetro P1001 até P1008 as velocidades que serão utilizadas (Não é necessário colocar as 8).

A máquina terá sensores para saber em qual estágio se encontra a peça que está sendo pintada.

Estes sensores serão as entradas do PLC. Estas entradas serão simuladas na régua de bornes que ao PLC está conectada.

É necessário também que exista um botão de START no processo, este botão também estará na régua de bornes que está conectada ao PLC.

Programe o PLC para que os sinais dele possam controlar a velocidade do conversor com a lógica de BIT comissionada.

A tabela na página a seguir mostra as entradas e saídas que estão conectadas ao PLC.

Tabela 6 - Entradas e Saídas

Entradas	Saídas
Entrada digital da régua simulando botão de Start	Saída Digital para o Inversor
Entrada digital simulando Final do processo de pintura	Saída Digital para Inversor
Entrada digital da régua Simulando começo do processo de aquecimento	Saída Digital para Inversor
Entrada digital da régua simulando fim do processo de aquecimento	Saída Digital para Inversor
Entrada digital da régua simulando começo do processo de resfriamento	Saída Digital para Inversor
Entrada digital da régua simulando final do processo de resfriamento	Saída Digital para Inversor

6.2.8 Finalizações e conclusões da prática 2

Depois de realizada esta prática, espera-se que o discente tenha se familiarizado com a ligação do PLC com o conversor e a função especial de comanda de frequências fixas.

Se realizada de maneira correta o aluno terá agregado diversos conhecimentos como:

- Comissionar o Conversor com frequências fixas
- Comunicar o Conversor com o PLC através de entradas e saídas digitais
- Ampliar os conhecimentos desenvolvidos em sala de aula para uma simulação de aplicação industrial

Com esta prática espera-se que o discente entenda melhor a aplicação de conversores de frequência na indústria e seja capaz de desenvolver aplicações simples.

CAPÍTULO 7- CONCLUSÕES

Com a intenção de estudar conversores de frequência e automação industrial em âmbitos acadêmicos, iniciou-se este trabalho com uma monitoria à disciplina SEL-406 Automação. Concentraram-se esforços para compreender a necessidade de algum incremento ou melhoramento ao curso em relação a estes tópicos.

Realizou-se uma pesquisa com alunos que cursaram a disciplina nos últimos anos e com ela, uma análise detalhada mostrou que fatores, como o aumento de créditos e a inclusão dos tópicos de conversores de frequência à disciplina, tiveram impactos positivos.

Com a finalidade de complementar a formação dos discentes baseando se na necessidade avaliada por eles pela pesquisa, na correção dos projetos durante a monitoria e pela necessidade do mercado de profissionais preparados tecnicamente foi projetado um KIT didático para este complemento à disciplina e ao curso.

Junto ao projeto do Kit didático, foram propostas duas práticas para serem realizadas em laboratório. Estas práticas foram elaboradas considerando o conhecimento prévio que os alunos alegaram ter avaliadas pela pesquisa e também analisadas durante a monitoria. O trabalho de conclusão aborda na sua revisão da literatura todo o conceitual teórico necessário para realização das práticas propostas. O Kit terá como principal intento familiarizar os discentes com conversores de frequência e suas respectivas funções.

O Kit é passivo à mudanças e melhorias para projetos futuros devido à sua modularidade e expansibilidade. Novas práticas propostas ou novos equipamentos são possíveis e, assim como o fundamento deste trabalho, encorajados para que sempre existam melhorias e avanços no mundo acadêmico.

Bibliografia

ALMEIDA, E. M. D.; CASSIMIRO, I.; BENTO, M. **PROJETO: PONTE DE ELEVAÇÃO EM PORTOS (CRANES)**. EESC-USP. São Carlos. 2012.

ANEEL. ANEEL, 2012. Disponível em: <Os componentes eletrônicos foram muito importantes no boom da automação industrial, como relata Morimoto (2005): “O transistor é um componente eletrônico que começou a se popularizar na década de 1950, tendo sido principal responsável pela revolução eletr”. Acesso em: 15 out. 2012.

BARBOSA, A.; BRESSAN, N.; MELO, O. **Projeto de Automação - Terno de Moagem**. EESC - USP. São Carlos. 2012.

BRANDÃO, D. **Notas de Aula SEL406**. 2012: [s.n.], São Carlos.

BUENO, J. N. A. D.; CAVENAGHI, G.; LEITE, R. **Projeto: RTG – Rubber Tyred Gantry Crane**. EESC - USP. São Carlos. 2012.

CAMARGO, C. B. D.; KONDA, R.; MARQUITTI, L. E. **Projeto de Automação Industrial**. EESC - USP. São Carlos. 2012.

CIFONI, F.; ANTONELLI, G.; BOTECHIA, R. **Prensa - Projeto de Automação Industrial**. EESC - USP. São Carlos. 2012.

DOMINGUES, A. R.; HERNANDES, A.; MIZANI, A. **Projeto de Garra Pneumática transportadora**. EESC-USP. São Carlos. 2012.

DR. J. PATRICK (PAT) DONOHOE, P. E. **ECE 3183 Electrical Engineering Systems Course Notes Chapter 17**. EESC-USP. São Carlos. 2006.

ENERGY, U. D. O. Energy Efficiency & Renewable Energy. **Department of Energy of the United States**, 2012. Disponível em: <http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_deployment/pdfs/mc-0382.pdf>. Acesso em: 03 set. 2012.

FERREIRA, E. V.; ALVES, R. **Projeto de Estação de Preparação de Polímeros**. EESC-USP. São Carlos. 2012.

FLANAGAN, W. **Handbook of Transformer Design and Applications**. [S.l.]: [s.n.], 1993.

[HTTP://WWW.SMAR.COM/](http://www.smar.com/). **O que é PROFIBUS?** Disponível em: <<http://www.smar.com/brasil/profibus.asp>>. Acesso em: 02 jun. 2012.

[HTTP://WWW.WEG.NET/BR/MEDIA-CENTER/NOTICIAS/GERAL/OPORTUNIDADES-EM-EFICIENCIA-ENERGETICA](http://www.weg.net/br/media-center/noticias/geral/oportunidades-em-eficiencia-energetica).

WEG. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Media-Center/Noticias/Geral/Oportunidades-em-Eficiencia-Energetica>>. Acesso em: 01 set. 2012.

JÚNIOR, O. C. P.; BORGES, L.; NOVAES, L. **SEL 406 – Automação**. EESC-USP. São Carlos. 2012.

KEVIN. The basic blocks of a variable speed drive (VSDs, frequency inverter, ac drive) system (part 2), 16 out. 2010. Disponível em: <<http://www.inverter-china.com/blog/articles/ac-drive/basic-blocks-of-a-variable-speed-drive-system-2.html>>. Acesso em: 15 out. 2012.

LACOMBE, F. J. M. **Dicionário de administração**. [S.l.]: Saraiva, 2004.

MACAN, D. A.; ARRUDA, F.; HASHIMOTO, G. **Máquina: Hidrojateamento de tubos trocadores de calor**. EESC-USP. São Carlos. 2012.

