TESE
789

DERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

EFEI

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ANÁLISE DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS ATRAVÉS DE MICROCOMPUTADOR

RICARDO SEBASTIÃO NADUR MOTTA

TRABALHO DE DISSERTAÇÃO APRESENTADO Á COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

ORIENTADOR: João Roberto Cogo

Itajubá, Fevereiro de 1995

CLASS. 621.313.333:681.322(043.2)

AUTOR. M921a

TOMBO. 789

EFEI / BIBLIOTECA

ESTE LIVRO DEVE SER DEVOLVIDO NA ÚLTIMA DATA CARIMBADA.

23-8-96		
09.9.96		
13.9.2000		
20/09/00		
22/09/00		
09.11.00		
17.11.00		
25/11/00		
15/01/04		

AOS MEUS PAIS
SÍLVIO E MAGALI

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que colaboraram para a execução deste trabalho em especial:

Aos senhores Ronaldo Ivo e Ronny Francis Ribeiro pela ajuda na confecção da dissertação.

Aos engenheiros Hermes R. P. M. Oliveira e Robson do Prado pelo auxílio em dúvidas e consultas sobre o tema da dissertação.

Aos acadêmicos Eduardo P. Castro e Paulo A. Soares pelo programa desenvolvido em conjunto.

Ao Sr. Dr. Jocélio S. Sá pelas informações e caminhos prestados durante a execução da tese.

Este esforço desprendido não só por mim mas por toda a equipe, não seria possível sem a orientação do Professor Dr. João Roberto Cogo que esteve sempre presente não só como orientador mas também como pai.

Finalmente agradeço a Deus, o criador de todas as coisas.

SUMÁRIO

Capa I
Dedicatória II
Agradecimentos III
Sumário IV
Resumo IX
Abstract X

Capítulo 1 - Análise de motores de indução trifásicos através de microcomputador
1.1 - Introdução 1
1.2 - Objetivos da dissertação 3
1.3 - Características do equipamento desenvolvido 4
1.4 - Módulos do equipamento desenvolvido 5

Capítulo 2 - Proteções convencionais para motores de indução trifásicos
2.1 - Introdução 7
2.2 - Considerações sobre o grau das proteções de motores 8
2.3 - Proteções para motores de baixa tensão 12
2.3.1 - Fusíveis 12
2.3.2 - Disjuntor 13
2.3.3 - Relés térmicos bimetálicos 14
2.3.3.1 - Relé térmico operando em regime contínuo 15
2.3.3.2 - Relé térmico operando em regime intermitente 15
2.4 - Considerações sobre motores de indução para ajuste das proteções 15
2.4.1 - Corrente transitória de magnetização 16
2.4.2 - Fator de assimetria de curto-circuito 17
2.4.3 - Critérios de tempo para ajustes de relés em motores de indução 17
2.5 - Proteções para motores de média tensão ($U_n > 1$ [kV]) 18
2.5.1 - Proteção de motor tipo Randa - ABB - [37] 18
2.5.2 - PM - INEPAR - [47] 19
2.5.3 - SPEM 010 - ABB - [38] 20
2.5.4 - PMS 3000 - Schlumberger - [50] 20
2.6 - Proteções convencionais para motores de indução trifásicos 21
2.6.1 - Proteção contra subcorrente 21
2.6.2 - Sobrecorrente instantânea de fase 22
2.6.3 - Sobrecorrente temporizada 24
2.6.4 - Proteção contra sobrecorrente de neutro 26

2.6.5 - Proteção contra sobrecarga térmica 27
2.6.6 - Proteção contra fases desbalanceadas 28
2.6.6.1 - RANDA - ABB - [37] 29
2.6.6.2 - PM - INEPAR - [47] 30
2.6.6.3 - SPAM150C - ABB - [38] 30
2.6.6.4 - SPEM010 - ABB[39] 30
2.6.6.5 - PMS3000 - Schlumberger - [50] 30
2.6.7 - Proteção contra subtensão 31
2.6.8 - Proteção contra sobretensão 31
2.6.9 - Proteção contra tempo de partida longa 32
2.6.10 - Proteção contra rotor bloqueado 32
2.6.10.1 - Tipo RANDA - ABB [37] 33
2.6.11 - Proteção contra partidas seqüenciais 33
2.6.12 - Religamento automático 34
2.7 - Proteções especiais aplicadas em motores de média tensão e grande porte 35
2.7.1 - Detectores térmicos 35
2.7.2 - Sensores de vibração para proteção contra vibrações excessivas 36
2.7.3 - Proteção contra superaquecimento dos mancais 36
2.7.4 - Tacômetros 36
2.8 - Solução alternativa para análise, proteção e comando de motores de indução trifásicos de média tensão 36

Capítulo 3 - O equipamento desenvolvido
3.1 - Introdução 38
3.2 - Configuração do programa 41
3.2.1 - Considerações gerais 41
3.2.2 - Tela gráfica 41
3.2.3 - Funções complementares do equipamento 42
3.2.4 - Parâmetros do equipamento 42
3.2.5 - Função de mensagens padrão 46
3.3 - Calibração dos circuitos 50
3.3.1 - Função origem da supervisão 51
3.3.2 - Função aquisição local 52
3.3.3 - Função da aquisição remota 53
3.3.4 - Canais utilizados nos elos de fibras ópticas 53
3.3.5 - Busca da melhor taxa de recepção 54
3.3.6 - Parâmetros da forma de aquisição 61
3.4 - Calibrações das medidas e transformadores de medidas 62
3.4.1 - Função de calibração das medidas 62
3.4.2 - Formas de calibração do equipamento 63

3.4.3 - Relações dos TP's 64
3.4.4 - Função das relações dos TC's 64
3.5 - Dados do motor 65
3.5.1 - Dados do motor 65
3.6 - Proteções e relés auxiliares 66
3.6.1 - Função de calibração das proteções 66
3.6.2 - Calibração das funções dos relés auxiliares 68
3.7 - Tela de aquisições 70
3.8 - Comportamento térmico do motor de indução trifásico[1] 70
3.8.1 - Elevação da temperatura no enrolamento do rotor 71
3.8.2 - Conseqüências do aquecimento dos motores 72
3.8.3 - Classe de isolamento e limites de temperatura 73
3.8.4 - Perdas em motores de indução trifásicos 74
3.8.5 - Considerações sobre a corrente de tempo de aquecimento e resfriamento 77
3.8.6 - Cálculo da elevação da temperatura do enrolamento do estator [1] 79
3.9 - Efeito do carregamento do motor na temperatura 82
3.10 - Descrição das proteções e relés auxiliares do equipamento desenvolvido 83
3.10.1 - Proteção contra subtensão 85
3.10.2 - Proteção contra sobretensão 86
3.10.3 - Proteção contra sobrecorrente de fase a tempo curto 86
3.10.4 - Proteção contra sobrecorrente de neutro 87
3.10.5 - Proteção contra rotor bloqueado 88
3.10.6 - Proteção contra subcorrente a tempo curto 88
3.10.7 - proteção contra desequilíbrio de corrente 88
3.10.8 - Proteção contar subvelocidade 90
3.10.9 - Proteção contra sobrevelocidade 90
3.10.10 - Proteção contra elevação da temperatura admissível 90
3.11 - Relés auxiliares 90
3.11.1 - Relé para partida programada 91
3.11.2 - Relé para parada programada 91
3.11.3 - Relé contra partida longa 91
3.11.4 - Relé contra partidas seqüenciais 92
3.11.5 - Relé de religamento por tempo 92
3.11.6 - Relé de religamento por temperatura 93
3.11.7 - Relé anunciador 93
3.12 - Funções temporizadas 94

3.12.1 - Proteção contra sobrecorrente temporizada característica tempo definido 94
3.12.2 - Proteção contra sobrecorrente temporizada característica tempo inverso 95
3.12.3 - Proteção contra sobrecorrente temporizada com característica de tempo extremamente inverso 97
3.12.4 - Proteção contra sobrecarga térmica 98
3.12.5 - Curva resultante das proteções temporizadas 100
3.12.6 - Matriz de dados gerada pela tela gráfica resultante das proteções associadas 104
3.12.7 - Verificação dos relés temporizados 105
3.13 - Auto-diagnóstico dos relés de acionamento local e remoto 106
3.14 - Monitoramento em cascata dos estados dos módulos eletrônicos 106

Capítulo 4 - Os circuitos do equipamento desenvolvido
4.1 - Introdução 109
4.2 - Controle e aquisição de dados 110
4.3 - Módulo conversor de sinais (MCS) 112
4.3.1 - Descrição e características 112
4.3.2 - Conversores de tensão, corrente e defasagem 113
4.3.3 - Conversores das tensões alternadas em tensão corrente contínua 116
4.3.4 - Conversor de corrente senoidal a 60 [Hz] em tensão contínua equivalente 116
4.3.5 - Circuitos conversores de defasagens angulares para tensões contínuas equivalentes 117
4.3.6 - Tacômetro 117
4.3.7 - Fonte de alimentação auxiliar do MCS 119
4.3.8 - Monitoramento da fonte auxiliar 119
4.4 - Módulo transmissor de sinais (MTX) 120
4.4.1 - Descrição e diagrama em blocos 120
4.4.2 - Circuito de recepção do acionamento remoto 121
4.4.3 - Circuito multiplexador dos sinais analógicos 121
4.4.4 - Técnica de modulação e demodulação em freqüência 123
4.4.5 - Circuito modulador de freqüência 124
4.4.6 - Fonte de alimentação do MTX 125
4.5 - Módulo de recepção de sinais (MRX) 126
4.5.1 - Descrição e diagrama em blocos 126
4.5.2 - Circuitos de conformação do sinal demodulado multiplexado 127