MANSUR, R.; PEREIRA, E. **Projeto de Esteira Seletora**. EESC-USP. São Carlos. 2012.

MONTEIRO, J. R. B. D. A. **Apostila de Eletrônica de Potência**. São Carlos: [s.n.], 2011.

MORIMOTO, C. E. Guia do Hardware. **Guia do Hardware**, 26 Junho 2005. Disponível em: <<http://www.hardware.com.br/termos/transistor>>. Acesso em: 13 fevereiro 2012.

PEDROSA, A. K.; DOS REIS, P.; MORITA, V. **Projeto de Automação Residencial**. EESC-USP. São Carlos. 2012.

PIREZ, H. C.; PRATELEIRA, R.; ZATARIN, V. **Indústria automobilística – Equipamento de pintura**. EESC-USP. São Carlos. 2012.

RAGAZZI, G.; LEITE, F.; SILVA, L. **Projeto de Reator de Mistura**. EESC-USP. São Carlos. 2012.

RIFKIN, J. **The end of work: the decline of the global labor force and the dawn of the post-market era**. [S.l.]: G.P. Putnam's Sons, 1995.

ROSA, A. D. **Simulação de um Softstarter para acionamento de Motores de Indução**. Goiania. 2003.

ROSSI, G. V. **Prática 2, Laboratório de Automação**. EESC - USP. São Carlos, p. 8. 2010.

ROUSE, M. Search CIO. **http:** //searchcio.techtarget.com/definition/vertical-market, Junho 2007. Disponível em: <<http://searchcio.techtarget.com/definition/vertical-market>>. Acesso em: 20 Agosto 2012.

SCHNEIDER ELECTRIC. Modicon 084 Processors. **Modicon 084 Processors**, 1987. Disponível em: <http://v1.graybar.com/automation/ga_manuais/Hardware/084/084.htm>. Acesso em: 20 out. 2012.

SIEMENS. Catalogo Micromaster. **Catalogo Micromaster**, São Paulo, 2011.

SIEMENS. Manual Micromaster 440. **Siemens Industry**, 2012. Disponível em: <www.siemens.com>. Acesso em: 10 out. 2012.

SIEMENS. Siemens Industry. **Programmable Logic Controllers**, 2012. Disponível em: <<http://www.automation.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/pages/default.aspx>>. Acesso em: 5 out. 2012.

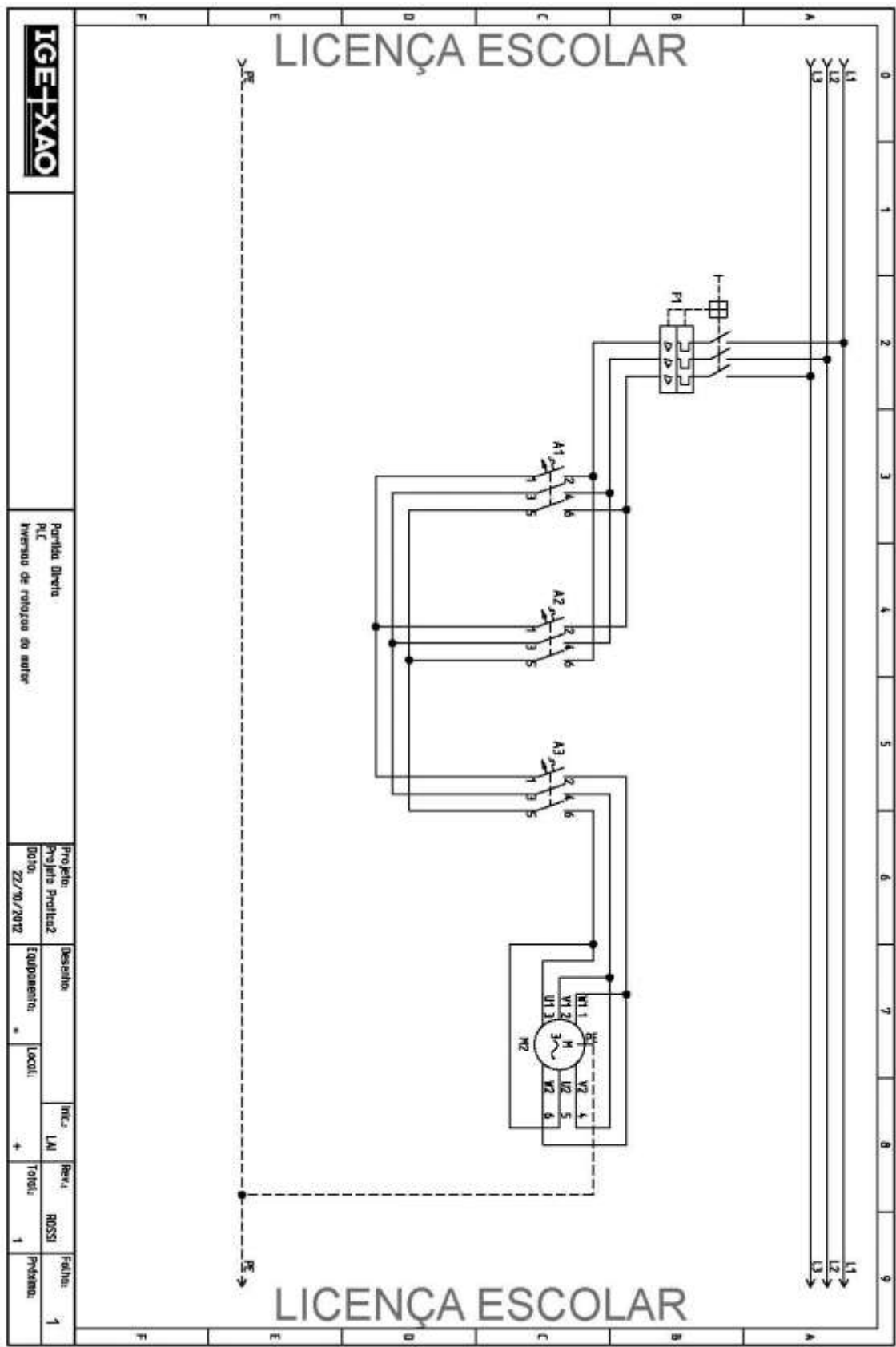
SILVA, D. D.; LIMA, D.; MARCOS, L. B. **Máquina Seladora**. EESC-USP. São Carlos. 2012.

The father of invention: Dick Morley looks back on the 40th anniversary of the PLC. **http:** //www.automationmag.com/features/the-father-of-invention-dick-morley-looks-back-on-the-40th-anniversary-of-the-plc.html, 12 set. 2008. Disponível em: <<http://www.automationmag.com/features/the-father-of-invention-dick-morley-looks-back-on-the-40th-anniversary-of-the-plc.html>>. Acesso em: 01 set. 2012.

VIEIRA, L. B.; NAVARRO, L.; MANSUR, D. **Projeto de Automação**. EESC-USP. São Carlos. 2012.

Anexos

Anexo 1 - Diagrama elétrico - Partida direta com PLC



Anexo 2 – Respostas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 do formulário

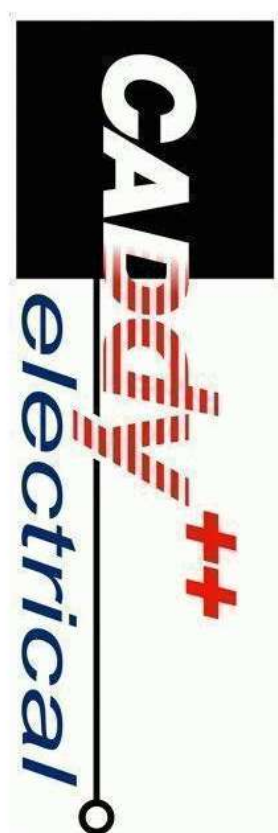
Pergunta 1	Pergunta 2	Pergunta 3	Pergunta 4	Pergunta 5	Pergunta 6
2009	3	4	4	3	1
2009	1	1	3	1	2
2009	3	3	3	3	1
2009	3	3	4	1	3
2009	5	5	2	1	3
2009	1	1	3	2	1
2009	4	3	5	1	3
2009	5	5	2	1	1
2009	5	5	1	2	2
2009	4	3	4	3	1
2010	3	2	4	3	1
2010	4	4	2	1	2
2010	3	2	4	1	1
2010	3	3	3	3	1
2010	3	3	5	5	1
2010	5	2	4	2	1
2010	5	5	3	2	1
2010	4	4	3	2	1
2010	3	3	2	3	2
2010	3	4	4	4	1
2010	4	5	4	3	2
2010	4	4	2	1	1
2010	4	4	5	3	3
2010	4	5	2	4	1
2010	3	4	5	4	1
2010	3	2	5	3	2
2010	5	5	4	3	5
2010	2	3	4	2	2
2010	3	4	5	3	3
2011	2	1	4	4	2
2011	4	4	5	1	3
2011	3	2	3	3	3

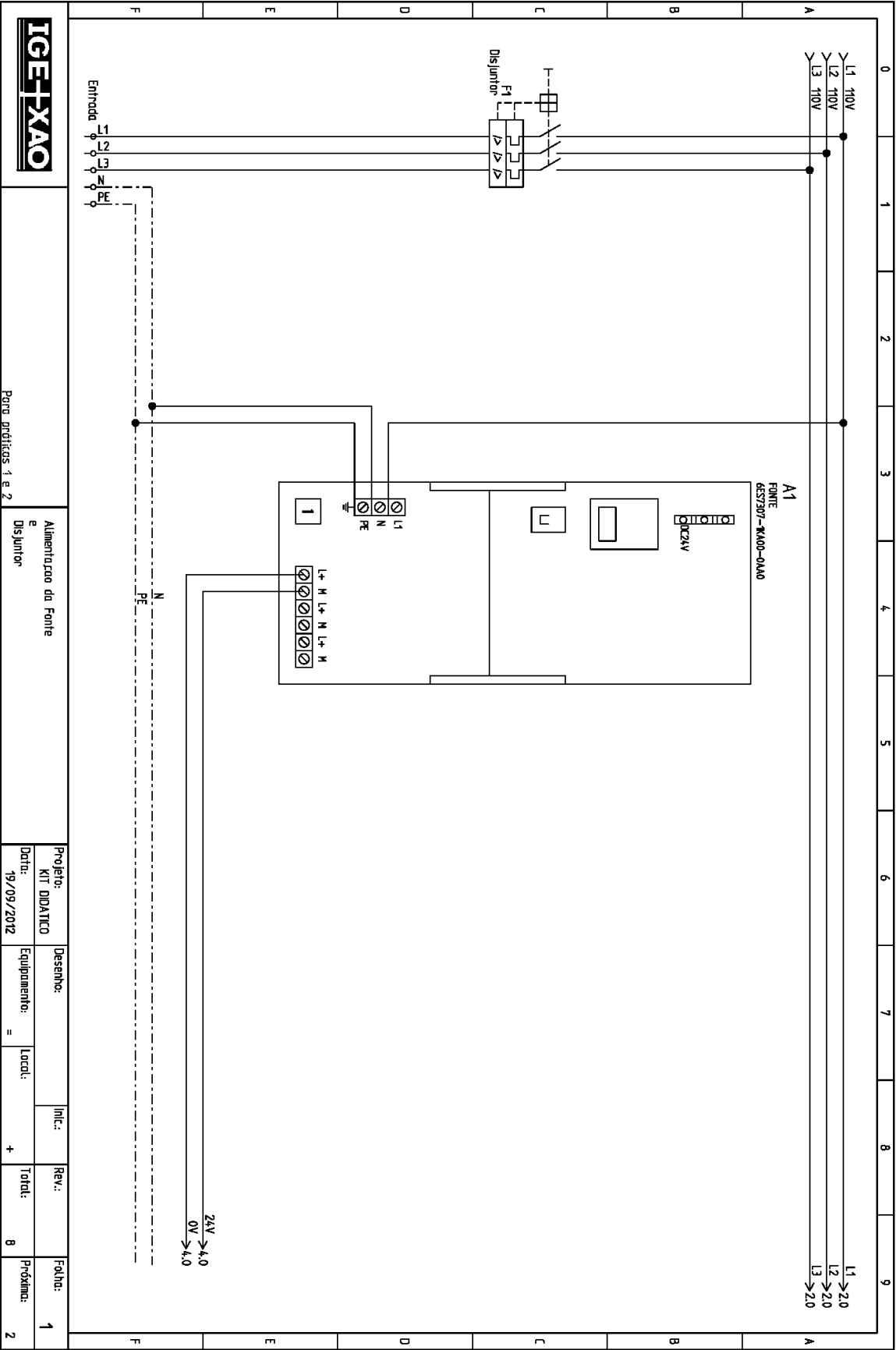
2011	2	2	4	3	3
2011	3	2	4	3	1
2011	3	4	3	1	2
2011	4	5	5	2	1
2011	5	5	4	4	4
2011	5	5	4	2	1
2011	4	4	1	1	3
2011	4	4	2	2	3
2012	3	5	3	1	2
2012	4	4	5	2	1
2012	3	3	4	2	2
2012	3	4	3	2	4
2012	5	5	5	3	3
2012	4	5	3	4	2
2012	5	5	4	2	3
2012	5	4	5	3	3
2012	5	5	4	2	1
2012	5	5	5	2	3
2012	4	4	5	2	4
2012	5	5	4	3	2
2012	5	5	5	4	4
2012	5	5	2	3	2
2012	4	4	3	3	3
2012	4	4	5	4	2
2012	5	5	4	2	2
2012	4	5	4	2	3
2012	5	5	2	3	1
2012	3	4	4	2	3
2012	5	5	4	4	3
2012	5	3	4	1	2
2012	3	4	1	2	2