4.5.3 - Circuito transmissor do acionamento remoto 128
4.6 - Módulo adaptador (MAD) 128
4.6.1 - Descrição e diagramas em blocos 128
4.6.2 - O circuito de acionamento local 128
4. 7 - Placa de aquisição de dados (PCL-812 PG) 129
4.7.1 - Descrição e funcionamento para o equipamento 129
4.7.2 - Conexão da placa de aquisições de dados no microcomputador 133
4.8 - Sinais e conexões gerais através dos módulos do equipamento 134

Capítulo 5 - Conclusões e resultados do equipamento
5.1 - Conclusões sobre o desempenho do equipamento 135
5.2 - Dificuldades encontradas no projeto durante o desenvolvimento do equipamento 136
5.3 - Resultados obtidos envolvendo faltas e atuação das proteções 137
5.4 - Montagem do sistema em análise em conjunto com o equipamento para ensaios de faltas 137
5.5 - Resultados e testes com o equipamento 138
5.6 - Futuras expansões e opções para o equipamento 138
5.6.1 - Relé lógico programável (RLP) 139
5.6.2 - Relé de falha do contator 140
5.6.3 - Sensores extras no MIT 140
5.6.4 - Mudança automática das derivações dos transformadores de corrente ou potencial 142
5.6.5 - Diagnóstico interno de todas as fontes auxiliares dos módulos 143
5.6.6 - Subtensão e sobretensão a tempo inverso e definido ..144
5.6.7 - Leitura de dados de mais de um motor 145
5.6.8 - Análise espectral das grandezas do motor 145
Bibliografia 146
ANEXO 1 151
ANEXO 2 175
ANEXO 3 201

RESUMO

Esta dissertação tem por objetivo descrever o desenvolvimento de um equipamento para monitoramento em tempo real de um motor de indução trifásico permitindo a sua análise e proteção. Para tanto foi montado um protótipo na Escola Federal de Engenharia de Itajubá envolvendo as partes de circuitos "hardware" e de programa "software" gerenciador, efetuando-se um trabalho conjunto com pesquisas financiadas pelo SECOP/RHAE: "Transmissão de Dados por Meio de Elos de Fibras Ópticas" e pelo PADCT/CNPq: "Desenvolvimento de Equipamento Inteligente para Supervisão, Proteção e Medição de Motores".

O equipamento foi desenvolvido para o monitoramento típico de um sistema elétrico industrial com um motor de indução trifásico o qual a partir da aquisição de dados relativas às grandezas características de tensão, corrente, defasagem elétrica e rotação, efetua a análise dos parâmetros monitorados e outros derivados das grandezas medidas, emitindo-se mensagens e alarmes que possibilitam a avaliação do comportamento e das condições de funcionamento do motor no sistema elétrico em condições normais e anormais de operação. O sistema foi desenvolvido modularmente procurando-se uma isolação eletromagnética entre as partes de aquisição de dados (potência) e processamento (microcomputador), através de elos de fibras ópticas. Assim obteve-se um equipamento com alta versatilidade que oferece diversas opções de medição, comandos e proteções para motores de indução trifásicos de média tensão.

As aplicações experimentais de análise foram realizadas em laboratório e exposições técnicas. Os resultados obtidos mostram que o equipamento pode ser utilizado na análise do funcionamento de motores de indução trifásicos de média tensão permitindo intervenções no acionamento dos mesmo quando necessário aumentando assim a sua operacionalidade e segurança.

ABSTRACT

This dissertation has the objective of describing the development for a real time monitoring of a three-phase induction motor which allows to analyse and to protect it. For that it was assembled a prototype in the Federal Itajubá Engineering School involving hardware and software from a work together researches financed by SECOP/RHAE: "Data transmition by means of Optical Fiber Links" and PADCT/CNPq: "Development of an Inteligent Equipament for Supervision, Measurement and Protection for Three-Phase Induction Motor by Means of Optical Fiber Links Using Microcomputer".

The equipment was developed for the monitoring of a typical industrial electrical system with a three-phase inductor motor and its data gathering parameters such as voltage, current, difference in phase and rotation. It analyses the monitored parameters and others derived from themselves, showing messages and alarms which allow to evaluate motor work's conditions and behavior in the electrical system in normal and anormal conditions. The system was developed modulately seaching to take advantage of the eletromagnetism isolation of the optical fiber links between data gathering and microcomputer. Therefore, it presents itself as a modulated equipment with high versatility configurable hardware and offering several measurements, commands, and protections for medium voltage three-phase inductor motors.

The experimental analyse applications were carried out in laboratory and workshops. The obtained results show that equipament can be used in analysis of medium voltage inductor motors, allow command intervention by the user or even when it has to, and increases its operational availability and security.

CAPÍTULO 1

ANÁLISE DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS ATRAVÉS DE MICROCOMPUTADOR

RESUMO

Este capítulo expõe os objetivos do trabalho e procura apresentar as vantagens de um sistema de aquisição de dados e proteção de motores de indução trifásicos utilizando-se elos de fibras ópticas, além de efetuar verificações e diagnóstico da falta.

1.1 - Introdução

As indústrias, de um modo geral, vem demonstrando grande interesse na avaliação detalhada do desempenho de seus motores de indução trifásicos. O crescimento e a complexidade dos sistemas de potência impõe cada vez mais a necessidade de se utilizar relés de altas velocidades e cada vez mais eficientes, visando limitar e segregar os defeitos de origem externa ou interna aos motores.

O crescente desenvolvimento dos microcomputadores IBM/PC® a partir do final da década de 80 tornou possível a sua utilização para o controle, aquisição de dados, proteção e verificação das condições (normais ou anormais) de operação de máquinas rotativas utilizando-se elos de fibras ópticas, os quais apresentam alta imunidade a ruídos e problemas de aterramento, sendo portanto ideal para a aplicação em indústrias.

Várias são as vantagens inerentes ao uso da proteção digital, e entre elas destacam-se a flexibilidade e a facilidade de uso. Nos últimos anos o custo das partes de "hardware" diminuiram, enquanto ocorreu simultaneamente o aumento das suas confiabilidades. Diversas publicações([4],[5]) indicam as vantagens de se usar microcomputadores para a proteção e análise de sistemas elétricos de potência principalmente junto aos elementos que apresentam a maior ocorrência de defeitos. Os motores representam no mínimo 60% destes problemas segundo [8].

IBM/PC® é marca registrada da Internacional Bussiness Machine;

Os motores de indução trifásicos, em virtude de representarem a principal força motriz das indústrias, necessitam de desenvolvimentos tecnológicos que visem tornar a sua operação mais confiável e segura. A tendência mundial em face dos custos da energia elétrica, aquisição e manutenção dessas máquinas, exige mecanismos de análise e proteção adequados principalmente para motores de média tensão (superiores a 1[kV]) onde o custo do equipamento de proteção e análise se justifica.

Os relés eletromecânicos convencionais para motores de indução trifásicos sofrem desgastes, seus ajustes são alterados com o tempo, e há necessidade de um sistema para intertravamento e sinalização. A cada nova função de proteção é necessário um novo relé eletromecânico. Além disto, deve-se efetuar calibrações periódicas com o uso de equipamentos próprios a tais finalidades, com os relés fora dos painéis onde normalmente ficam instalados.

Com a evolução dos semicondutores passou-se a utilizar o relé estático baseado em blocos análogicos e digitais que desempenham a função de vários relés eletromecânicos convencionais, porém apresentando ainda um conjunto de ajustes não flexível. Conforme a necessidade e variedade das proteções exigidas em função da importância do motor a ser protegido, há a necessidade de dois ou mais relés estáticos para compor o conjunto de ajustes e proteções adequados. Pelo fato de serem construídos com semicondutores, os relés estáticos possuem baixa imunidade a ruído e transitórios com origem nos sistemas elétricos. A precisão também é afetada em sistemas eletrônicos que utilizam o plano de referência de terra os quais ficam sujeitos a perturbações devido às cargas estáticas acumuladas ou sobretensões transitórias resultantes de faltas à terra, descargas atmosféricas ou chaveamentos de cargas [7].

Para conciliar as vantagens relativas às imunidades a ruídos e a transitórios eletromagnéticos dos relés eletromecânicos com a precisão e funcionalidade dos relés estáticos, desenvolveu-se um sistema para efetuar a proteção e controle do motor, além de verificar o seu desempenho a cada instante usando-se elos de fibras ópticas para a recepção e transmissão de sinais a serem analisados por um microcomputador padrão IBM/PC®.

Com o equipamento eletrônico acoplado luminosamente ao equipamento elétrico em analise, o problema de terra flutuante praticamente desaparece devido a diferença de potencial entre o terra do equipamento e o aterramento do sistema elétrico industrial. Outra vantagem do isolamento óptico, é que o escoamento de correntes de faltas e descargas atmosféricas além de não afetarem o equipamento, garantem principalmente a segurança do usuário.

Com os terras eletricamente isolados, o equipamento eletrônico dispõe de um plano de referência estável, o que é de fundamental ao seu bom desempenho e precisão, enquanto que o aterramento do sistema elétrico é usado para escoamento de grandes correntes de falta ou descargas atmosféricas.

Dentro deste contexto efetuou-se um sistema de comunicação através de elos de fibras ópticas que transmite os sinais de tensão, corrente, ângulo de fase, e velocidade do motor de modo que possibilite um amplo conjunto de proteções e autodiagnóstico. O equipamento possui ainda, proteções especiais contra mal dimensionamentos e situações adversas perfazendo diversas proteções tradicionais encontradas na prática em relés estáticos com seleção da curva de tempo associada às diversas proteções de sobrecorrente e sobrecarga térmica. A escolha da constante de aquecimento do relé de sobrecarga térmica pode ser ajustada para ser menor que a constante de aquecimento do motor fornecida através de uma tabela típica de um fabricante disponível, internamente, no programa. O programa cria uma família de dez curvas selecionáveis pelo usuário para a calibração das proteções contra sobrecarga térmica e sobrecorrente temporizada. Automaticamente, apresenta a curva resultante da associação destas proteções.

A metodologia elaborada permite substituir as tradicionais proteções eletromecânicas ou estáticas utilizadas em motores de indução trifásicos bem como gerenciar a operação do mesmo à distância com alta confiabilidade e precisão devido o auxílio de um microcomputador. O equipamento foi construído utilizando-se componentes ([25], [26] e [34]) facilmente encontrados no mercado e de baixo custo, com bom desempenho e segurança.

O equipamento efetua ainda a estimativa da temperatura de operação do motor a partir de seus dados de placa, catálogo e corrente de operação de modo a proporcionar uma proteção térmica inteligente, prolongando a vida útil do motor e adequando o mesmo à carga de modo a evitar o seu sobredimensionamento. Um dos resultados mais importantes obtidos é o tempo máximo que o motor poderá ficar ligado com a corrente de partida sem que sua temperatura estimada ultrapasse o limite admissível evitando queima ou redução de sua vida útil.

1.2 - Objetivos da dissertação

A partir dos resultados obtido nas pesquisas "Desenvolvimento de Equipamento Inteligente para Supervisão, Proteção e Medição de Motores de Indução - SPM - ME" [1] e "Sistemas de Transmissão de Dados por Meio de Elos de Fibra Óptica" [2] desenvolveu-se, para esta dissertação de mestrado, um sistema com os seguintes objetivos:

Escola Federal de Engenharia de Itajubá
Biblioteca
MAUÁ
BEM

A - Efetua as proteções convencionais e especiais para motores com ampla faixa de ajuste e tempo de operação associado à diversas proteções, temporizadas ou não;

B - Monitora a corrente, potência e temperatura estimada em função do tempo;

C - Determina o estado atual do motor e do próprio equipamento no que tange às proteções, medições, calibrações dos circuitos, velocidade, estados dos módulos (ligado/desligado), autodiagnóstico, etc.;

D - Gera os parâmetros e valores a partir dos dados da placa do MIT fornecendo ainda os dados necessários para o cálculo da temperatura estimada e ajustes das proteções especiais;

E - Gera funções e facilidades para autocalibração (Polinomial) e calibração com instrumento externo de precisão do usuário (Linear);

F - Efetua a supervisão remota dos dados aquisitados do motor de indução trifásico através dos elos de fibras ópticas proporcionando isolação elétrica entre o sistema de potência e o equipamento de medição e controle.

1.3 - Características do equipamento desenvolvido

As principais características do equipamento desenvolvido são:

A - Apresentar o tempo de operação máximo instantâneo estimado pelo próprio equipamento para atuação das proteções;

B - Apresentar um autodiagnóstico da energização dos circuitos eletrônicos e relés para o acionamento do dispositivo de comando (Disjuntor ou Contator) e monitoramento do estado dos módulos de aquisição e controle;

C - Fornecimento de mensagens para o usuário sobre os eventos, faltas com respectivo horário e o diagnóstico interno dos circuitos e do quadro de comando do motor;

D - Efetuar o controle liga/desliga do motor à distância via elos de fibras ópticas;

E - Deixar disponível uma placa de aquisição de dados configurável pelo usuário através de programa (software).

1.4 - Módulos do equipamento desenvolvido

Os sinais de interesse para a proteção e análise do motor de indução trifásico são multiplexados e demodulados utilizando-se a multiplexagem por divisão de tempo (TDM) e modulação em freqüência (FM). Na recepção os sinais são digitalizados e lidos pelo programa existente no microcomputador.

A sua composição baseia-se nos módulos conversor (MCS), transmissor (MTX), receptor (MRX) e adaptador (MAD). Todos tratam os sinais aquisitados do motor, tais como: tensão, corrente e fator de potência por fase, além da velocidade no eixo. Alguns sinais adicionais para comando, monitoramento e autodiagnóstico do equipamento também são coletados.

Em linhas gerais, a função básica do módulo conversor de sinais (MCS) é fornecer um sinal de tensão proporcional a cada um dos valores reais das tensões e correntes de alimentação do motor bem como a defasagem entre eles para as três fases, velocidade do motor, além de um sinal de estado para indicar o seu funcionamento.

O módulo transmissor de sinais, (MTX), envia todos os sinais provenientes do módulo conversor de sinais (MCS), para o módulo receptor, (MRX), para que o gerenciamento e a análise de dados do motor possa ser efetuada. Ele também gera e transmite um sinal de sincronismo de importância fundamental para o funcionamento normal do sistema e um sinal de diagnóstico cuja finalidade é supervisionar se os elos de fibras ópticas e os circuitos em geral estão operando adequadamente.

No que se refere ao módulo receptor de sinais, (MRX), sua função principal é receber os dados transmitidos pela fibra óptica de aquisição, demodulando-os e fornecendo ao módulo adaptador o sinal multiplexado demodulado para que possa ser lido pela placa de aquisição de dados interna ao microcomputador.

O módulo adaptador de sinais, (MAD), é uma extensão dos terminais e conectores da placa de aquisição de dados PCL 812- PG [36], instalada dentro do gabinete do microcomputador[30].

O programa administra e desempenha as funções e características do equipamento, servindo como dispositivo de "interface" entre os dados, proteções e calibrações, e o usuário.

O módulo adaptador, (MAD), é ligado ao MRX caso a supervisão seja remota, fornecendo, através de sua saída digital um sinal para controle e proteção do MIT. Para a supervisão local o MCS é ligado diretamente ao MAD, porém perde-se a vantagem da isolação eletromagnética. O MAD também é responsável pelo acionamento local do MIT.

A figura 1.1 a seguir ilustra o equipamento onde a linha tracejada representa a fronteira entre os módulos e o microcomputador:

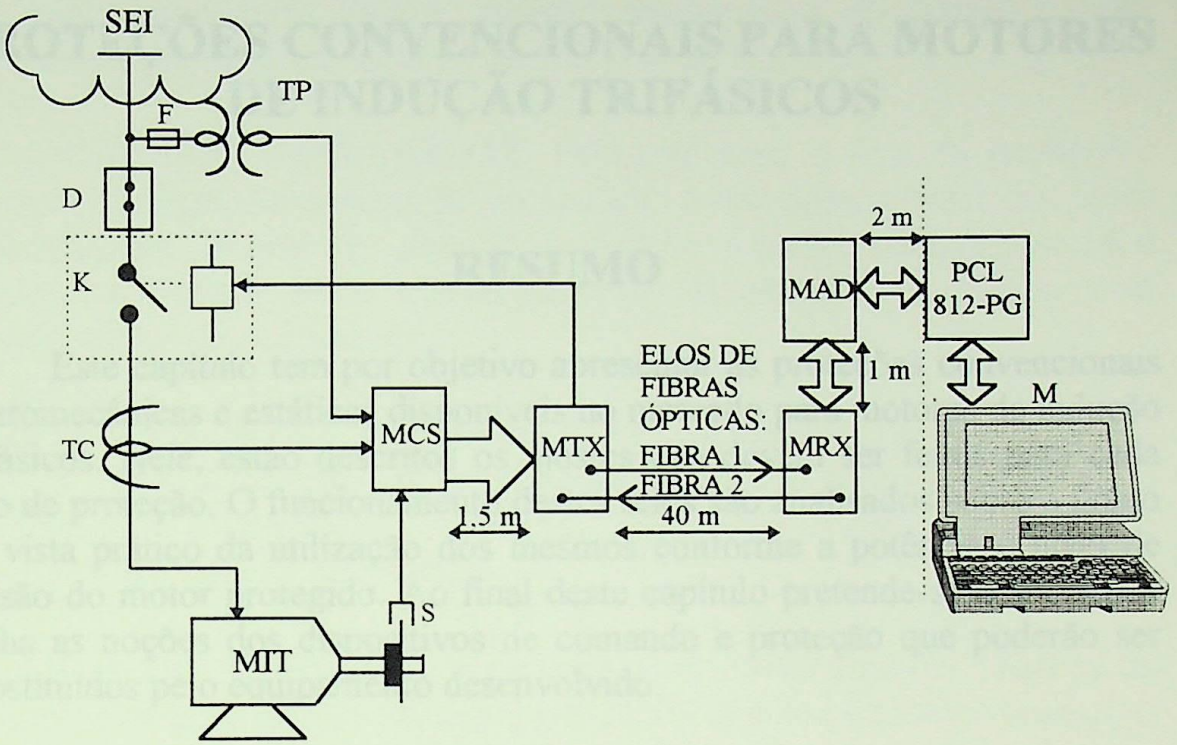


FIGURA 1.1 - Os módulos do equipamento interligados com o sistema elétrico e o motor a ser analisado, comandado e protegido;

Na figura 1.1 tem-se:
F = Fusíveis;
SEI = Sistema elétrico industrial;
D = Disjuntor.;
K = Contator trifásico;
TP = Transformadores de potencial;
TC = Transformadores de corrente;
MIT = Motor de indução trifásico;
S = Sensor de velocidade do motor;
MCS = Módulo conversor de sinais;
MTX = Módulo transmissor de sinais;
MRX = Módulo receptor de sinais;
Fibra 1 = Fibra de aquisição, monitoramento e diagnóstico;
Fibra 2 = Fibra de controle e proteção do motor;
MAD = Módulo adaptador de sinais;
PCL 812-PG = Placa de aquisição de dados;
M = Microcomputador padrão IBM/PC ®.