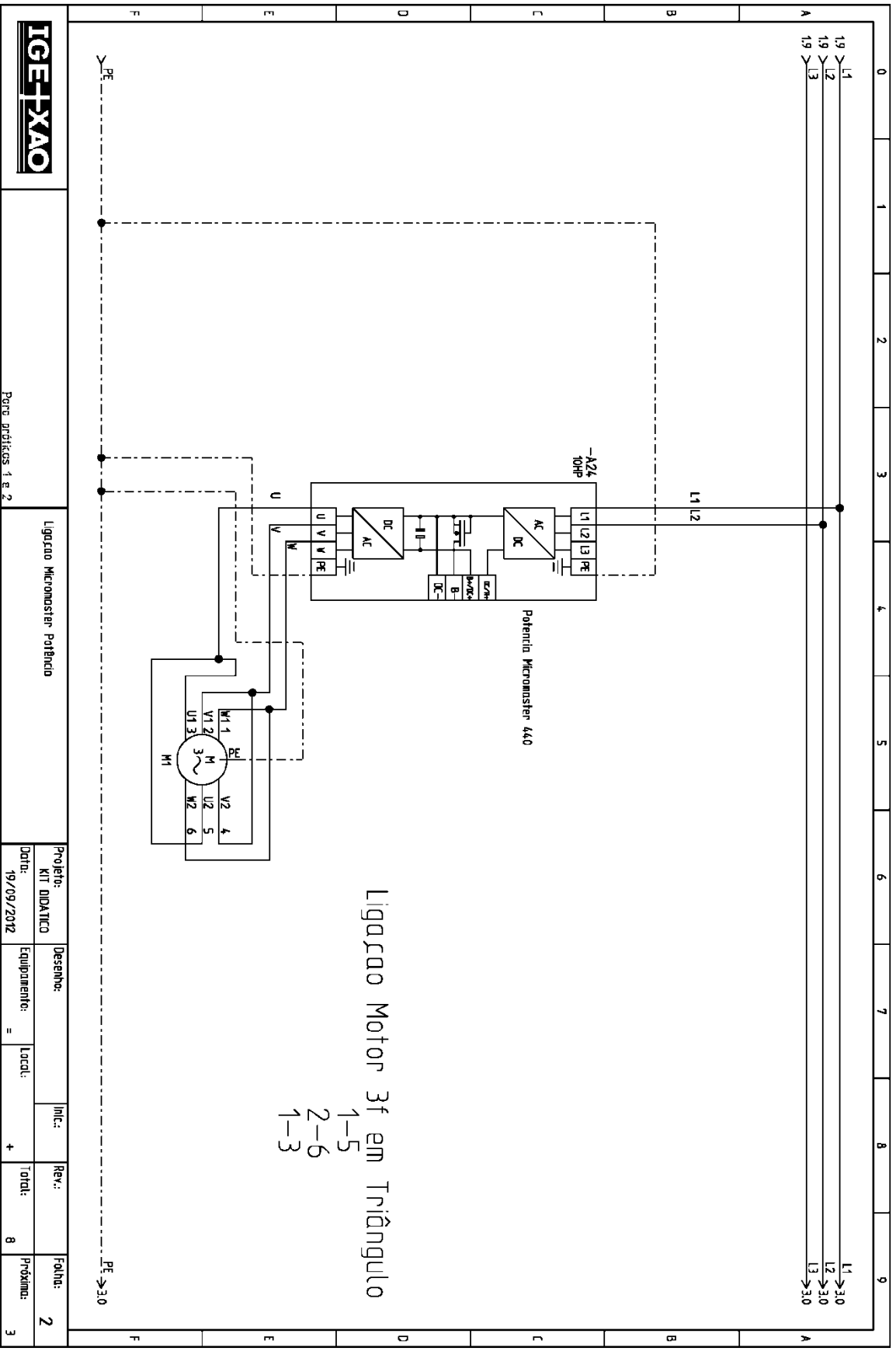
Anexo 3- Respostas 7 e 8 do formulário

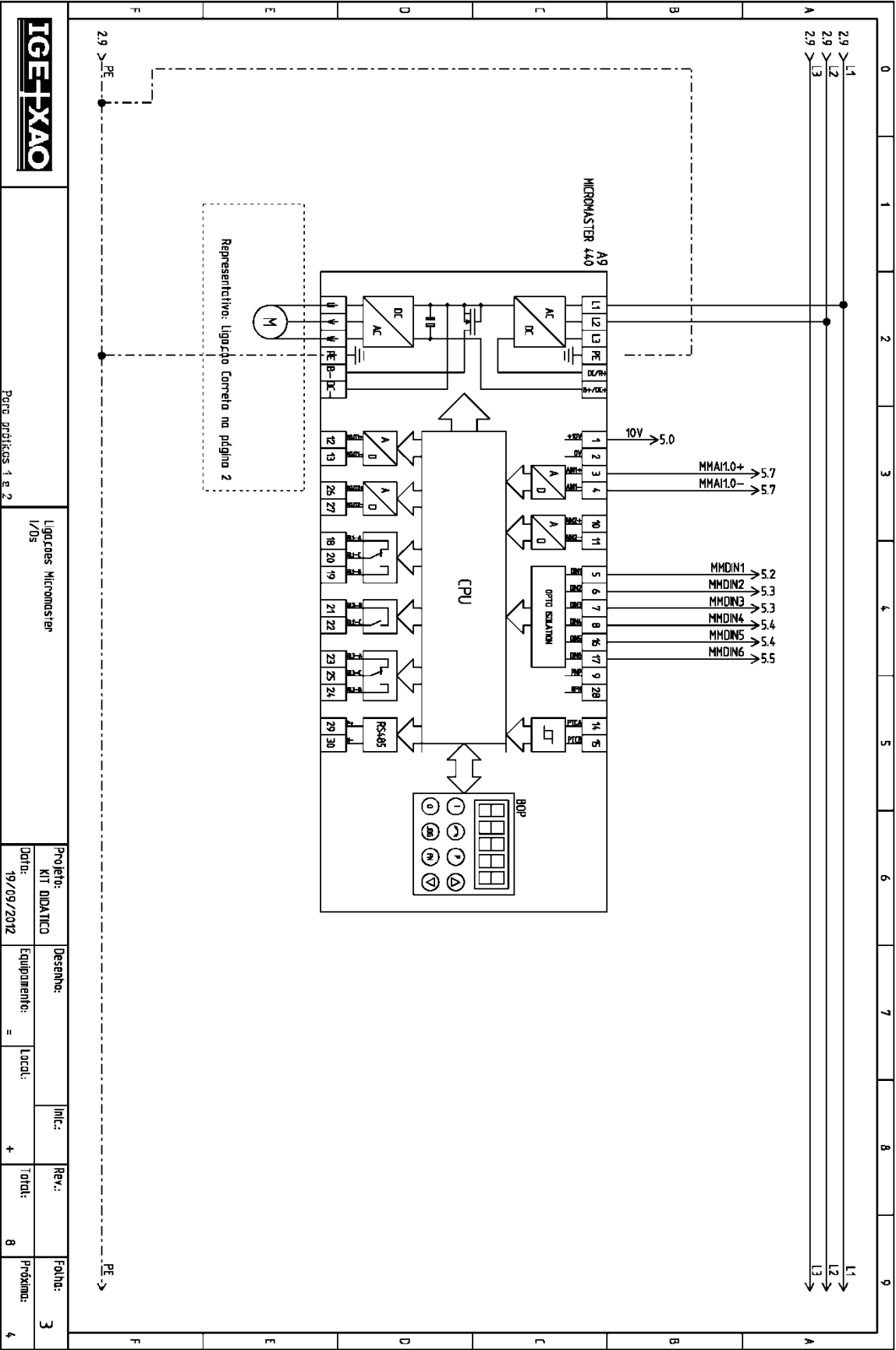
PERGUNTA 7	PERGUNTA 8
Eletrônica	Eletrônica, Telecomunicações
Eletrônica	Eletrônica, Telecomunicações
Eletrônica	Automação, Acionamento de Máquinas
Eletrônica	Não Trabalho diretamente com engenharia elétrica
Eletrônica	Eletrônica
Eletrônica	Automação, Energia (Geração / Transmissão / Distribuição)
Eletrônica	Eletrônica, Telecomunicações, Energia (Geração / Transmissão / Distribuição), Qualidade
Eletrônica	Automação, Eletrônica, Bioengenharia
Eletrônica	Eletrônica
Eletrônica	Eletrônica
Eletrônica	Automação, Eletrônica
Eletrônica	Automação
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Energia (Geração / Transmissão / Distribuição)
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Energia (Geração / Transmissão / Distribuição)
Sistemas de Energia e Automação	Projeto de Instalações Elétricas de Baixa Tensão
Sistemas de Energia e Automação	Energia (Geração / Transmissão / Distribuição)
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Energia (Geração / Transmissão / Distribuição)
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Energia (Geração / Transmissão / Distribuição)
Sistemas de Energia e Automação	Acionamento de Máquinas, Eletrônica
Sistemas de Energia e Automação	Energia (Geração / Transmissão / Distribuição)
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Energia (Geração / Transmissão / Distribuição), sistemas inteligentes
Sistemas de Energia e Automação	Não Trabalho diretamente com engenharia elétrica, oi réxis
Sistemas de Energia e Automação	Não Trabalho diretamente com engenharia elétrica
Sistemas de Energia e Automação	Energia (Geração / Transmissão / Distribuição), Qualidade
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Automação, Telecomunicações, Energia (Geração / Transmissão / Distribuição), SCADA
Sistemas de Energia e Automação	Não Trabalho diretamente com engenharia elétrica
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Instalações elétricas
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Automação de Subestação
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais

Sistemas de Energia e Automação	Acionamento de Máquinas, Energia (Geração / Transmissão / Distribuição)
Sistemas de Energia e Automação	Automação, Acionamento de Máquinas, Energia (Geração / Transmissão / Distribuição), Normas Regulamentadoras do setor Elétrico
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Automação, Energia (Geração / Transmissão / Distribuição)
Sistemas de Energia e Automação	Não Trabalho diretamente com engenharia elétrica
Sistemas de Energia e Automação	Energia (Geração / Transmissão / Distribuição)
Sistemas de Energia e Automação	Automação, Energia (Geração / Transmissão / Distribuição), Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Automação, Acionamento de Máquinas
Sistemas de Energia e Automação	Instalações Elétricas
Sistemas de Energia e Automação	Energia (Geração / Transmissão / Distribuição)
Sistemas de Energia e Automação	Energia (Geração / Transmissão / Distribuição)
Sistemas de Energia e Automação	
Sistemas de Energia e Automação	Automação
Sistemas de Energia e Automação	Ainda não realizo atividades profissionais
Sistemas de Energia e Automação	Automação, Energia (Geração / Transmissão / Distribuição)
Sistemas de Energia e Automação	Automação, Acionamento de Máquinas, projeto de motores monofásicos
Sistemas de Energia e Automação	Energia (Geração / Transmissão / Distribuição)

	
Laboratório de Automação	
Projeto do Kit Didático	
Versão 1.0	
Guilherme Viecili Rossi	
LICENÇA ESCOLAR	LICENÇA ESCOLAR