CAPÍTULO 2

PROTEÇÕES CONVENCIONAIS PARA MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

RESUMO

Este capítulo tem por objetivo apresentar as proteções convencionais eletromecânicas e estáticas disponíveis no mercado para motores de indução trifásicos. Nele, estão descritos os ajustes que devem ser feitos para cada tipo de proteção. O funcionamento destes relés são analisados sobre o ponto de vista prático da utilização dos mesmos conforme a potência e nível de tensão do motor protegido. Ao final deste capítulo pretende-se que o leitor tenha as noções dos dispositivos de comando e proteção que poderão ser substituídos pelo equipamento desenvolvido.

2.1 - Introdução

A maioria das perturbações tem causas e conseqüências inter-relacionadas, por exemplo, uma falta externa pode provocar sobretensão ou subtensão no motor. Da mesma forma, uma sobrecarga em um motor provoca uma corrente mais alta e portanto o aquecimento anormal da máquina. Assim, cada situação deve ser vista separadamente. Por outro lado, não serão feitas considerações quanto à coordenação e seletividade de proteções.

Quando escolhem-se as proteções e comandos a serem adotados para um motor de indução trifásico, devem-se levar em conta entre outros fatores a potência nominal, o nível da tensão da rede de alimentação, o método de partida, a necessidade da operação no processo industrial, a política de reposição da empresa e principalmente as considerações econômicas em relação ao custo das proteções.

Praticamente os itens a serem considerados na proteção de motores são:

- **CARACTERÍSTICAS DO MOTOR:** Neste item deve-se considerar para o motor em análise, a velocidade, o fator de serviço, a tensão, a corrente, a potência, a classe de isolação, a disposição dos enrolamentos e suas temperaturas limites, capacidades térmicas do estator e rotor durante a partida e em regime contínuo, etc...;

- **IMPORTÂNCIA DO MOTOR:** Para este item, o grau da proteção e respectivo custo, as formas de manutenção e operação, o valor das horas paradas que devem ser estimados afim de proteger adequadamente a máquina visando evitar que o processo industrial seja afetado com paralisações desnecessárias;

- **SISTEMA ELÉTRICO INDUSTRIAL:** Neste item deve-se levar em conta o tipo do sistema de aterramento, exposição a surtos de tensão e descargas atmosféricas, potência de curto-circuito, religamento automático, falta de fase, etc...;

- **CARGA DO MOTOR:** Esta característica influenciará nas chances de se ter rotor bloqueado, subvelocidade, sobrecarga, aquecimento excessivo durante a partida, sobrecorrente, etc...;

- **CONDIÇÕES DO AMBIENTE:** Para este item deve-se verificar as temperaturas máximas e mínimas, altitude, fonte de calor adjacentes, umidade, disposição da ventilação, exposição a água, a produtos químicos, a enchentes e até a pequenos animais;

- **CONDIÇÕES DE PARTIDA DO MOTOR:** Para este item, a queda de tensão, intensidade da corrente durante a partida, a freqüência e número total de partidas por hora e outros fatores devem ser considerados.

2.2 - Considerações sobre o grau das proteções de motores

Todos os motores normalmente dispõem de uma proteção primária e um elemento principal para seu comando. A proteção mais simples de um motor é feita com fusíveis e o comando, por exemplo, através de uma chave tripolar tipo faca. A figura 2.1 ilustra esta situação. Note que os fusíveis são geralmente instalados depois da chave seccionadora para facilidade de manutenção e troca.

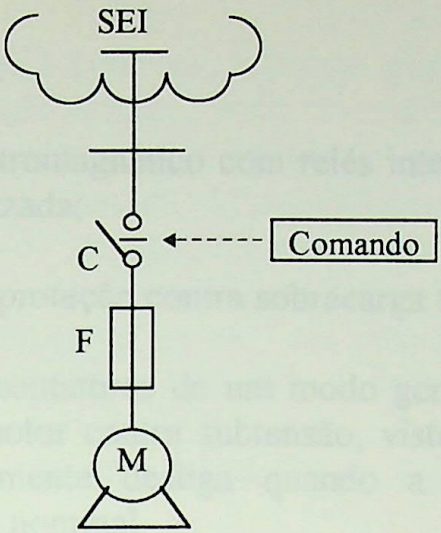


Figura 2.1 - Diagrama unifilar de comando e proteção para um motor, usando chave e fusível;

Onde, na figura 2.1 tem-se:
M = Motor de indução trifásico;
F = Fusíveis;
C = Chave tripolar;
SEI = Sistema elétrico industrial.

A configuração apresentada na figura 2.1 deve ser adotada apenas para motores com a potência nominal inferior a 1 [HP] e onde a sua importância não justifica uma proteção e comando mais elaborados.

A medida que o nível de tensão e potência nominal do motor aumenta, a proteção e o comando tornam-se mais sofisticados e robustos tal como ilustrado na figura 2.2:

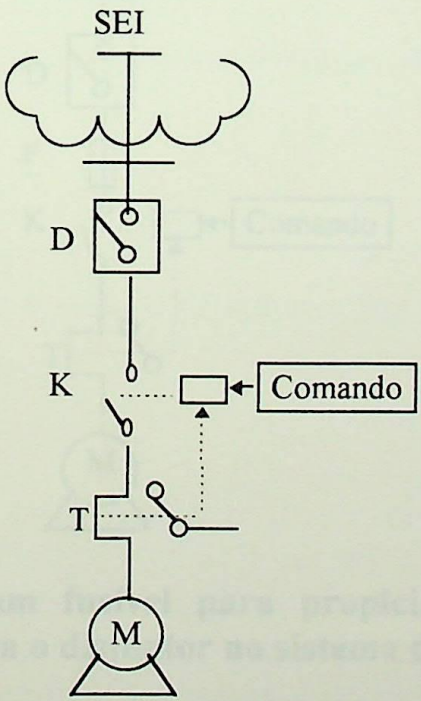


Figura 2.2 - Diagrama unifilar da proteção primária e comando para motores de baixa tensão até 75 [HP];

Onde na figura 2.2 tem-se:

D = Disjuntor tripolar eletromagnético com relés internos de sobrecorrente instantânea e temporizada;
K = Contator trifásico;
T = Relé bimetálico para proteção contra sobrecarga térmica.

Destaca-se que os contatores de um modo geral já apresentam uma proteção natural para o motor contra subtensão, visto que a bobina que o mantém fechado normalmente desliga quando a rede atinge valores inferiores a 85% da tensão nominal.

Pode-se ainda inserir fusíveis em série tomando-se o cuidado de se escolher sua curva de atuação de tempo inverso ligeiramente superior a corrente de operação instantânea do disjuntor visando propiciar uma proteção de retaguarda ou reserva evitando-se os eventuais danos oriundos de sobrecorrente e de falha do disjuntor. O fusível também protege o contator e o relé bimetálico contra correntes que superem sua capacidade de interrupção. A figura 2.3 ilustra esta situação.

Um exemplo deste diagrama de comando e proteção é efetuado pelas chaves de partida direta [52] usada em motores com potência nominal até 20 [CV]

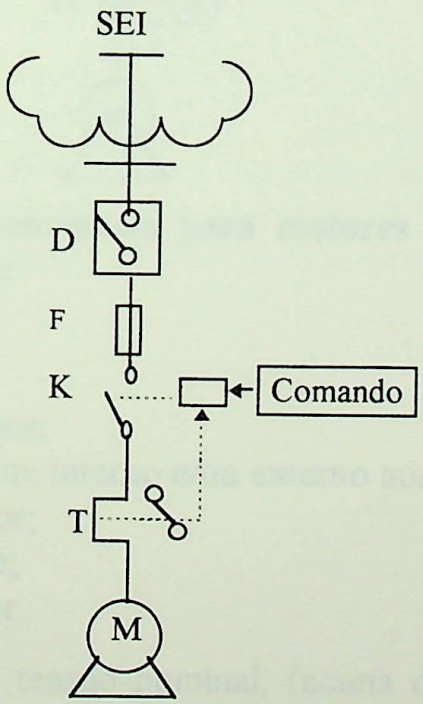


Figura 2.3 - Colocação de um fusível para propiciar proteção de retaguarda para o disjuntor no sistema da figura 2.2;

Para motores de baixa tensão e potências nominais entre 75 [HP] a 250 [HP], além da proteção primária e do comando da figura 2.3 deve-se utilizar relés secundários, onde, neste caso, são encontradas as mais diversas filosofias de detecção. As funções desempenhadas por estas proteções devem conciliar o preço de implantação das mesmas quando comparado com o custo do motor. Deve-se observar também a probabilidade e os danos que uma determinada falta pode causar. Na prática, encontram-se relés estáticos com diversas funções de proteção incorporadas justamente para atender este grupo de motores de baixa tensão. Estes relés atuam apenas com base nas informações de correntes do motor. A figura 2.4 ilustra isto:

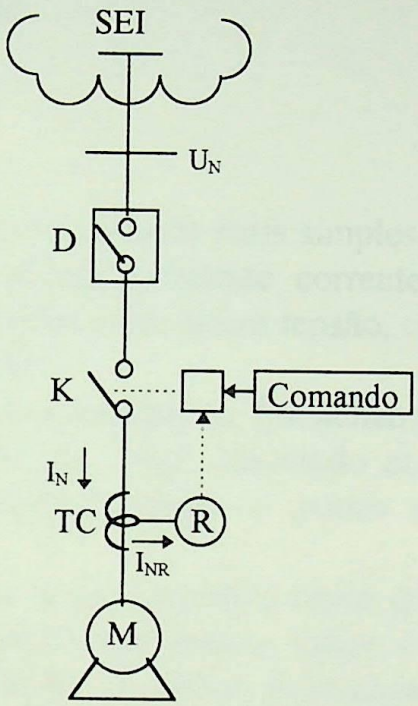


Figura 2.4 - Proteções convencionais para motores de baixa tensão e média potência;

Onde na figura 2.4 tem-se:

R = Relés estáticos de proteções;
TC = Transformador de corrente interno e/ou externo aos relés;
I_N = Corrente nominal do motor;
I_{NR} = Corrente nominal no relé;
U_N = Tensão nominal do motor.