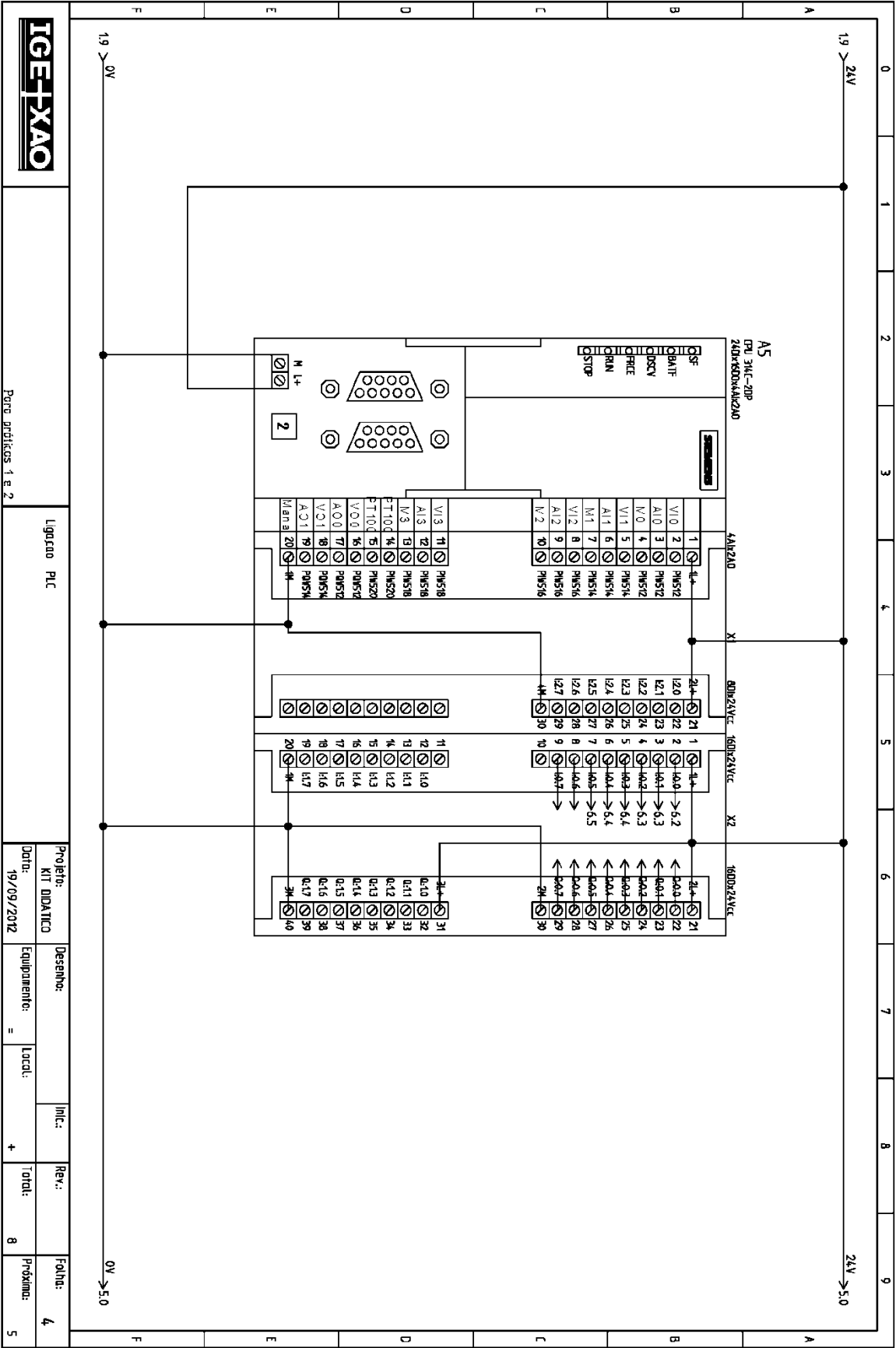


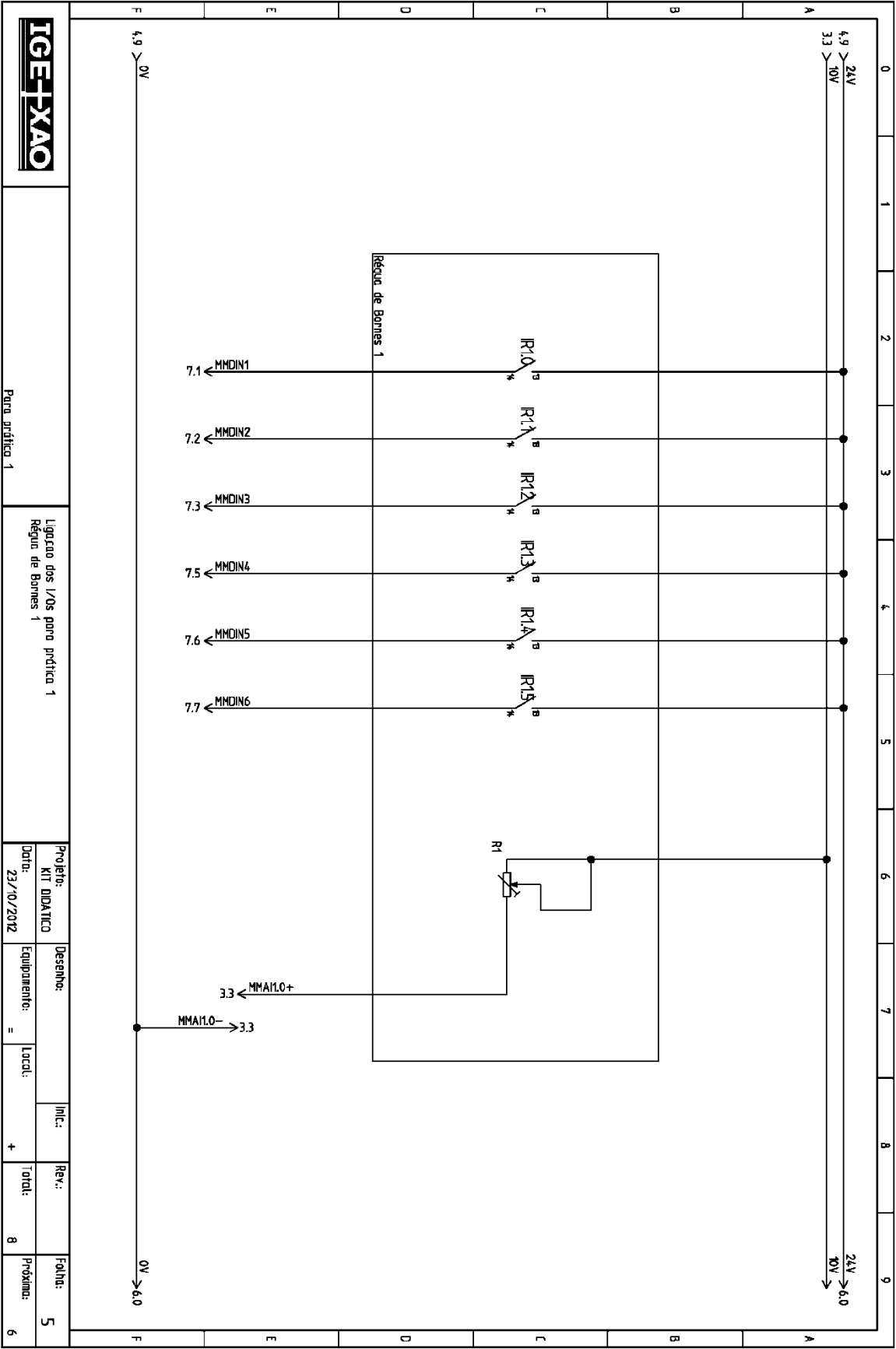
IGET XAO

Ligações Micromaster I/Os

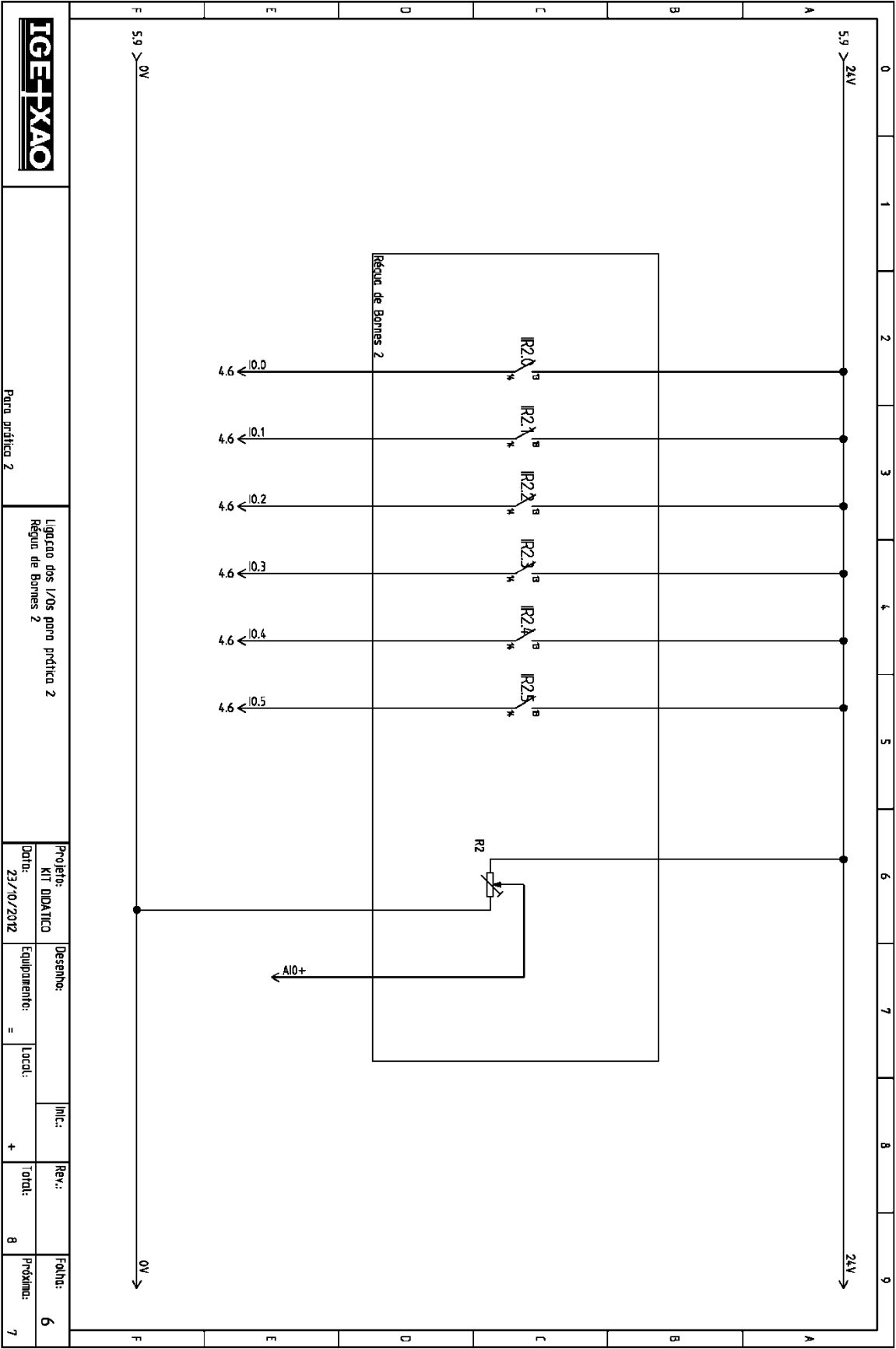