Para motores de média tensão nominal, (acima de 1 [kV]) pode-se implantar um equipamento sofisticado para proteção e análise além da proteção primária, sendo este um dos objetivos da dissertação. No final deste capítulo será exposto o equipamento desenvolvido para efetuar a análise e as proteções aqui apresentadas e outras especiais para motores de indução trifásicos.

Escola Federal de Engenharia de Itajubá
Biblioteca
MAUÁ
BIM

2.3 - Proteções para motores de baixa tensão

As tensões trifásicas mais usadas nos sistemas elétricos industriais de baixa tensão são: 220, 380, 440, 660 e 760 [V]. Geralmente motores com tensões nominais de 220 e 380 [V] atingem potências nominais de até no máximo 250 [CV]. Para motores maiores que 300 [CV] normalmente, as tensões nominais mais indicadas são 440, 660 e 760 [V].

Os dispositivos de proteção básicos para estes níveis são conhecidos como proteção primária. Os mais usuais são os relés térmicos, de sobrecorrente a tempo inverso, os dispositivos eletromagnéticos dos disjuntores a seco e os fusíveis.

2.3.1 - Fusíveis

A utilização de fusíveis é a maneira mais simples, rápida e barata que se dispõe para interromper automaticamente correntes de curto-circuito, principalmente em sistemas elétricos em baixa tensão, ou seja, motores com tensão nominal menor que 1 [kV].

O princípio básico de funcionamento fundamenta-se no efeito Joule (conversão de energia elétrica em calor) associado ao efeito da fusão do condutor quando sua temperatura atinge o ponto de fusão do metal empregado.

A figura 2.6 mostra a curva característica típica de fusão tempo versus corrente de um fusível, indicando que quanto maior a corrente de defeito menor será o tempo de atuação. A curva normalmente não é precisa, apresenta valores mais corretos para as correntes mais elevadas normalmente acima de cinco vezes a corrente nominal ($> 5.I_N$).

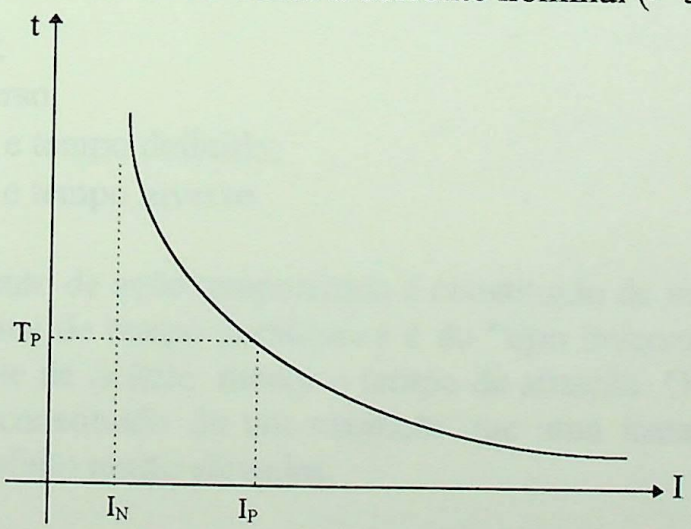


Figura 2.5 - Curva de atuação de um fusível;

Onde na figura 2.5 tem-se:

I_N = corrente nominal do motor;
I_P = corrente de partida do motor;
T_P = tempo de partida;

De um modo geral, os fusíveis não são recomendados para proteção contra sobrecarga, pois não apresentam a precisão exigida para atuação deste tipo de defeito. A falta de precisão resulta da influência da temperatura do meio ambiente e linearidade do elo utilizado. O mesmo não acontece para correntes elevadas, já que o crescimento da temperatura do elo até o valor de fusão é tão rápido que a influência das condições ambientais é insignificante.

2.3.2 - Disjuntor

O disjuntor protege o motor contra curto-circuito (sobrecorrentes), oferecendo em conjunto um comando que pode ser local ou remoto.

O dispositivo de disparo do desligador pode ser um relé ou disparador eletromagnético de sobrecorrente do tipo instantâneo que promove a atuação direta do disjuntor ou do tipo temporizado que promove a atuação do disjuntor que ocorre após um certo tempo.

A maioria dos disjuntores possuem internamente dispositivos de sobrecorrente atuando automaticamente no seu mecanismo de abertura.

A temporização pode ser dependente ou independente da intensidade de corrente, apresentando curvas de tempo com diversas atuação características:

- Instantânea;
- Tempo inverso;
- Instantânea e tempo definido;
- Instantânea e tempo inverso.

O elemento de ação temporizada é constituído de um par bimetálico e sua característica de tempo geralmente é do "tipo inverso"; ou seja, quanto maior a corrente de defeito, menor o tempo de atuação. O elemento de ação instantânea é constituído de um magneto que atua instantaneamente para correntes de defeito muito elevadas.

2.3.3 - Relés térmicos bimetálicos

Relé térmico ou bimetálico é um dispositivo de proteção contra sobrecargas inadmissíveis que tem por função proteger o estator contra superaquecimento devido a:

- sobrecargas em regime normal de trabalho;
- fases abertas;
- rotor bloqueado.

A utilização de tal proteção é recomendável para todos os motores de serviço contínuo cuja potência seja superior a 1 [HP].

Relés térmicos bimetálicos usados para proteção de motores operam baseados no princípio de pares termoelétricos. Este princípio está fundamentado nas diferentes dilatações que apresentam os metais, quando submetidos a uma variação de temperatura. Duas ou mais lâminas de metais diferentes são conectadas e se curvam quando aquecidas pela corrente de sobrecarga alternando a posição de um contato que promove a abertura de um elemento principal (disjuntor ou contador).

As lâminas do relé bimetálico podem ser aquecidas de diversas formas:

- aquecimento direto;
- aquecimento indireto;
- aquecimento direto e indireto em série;
- aquecimento direto e indireto em paralelo;
- relé ligado através de transformador de corrente.

E no caso de relés térmicos secundários, ou seja, ligados ao circuito através de transformadores de corrente, existem dois tipos:

- transformadores de corrente que operam linearmente até aproximadamente 6 vezes a corrente nominal primária fornecendo uma curva de operação a tempo inverso;
- transformadores de corrente saturados, que para valores de corrente pouco maiores que o nominal já não apresentam relação de transformação linear fazendo com que o relé bimetálico apresente tempo de atuação com característica de tempo definido.

Geralmente os relés térmicos disponíveis no mercado contém dispositivo para compensação de temperatura, ou seja, o aquecimento das lâminas não devem a princípio sofrer influência da temperatura ambiente. Para especificação do relé térmico é muito importante levar-se em consideração o tipo de operação. Um exemplo deste relé é a referência [53].

2.3.3.1 - Relé térmico operando em regime contínuo

Neste caso, a especificação do relé térmico é feita de forma mais simples. As seguintes grandezas devem ser observadas:

- Faixa de ajuste: deve conter a corrente nominal do motor, que normalmente será a corrente de ajuste;
- Máximo fusível admissível: é o maior fusível que garante a proteção do relé contra os efeitos térmicos e mecânicos da corrente de curto-circuito;
- Corrente de ajuste: para a operação contínua é a própria corrente nominal do motor;
- Condições de partida do motor: durante a partida do motor não deve ocorrer atuação do relé térmico. Desta forma, definida a corrente de ajuste do relé térmico, verifica-se qual o tempo de atuação para corrente de partida. Este tempo deve ser superior ao tempo de partida.

2.3.3.2 - Relé térmico operando em regime intermitente

O critério para escolha do relé vai depender da freqüência intermitência ou ciclo de serviço do motor.

Para completa segurança, os motores trifásicos devem possuir um elemento de sobrecarga para cada fase. Para os demais motores (monofásicos ou bifásicos), deve-se instalar um dispositivo de sobrecarga para cada condutor não aterrado.

Os motores de grande porte (com potência superior a 1500 [HP]) possuem, em geral, dispositivos detectores de temperatura instalados no estator. Nesse caso, tais dispositivos são suficientes e substituem plenamente os dispositivos de sobrecarga instalados nos terminais do motor.

Para motores de serviço essencial, a prática adotada é fazer com que os dispositivos de sobrecarga não provoquem o desligamento automático do motor, mas que atuem somente em um sistema de alarme.

2.4 - Considerações sobre motores de indução para o ajuste das proteções

Com as proteções ajustadas, os relés devem assegurar aos motores:

- Minimizações aos danos dos enrolamentos, núcleos magnéticos e cabos de alimentação pela interrupção rápida das correntes de curto-circuito entre fases ou baixas correntes de fuga à terra;
- Destruição do motor por sobrecarga, desequilíbrio de tensão, abertura de fase e partida demorada;

- Vida longa aos enrolamentos, através de uma supervisão constante e precisa de fracas sobrecargas de longa duração, para as quais o ajuste simples de relé térmico eletromecânico é impreciso;
- Partidas a quente, admitidas pelos fabricantes de motores, sem solicitação prolongada dos isolantes, por uma sobre elevação da curva de sobrecarga;
- Funcionamento prolongado de um motor quando o conjugado resistente desaparece, por exemplo quando da ruptura do acoplamento, desescorvamento de bomba centrífuga.

2.4.1 - Corrente transitória de magnetização

Quando o motor é energizado e seu rotor está parado, aparece uma alta corrente no estator. Esta corrente depende das condições magnéticas do núcleo do motor tais como a polaridade e a intensidade do fluxo residual como também do ponto do ciclo da tensão no instante que o motor é ligado.

O valor desta corrente de partida assimétrica pode ser considerado:

$$I_{PASS} = I_P \cdot F_{ASS} \qquad (2.1)$$

Onde na expressão (2.1) tem-se:

I_P = Corrente de partida simétrica do motor;
F_{ASS} = Fator de assimetria de interrupção obtido pela tabela 2.1.

Todos os fusíveis em série com motores devem prever a circulação desta corrente não devendo operar para uma corrente ligeiramente acima do valor obtido pela equação (2.1). Na prática adote-se uma margem de 10%, como ilustra a equação (2.2):

$$I_F = I_{50} = 1{,}1 \cdot I_{PASS} \qquad (2.2)$$

Onde na equação (2.2) tem-se:

I_F = Corrente nominal do fusível;
I_{50} = Corrente de operação da proteção de sobrecorrente para motores.

2.4.2 - Fator de assimetria de curto circuito

O fator de assimetria depende da relação X/R "vista" do ponto de falta.

Existem várias tabelas práticas [16] que auxiliam na obtenção da relação entre a reatância e a resistência de vários componentes de um sistema elétrico industrial tais como transformadores, geradores síncronos e motores de indução trifásicos, etc.

Porém, para a calibração de relés e estudos de seletividade a tabela 2.1 apresentada a seguir é suficiente:

Tensão do barramento em [kV]	Fator de assimetria
$U_N < 0,6$	1,4
$0,6 \leq U_N \leq 5,0$	1,5
$U_N > 5,0$	1,6

Tabela 2.1 - Fator de assimetria de curto-circuito [23];

2.4.3 - Critérios de tempo para ajustes de relés em motores de indução

Diversos tempos devem ser usados para ajuste de relés e estudo da seletividade. Neste trabalho destacam-se:

A - Tempo para critério de partida(T_{SK}): É o tempo máximo que o relé de sobrecarga pode utilizar uma constante de tempo térmica elevada de 25% enquanto a corrente for maior que $2I_{NR}$ durante a partida.

B - Tempo de partida(T_s): É o tempo máximo permitido para que a corrente do motor, durante a partida, seja maior que $2I_{NR}$ sem que o motor tenha acelerado até a velocidade de regime.

C - Tempo acumulado de partida(T_{ss}): É o tempo acumulado para cada tentativa de partida, sem que tenha alcançado a velocidade de regime. As tentativas de partida devem ser imediatamente subseqüentes umas das outras.

2.5 - Proteções para motores de média tensão (Un > 1 [kV])

As tensões nominais típicas da motores de indução para este grupo são: 2,4; 4,16; 6.6; 13,2 e 13,8 [kV]

Além da proteção primária explicada anteriormente, para proteger este grupo de motores que geralmente envolve potências nominais maiores que 250 [HP] existe a necessidade de relés secundários que atuem no elemento principal seja ele um contador ou disjuntor.

É comum o uso da proteção secundária composta de relés com as mais diversas proteções para motores com potência nominal superior a 75 [Hp]. Para este tipo de proteção existem basicamente os seguintes tipos selecionados entre os relés estudados ([37] a [52]):

- Proteção do motor tipo Randa [37];
- ABB Relays: type SPAM 150C [38];
- ABB Motor Protection Relays SPEM 010;
- PM - INEPAR - [47];
- PMS - 3000 - SCHLUMBERGER [50].

2.5.1 - Proteção de motor tipo Randa - ABB - [37]

Este tipo de relé tem por objetivo proporcionar proteção secundária para motores de indução trifásicos contra:

- Sobrecarga térmica;
- Sobrecorrente instântanea e temporizada;
- Falta á terra;
- Desequilíbrio de corrente entre fases;
- Partida longa;
- Partidas sucessivas;
- Rotor bloqueado durante a operação;

A constante de tempo (τ) da proteção contra sobrecarga pode ser ajustada escalonadamente para adequar-se a qualquer tipo de motor. Para máxima utilização da capacidade térmica do motor, as características de detecção da sobrecarga (τ) são alteradas na partida. Para tal existe uma lógica de controle que compensa a temperatura ambiente e aumenta a constante térmica do relé. Esta proteção impede novas partidas se a temperatura fictícia estiver acima de 40% da temperatura de operação, ou seja, possui uma relação de reselagem em aproximadamente 40%. A constante de resfriamento é igual a $4.\tau$ após o desligamento do motor.

Os ajustes típicos para esta proteção do relé são:

- As constantes térmicas características de tempo (τ) podem ser escolhidas entre 120; 60; 30; 15; 7,5; 3,75 [min], 112 e 56 [s];
- Tempo de critério de partida, T_{SK}, pode ser ajustável entre 10 e 100 [s];

2.5.2 - PM - INEPAR - [47]

Este relé de proteção de estado sólido, ou relé estático foi projetado e desenvolvido para competir no mercado com os relés eletromecânicos convencionais. Este relé possui características operacionais similares aos relés eletromecânicos convencionais de proteção, podendo ser usados para proteger motores normalmente controlados por contatores ou por disjuntores.

As proteções convencionais desempenhadas por este relé são:

- Sobrecarga térmica;
- Falta para terra;
- Desequilíbrio de correntes entre fases;
- Partida longa;
- Partidas sucessivas;
- Rotor bloqueado durante a operação;

Para o elemento de proteção de sobrecarga, a constante de tempo de aquecimento ou constante térmica pode ser selecionada entre 6,6 e 160 [min] com duas faixas variáveis continuamente, entre 6,6 e 40 [min] e 40 e 160 [min]. O valor mínimo de sobrecarga necessário para ocasionar a operação do relé é $1,05 \cdot I_{NR}$ para curva característica com tempo/corrente - V(F) =120%. A constante de aquecimento (K) pode ser de 6,6 a 40 [min] ou 40 a 160 [min] ajustável continuamente. Ela é usada na obtenção da constante de tempo de resfriamento: $Kc = K_C K$, onde, $K_C = 1, 2, 3, 4$ ou 5 é feito por ajuste interno. Os valores de ajuste do estágio de disparo são: V (F) = 120; 140; 160; 180; 200% da temperatura nominal do motor (seleção interna). O ajuste da constante de tempo de aquecimento K, deve ser inferior a constante de aquecimento do motor.

2.5.3 - SPEM 010 - ABB - [38]

Este relé tem por objetivo proteger motores de indução contra:

- Sobrecarga;
- Corrente de partida;
- Subcorrente;
- Desbalanceamento;
- Falta à terra.

Através de um microprocessador interno calcula continuamente a capacidade térmica disponível no motor, na partida, quando sobrecarregado. A constante de resfriamento é constante e igual a 4 vezes a constante de aquecimento.

2.5.4 - PMS 3000 - Schlumberger - [50]

Este relé tem por objetivo realizar as seguintes proteções para os motores:

- Sobrecarga térmica;
- Defeito entre fases;
- Falta à terra;
- Partida longa;
- Subcorrente;
- Desequilíbrio de correntes;

A curva limite da sobrecarga para determinado motor com constante térmica, T_A, é formada a partir dos tempos em que a temperatura do cobre do estator ultrapassa a temperatura limite definida pela sua classe de isolação em função dos múltiplos da corrente nominal do relé, responsáveis por estes aquecimentos.

Para permitir ultrapassagens de curta duração da temperatura limite da classe de isolação, para partida a frio, sem solicitação excessiva do isolante, a partir de $2I_{NR}$ a simulação eletrônica da curva não obedece a elevação de temperatura correspondente às perdas Joules do MIT.

2.6 - Proteções convencionais para motores de indução trifásicos

A seguir apresenta-se uma descrição das proteções para motores de indução trifásicos encontradas em relés (vide item 2.5) disponíveis no mercado com os respectivos ajustes e funcionamento geral.

2.6.1 - Proteção contra subcorrente

Esta proteção também é conhecida como proteção contra perda de carga ou marcha a vazio, função 37 segundo a norma ANSI [24].

Esta proteção atua no caso do desaparecimento do conjugado resistente da carga, representando anomalias no sistema. Isto é comum no caso de supervisão de bombas centrífugas com carga inconstante. A caracterização do defeito é a redução simultânea acentuada das três correntes de fase a um valor abaixo de um determinado nível. Esta função é bloqueada na parada do motor, ou quando ocorre falta de tensão, através da detecção calibrada em 10% de I_{NR} (Corrente nominal do relé).