Para práticas 1 e 2

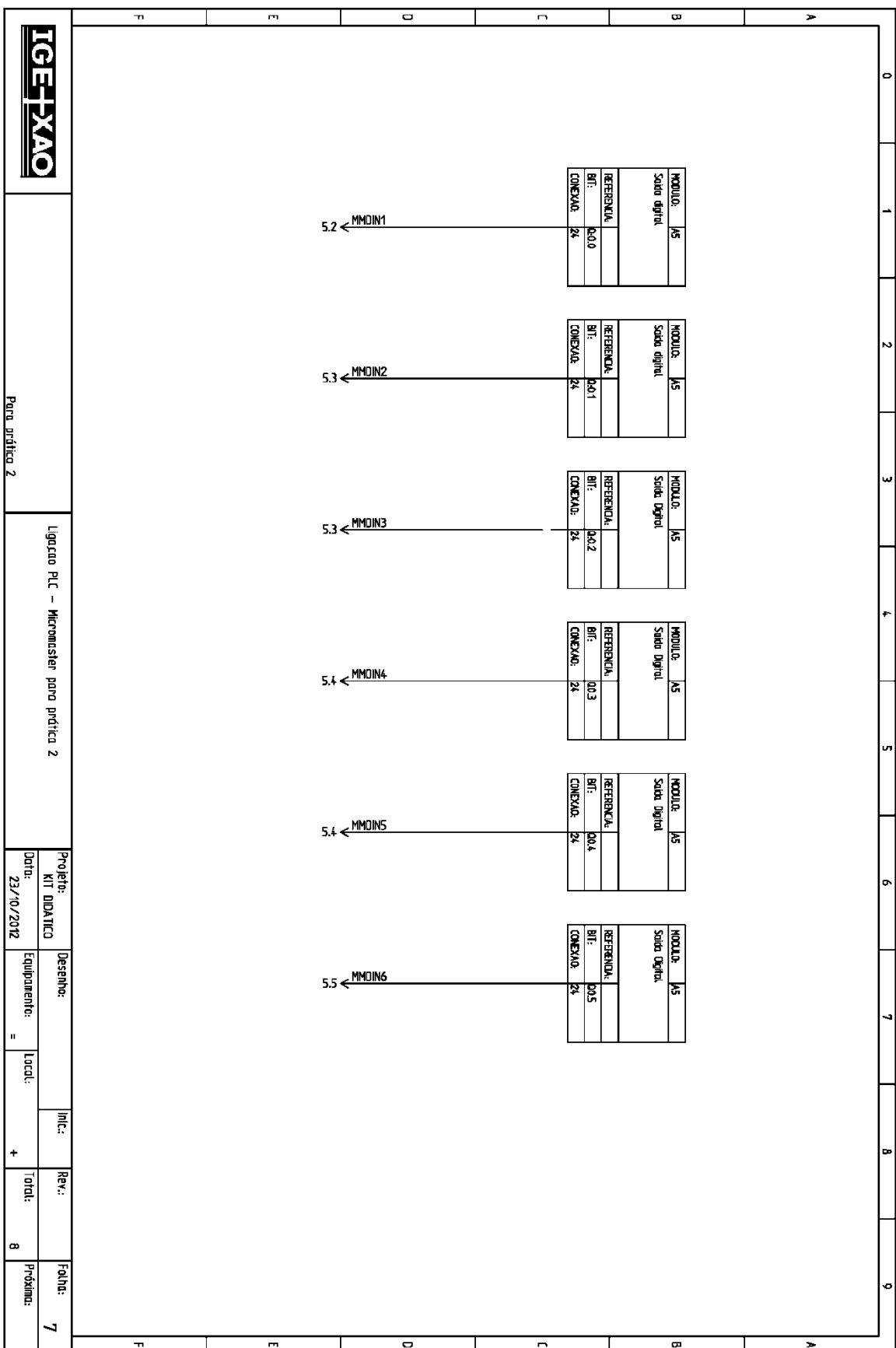
Projeto:	Desenho:	Inic.:	Rev.:	Folha:
KIT DDA TICO				3
Data:	Equipamento:	Local:	Total:	Próxima:
19/09/2012	=	+	8	4