A tabela 2.2 apresenta os ajustes dos relés estudados para a proteção contra subcorrente:

Fabricante [referência]	Ajuste da corrente de operação	Temporização
RANDA[37]	Regulável entre 0,2 e 0,8 I_{NR} em passos escalonados de 0,2	Tempo definido = 3,5[s]
INEPAR [47]	Regulável continuamente entre 0,2 e 0,8 I_{NR}	Tempo definido = 3,5[s]
ABB[38]	Contínuo entre 0,3 e 0,8 I_{NR}	Ajustável continuamente de 2 a 60[s]
ABB[39]	Contínuo entre 0,12 e 0,55 I_{NR}	Tempo definido = 10[s]
SCHLUMBERGER [50]	Escalonados em passos de 0,2 entre 0,2 e 0,8 I_{NR}	Tempo definido = 3,5[s]

Tabela 2.1 - Comparação entre as faixas de ajuste para proteção contra subcorrente de diversos fabricantes do mercado brasileiro;

2.6.2 - Sobrecorrente instantânea de fase

O propósito desta proteção é detectar a ocorrência de um curto-circuito. A atuação do relé deve ocorrer no menor tempo possível, isto é, sem tempo de atraso intencional. A rápida extinção da corrente de curto-circuito uma das principais características desta proteção oferece como vantagens:

A - Limitação dos danos na falta;
B - Limitação da duração da queda de tensão que acompanha o curto-circuito;
C - Limitação da possibilidade da propagação do curto ao longo do sistema elétrico industrial provocando desligamentos desnecessários de outros elementos do sistema;
D - Limitação do risco de incêndio e o perigo de explosão provocados pelo curto-circuito.

Os dispositivos de proteção primária utilizados para promover a proteção rápida contra curtos-circuitos são os fusíveis e os dispositivos de sobrecorrente instantânea dos disjuntores. Para a proteção secundária empregam-se também os relés de sobrecorrente atuando sobre disjuntores ou contatores.

Esta função detecta sobrecorrentes entre duas fases, três fases e entre fase-terra quando a rede é rigidamente aterrada. O valor da corrente de atuação da função 50, I_{50} deve ser uma fração da corrente de curto-circuito franco à terra.

A proteção contra sobrecarga térmica em geral não é própria para proteger o motor contra curtos-circuitos. Isto ocorre pelos seguintes motivos.

- Em geral, a proteção contra sobrecargas é de atuação lenta, e no caso de curtos-circuitos é desejável que a proteção atue rapidamente.
- A proteção contra sobrecargas não detecta as correntes de seqüência zero, cuja presença caracteriza a existência de defeitos para a terra no motor.

Os relés eletromecânicos de sobrecorrente normalmente são usados em conjunto com transformadores de corrente para cada uma das três fases. Eles são necessários para duas fases somente se há também o relé de sobrecorrente de neutro, caso contrário deve se ter um relé de sobrecorrente instantânea por fase. Estes relés são disponíveis em várias formas monofásica, bifásica ou trifásica, ou ainda acoplados as proteções contra sobrecarga térmica e sobrecorrente temporizada.

Freqüentemente se vê os três relés de sobrecorrente de fase e mais o relé de sobrecorrente de neutro como praxe, sendo que um dos relés de fase é usado como reserva. Isto é baseado na idéia que seus ajustes estejam rigorosamente calibrados, porém terão tempos de atuação ligeiramente desiguais devido as suas naturezas construtivas diferentes. Estes relés são aplicados para atuarem em:

- Circuitos interruptores de média tensão para motores entre 2,4 a 15 [kV] [43];
- Contatores de média tensão que não tem fusível conectados em série;
- Circuitos interruptores de baixa tensão para motores cuja importância ou potência nominal (custo) justifique o custo para esta proteção ao invés de simples fusível ou disjuntor eletromagnético.

A calibração para relés de sobrecorrente instantâneos para motores de indução trifásicos, deve levar em consideração vários fatores de modo que o mesmo não atue em correntes assimétricas que ocorrem durante a partida, ou quando o motor contribui com uma parcela da corrente de curto-circuito externa.

Motores de indução com rotor bobinado tem a corrente de partida menor devido às resistências de partida conectadas em série com o rotor do motor. Deve-se lembrar que estes motores podem conter dispositivo de curto-circuito destas resistências assim que o motor ganha rotação. Neste caso, a parcela de contribuição de uma corrente de curto-circuito externa será maior que a corrente de partida. Para evitar-se atuações desnecessárias, deve-se calibrar a corrente de atuação em função da corrente de curto-circuito fornecida pelo motor.

Quando da utilização de um motor com corrente de partida elevada sem dispositivos de partida auxiliares, há a necessidade de sua conexão à rede de alta capacidade. Um ajuste de corrente relativamente alto deve ser escolhido, para a detecção da sobrecorrente. Se o motor anterior for utilizado em redes fracas, devem ser previstos dispositivos auxiliares de partida. Neste caso, deve-se selecionar o ajuste mais baixo possível do relé 50 com a introdução de um retardamento de modo que nenhuma operação desnecessária deve ocorrer durante a partida, ou por picos intermitentes de carga de curta duração. Na maioria dos casos, o ajuste no valor de operação é entre 10 e 20% acima da corrente de partida ou corrente do rotor bloqueado.

2.6.3 - Sobrecorrente temporizada

São aplicados em esquemas de proteção onde há necessidade de tempos de operação inversamente proporcionais às correntes de operação.

O propósito desta proteção é detectar:

a - Falha na taxa de aceleração do motor num intervalo normal de partida, isto é, no tempo de partida para a carga acoplada;
b - As condições do motor instalado;
c - Condições que gerem uma corrente de curto-circuito de baixa magnitude.

Esta função tem um tempo de atuação menor do que a função térmica geralmente para correntes maiores que 1,5 vezes a corrente nominal, uma vez que a função térmica não deve atuar na partida sendo mais designada para o regime contínuo do motor onde a corrente do motor pode geralmente corrigir no máximo 1,05 vezes a corrente nominal. A maioria das especificações de motores de indução trifásico prevê um relé de sobrecorrente temporizado para cada fase, tal como a proteção de sobrecorrente instantânea. Por causa disto, normalmente estes relés são oferecidos com uma unidade instantânea de sobrecorrente acoplada. Alguns esquemas de proteção mais simples para motores de baixa tensão e assumindo que o mesmo é uma carga desbalanceada, é de se utilizar somente um conjunto de sobrecorrente instantânea e temporizada em somente uma das fases. Assim, pode-se pelo menos detectar falhas na instalação do motor, ou mesmo tentativa de partida sem sucesso do motor. Os ajustes típicos destes relés são:

- Para prover sobrecarga, porém com baixo tempo de atuação, a corrente de operação mínima, ou corrente de "pick-up", deve ser ajustada de 5 a 25% acima do fator da corrente nominal do motor;
- Quando é usada junto com o relé térmico, deve ser ajustado entre 200 a 350% da corrente nominal do motor, isto é, de 3 a 4,5 vezes para evitar uma atuação na sobrecarga.
  Neste dois casos, o tempo de operação para a corrente normal de aceleração "Inrush" deve ser calibrado um pouco acima do tempo de partida do motor para prevenir a atuação na partida;
- Em alguns casos, pode-se usar o relé de sobrecorrente temporizado para funcionar com alto valor para o múltiplo de corrente mínima de operação para trabalhar como se fosse um relé de sobrecorrente instantâneo. Desta forma, a corrente mínima de operação do disco de indução seria calibrada acima da corrente de magnetização "Inrush" do motor. Assim, o relé não detectaria a corrente "Inrush", sendo que somente funcionaria como proteção contra curto-circuito que normalmente é desempenhada por fusíveis, disjuntores e relés de sobrecorrente instantâneos.

Os relés de sobrecorrente eletromecânicos são relés monofásicos de corrente alternada para proteção de diversos elementos de um sistema elétrico industrial com circuitos alimentadores, contra sobrecorrentes de fase e de neutro.

Estes relés são constituídos de uma unidade de indução que produz um conjugado no disco de indução proporcional à corrente aplicada. A unidade indicadora de chaveamento possui um contato NA, normalmente aberto, que se fecha e energiza a abertura do disjuntor principal quando a proteção temporizada atua. As características do tempo de atuação são usadas para se obter diferentes tempos de atuação para o mesmo múltiplo da corrente nominal do transformador de corrente interna. As curvas de operação para o relé temporizado são encontradas em diversas características de tempo inverso de acordo com a norma [24] sendo escolhidos em função de sua aplicação. Valendo-se deste recurso, cada curva característica tem aplicação diferente conforme a velocidade de operação da proteção a realizar:

- Tempo curto;
- Tempo longo;
- Tempo definido;
- Tempo moderadamente inverso;
- Tempo inverso;
- Tempo muito inverso;
- Tempo extremamente inverso.

Os relés de tempo curto operam rapidamente, enquanto que os de tempo longo não operam no início da sobrecarga ou corrente moderada de maior duração. Os relés de tempo definido ou moderadamente inverso, atuam num tempo mais constante, para sobrecorrentes de valores elevados.

A melhor característica da curva de atuação inversa para um relé de sobrecorrente temporizado para desempenhar a sobrecorrente instantânea seria a característica de tempo curto.

Já a característica de tempo longo é adequada para uso em qualquer motor. A característica de tempo extremamente rápido é usada para ser mais rápida em altos múltiplos da corrente nominal, ou ainda para facilitar a coordenação de seletividade com um relé de sobrecorrente de maior hierarquia dentro do sistema elétrico industrial. Deve-se atentar a esta característica no que diz respeito a sua atuação quando da corrente "Inrush" de magnetização que ocorre na partida normal do motor.

Um exemplo destes tipos de relés é o tipo CO da Westinghouse [44], que possui ainda uma unidade de chaveamento instantâneo de armadura móvel NA, normalmente aberta, que fecha os contatos que energizam os circuitos de abertura do elemento principal (disjuntor ou contador).

A unidade temporizada tempo inverso possui ajuste de corrente baixa de 2 a 5 I_{NR} com tempo de atuação variável entre 0,1 e 10 [s]. Esta faixa de tempo de atuação pode ser mudada bastando-se trocar a característica de atuação do relé.