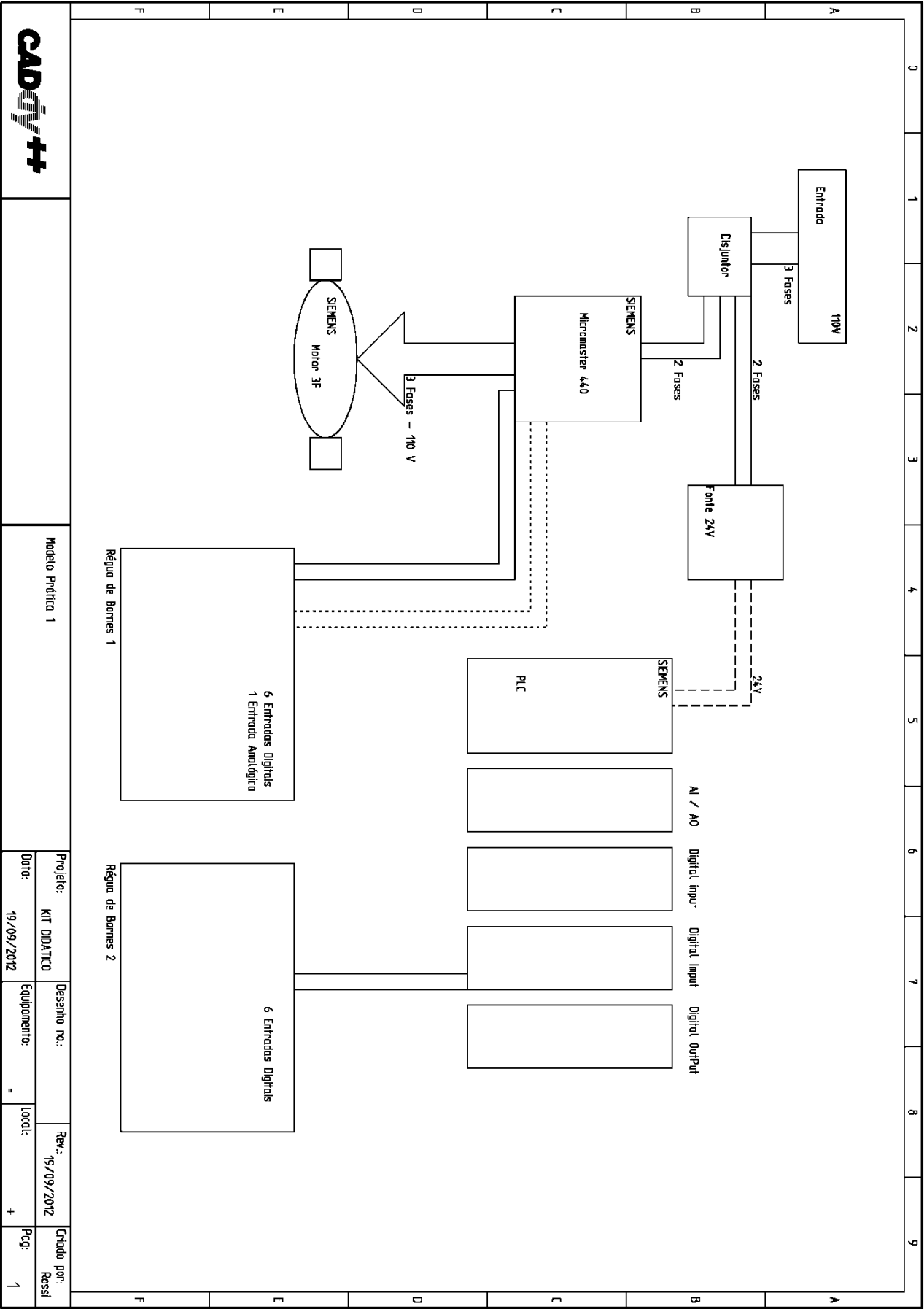




IGET XAO		Ligação dos I/Os para prática 1		Projeto:	Desenho:		Intc:	Rev:	Folha:
Para prática 1		Régua de Bornes 1		Kit DDA TCO	Equipamento:		Local:	Total:	Próxima:
				Data: 23/10/2012	=		+	8	6







CADDTV++

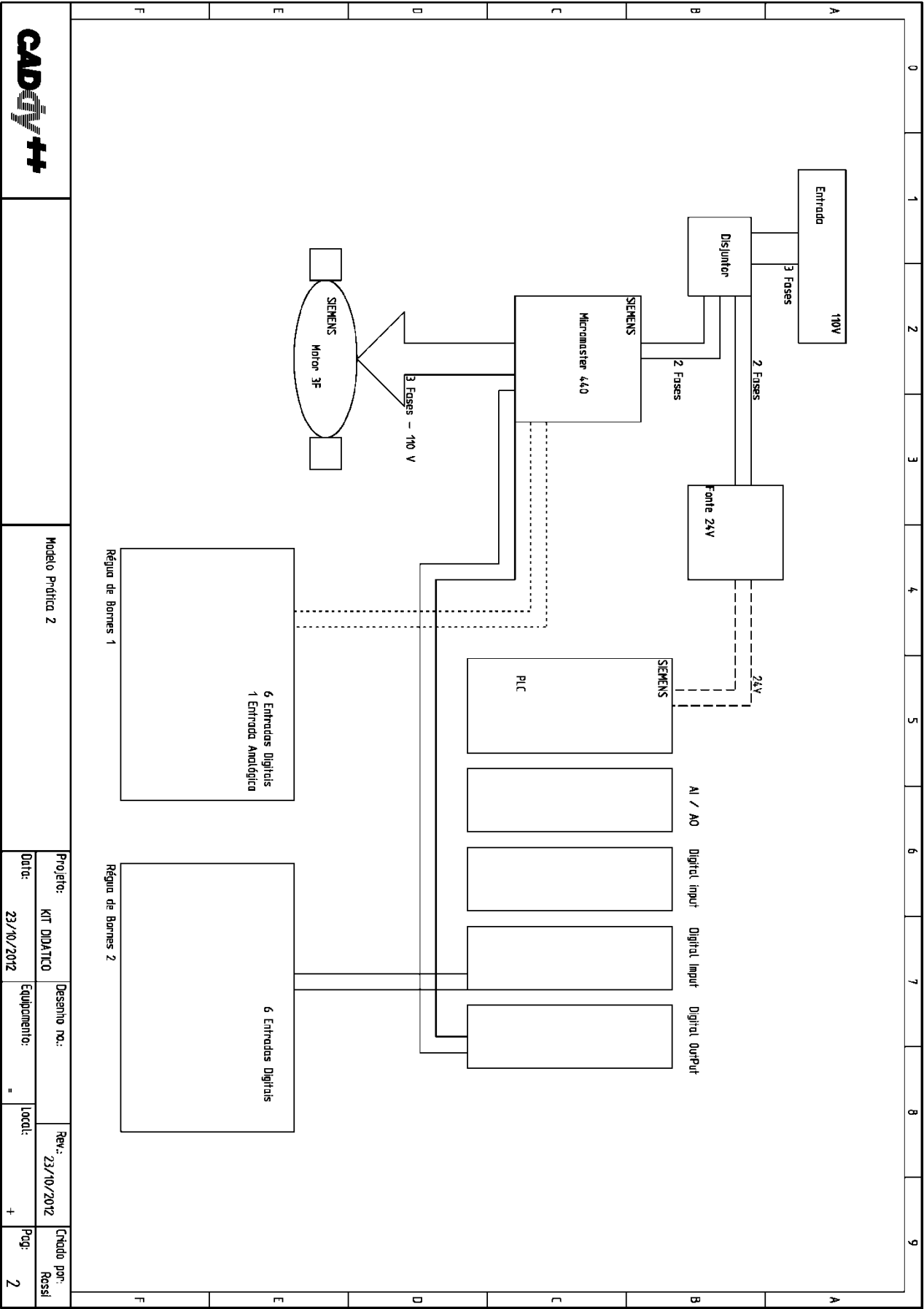
Modelo Prática 1

Projeto: KIT DIDATCO
Data: 19/09/2012

Desenho no.:
Equipamento: =

Rev.: 19/09/2012
Local: +

Chado por: Rossi
Pag: 1



Lista de documentos

[illegible]