2.6.4 - Proteção contra sobrecorrente de neutro

Este relé, função 50 N ou 50G ou ainda 50 GS segundo a norma ANSI [24], tem a finalidade de prever falha de isolamento entre fase e terra. Quando esta ocorre, surge uma corrente residual circulando através da carcaça do motor, cujo valor depende do tipo de aterramento da rede, bem como da impedância de defeito.

Os curtos-circuitos que não envolvem a terra são os trifásicos e os bifásicos. Para detectar tais defeitos, os dispositivos de proteção devem ser sensibilizados pelas correntes de neutro e terra. Ao passo que os monofásicos e os bifásicos enterrados envolvem o terra.

Os dispositivos de sobrecorrente de fase são capazes de detectar tais defeitos, e portanto, podem ser considerados suficientes. Entretanto, quando se deseja grande sensibilidade da proteção para defeitos para a terra, os dispositivos de sobrecorrente de fase em geral são insuficientes. Em tais casos, deve-se complementar a proteção de sobrecorrente de fase com a proteção de sobrecorrente de terra.

A proteção de sobrecorrente de terra, quando utilizada em motores, deve ser ajustada da seguinte forma:

- a corrente de operação de unidade temporizada deve ser inferior a 20% da corrente nominal do motor e a 10% da corrente mínima de curto-circuito monofásico, dependendo de qual dos dois valores resulte o menor.
- a corrente de operação da unidade instantânea deve se situar na faixa de 2,5 a 10 vezes a corrente nominal do motor.

As proteções contra curto-circuitos citados anteriormente oferecem uma proteção limitada contra faltas para terra em sistemas solidamente aterrados a malhas de terra de baixa resistência. Uma proteção específica contra faltas para terra é usual em grandes motores ou quando a corrente de terra é da ordem de uma dezena ou mais de ampères.

A detecção de uma alta corrente de falta para a terra não é problemática em sistemas aterrados solidamente, ou aterrados através de uma resistência baixa. Já em sistemas aterrados através de uma resistência elevada entre terra e neutro isolado a corrente disponível para detecção é pequena.

A tabela 2.3 ilustra os ajustes e temporizações típicos de relés estáticos para a proteção de motores contra sobrecorrente de neutro encontrados no mercado brasileiro:

Fabricante [referência]	Ajuste da corrente de operação (I_{50N})	Temporização
INEPAR [47]	Contínuo de 10 a 80% I_{NR}	50[ms] com disjuntor 200[ms] com contator
ABB [38]	Contínuo de 1 a 100% I_{NR}	Definido ou instantâneo ajustado continuamente entre 50 [ms] e 30 [s]
ABB [39]	Contínuo de 10 a 60% I_{NR}	Tempo definido = 1[s]
SCHLUMBERGER [50]	1 a 40 I_{NTC}	60[ms] com disjuntor 400[ms] com contator

Tabela 2.3 - Comparação entre as faixas e ajustes de alguns relés contra sobrecorrente de neutro do mercado brasileiro;

2.6.5 - Proteção contra sobrecarga térmica

Os relés contra sobrecarga térmica tem a mesma função dos relés térmicos bimetálicos. A principal diferença é que o monitoramento da corrente é feita por circuitos eletrônicos (relé estático) que oferecem ajustes automáticos e inteligentes afim de se obter uma réplica perfeita da elevação de temperatura do motor.

Seja o caso da proteção contra sobrecarga térmica no relé tipo Randa [37]. As funções específicas de detecção da ocorrência de uma seqüência de partida são um detector de nível para indicar que a corrente é maior que 5% de I_{NR} e outro para duas vezes a corrente ajustada I_{NR}. O detector de $I \rangle 1.05 I_{NR}$ opera um circuito de tempo (T_{SK}) ajustável entre 10 e 100 [s] conforme o tempo de partida. O tempo desejado para utilização da capacidade térmica do motor, (tempo em que a constante térmica τ é aumentada em 25%), esgota-se quando o tempo T_{SK} ajustado no circuito de tempo mencionado, é alcançado, ou ainda, quando a corrente de partida for reduzida abaixo de $2I_{NR}$. Neste caso, supõe-se que o motor alcançou sua velocidade de regime, e que a constante τ volta ao seu valor normal. A mudança de τ não ocorre se a corrente durante a operação não exceder duas vezes a corrente ajustada $I \rangle 2I_{NR}$ e o se tempo T_{SK} já transcorreu.

Em caso da atuação da função 49 , o motor para rapidamente já que o conjugado resistente da carga ainda se faz presente. Desta forma, o resfriamento será menor do que na parada normal. Nesses casos o tempo de resfriamento da função 49 é duplicado. Para ser levada em consideração a temperatura do meio ambiente, é previsto um circuito de compensação de temperatura na função 49 .

Dessa forma, quando a temperatura do meio ou temperatura de resfriamento está em elevação, o motor terá uma taxa de resfriamento reduzida. A compensação de uma temperatura elevada do meio ambiente, resulta em um tempo de operação menor.

2.6.6 - Proteção contra fases desbalanceadas

Esta função também é conhecida como proteção contra reversão ou torque inverso, ou proteção contra correntes de sequência-negativa, função 46 segundo a norma ANSI[24].

A proteção protege o motor contra a corrente de seqüência negativa que é desenvolvida no desequilíbrio das fases. Estes desequilíbrios podem ser causados por diversas situações de falta, tais como: condições assimétricas na rede, seqüência incorreta das fases, espiras encurtadas no enrolamento do estator, interrupção de fase, ou interrupções por fusíveis quando o motor for equipado por estes. Os motores de média tensão (acima de 1 [kV]) e especialmente os de alta potência podem se danificar pelo aquecimento devido a corrente de sequência-negativa, apesar de serem pequenas o suficiente para não serem detectadas pelos dispositivos de sobrecarga e sobrecorrente. Nestes motores, esta proteção é justificada pelo custo e importância do motor.

A recomendação geral é que se aplique esta proteção para motores com potência maior que 1000 [HP]. Existem recomendações para um ajuste menor desta corrente em motores de média tensão tal como mostra a tabela 2.4.

Potência nominal do motor em [HP]	Ajuste
≤ 1500	de 10 a 50%
> 1500	menor ou igual a 25% In

Tabela 2.4 - Ajustes típicos para a função 46 em função da potência nominal do motor segundo [17];

Vários são os tipos de relés disponíveis no mercado que fornecem a proteção contra desbalanço de fases, incluindo falta de fase. Suas principais filosofias e princípios de funcionamento são:

- *Balanço de fase de corrente:*

Detectam desbalanceamento das fases das correntes nas três fases.

- *Tensão de seqüência-negativa:*

Este relé opera usando um filtro de tensão de sequência-negativa além de temporizadores internos ou externos em cascata entre o comando de atuação do relé e o contator.

- *Corrente de seqüência-negativa:*

A proteção de disco de indução com tempo definido é baseada neste princípio. Geralmente tem uma alta corrente de atuação em relação a corrente nominal da máquina, sendo usada para geradores e inadequada para motores.

Para a proteção de motores, relés de corrente de sequência-negativa podem ser instantâneos e com baixa corrente de atuação. Normalmente necessitam de temporizadores para atrasar o tempo de atuação de acordo com o tempo de partida onde as assimetrias das correntes é normal.

A seguir são analisados as proteções contra fases desbalanceadas dos relés estudados.

2.6.6.1 - RANDA - ABB - [37]

Os sinais para atuação deste tipo de proteção são retirados das fases A e C. Atrasa-se a corrente da fase A em 60 [°], e após isto, a corrente obtida é somada fasorialmente àquela existente na fase C. Sob condições desequilibradas, os sinais não são opostos, e o fasor soma não será zero. Comparativamente, o valor máximo da corrente de seqüência negativa pura, a soma fasorial dos dois sinais citados anteriormente, é $\sqrt{3}$ vezes maior em módulo do que quaisquer dos dois sinais. Para este tipo de relé, os transformadores de corrente devem ser iguais, em virtude de que uma saturação diferente, pode provocar uma falsa corrente de seqüência - negativa somente no relé.

O relé de seqüência negativa tem a faixa de ajuste entre 0,05 a 0,5 I_{NR}, onde, I_{NR} pode ser escolhida na derivação de corrente 1,2 ou 5 [A] com tempo de operação típico ajustável entre 1 e 10 [s]. Os fabricantes deste relé utilizam o critério de que quando qualquer uma das três correntes de fase for maior que 5 I_{NR}, o relé é bloqueado para que não ocorrera operação desnecessária na partida do motor, ou saturações nos TC's e circuitos de entrada. A concepção final para a proteção é, se a corrente de seqüência negativa exceder o valor ajustado, e a maior das correntes de fase for menor que 5 I_{NR}, o relé irá operar após o tempo ajustado entre 1 e 10 [s].

2.6.6.2 - PM - INEPAR [47]

O elemento de proteção contra cargas desbalanceadas é composto da corrente na fase C somada fasorialmente com a corrente da fase A, a qual é atrasada em fase de 60[°]. Deste modo, o fasor soma é zero nas condições normais equilibradas, e com desequilíbrio, o fasor resultante desloca-se de zero para um valor qualquer. Este valor, previamente obtido no ajuste do relé, causa a sua operação depois de um tempo fixo de 3,5 [s]. O valor de operação, I_{46} vai de 0,25 a 0,5 I_{NR} sendo ajustado continuamente.

2.6.6.3 - SPAM150C - ABB - [38]

Possui uma corrente de ajuste, I_{46}, de 10 a 40% de I_{NR} ou infinito (bloqueado), com tempo de operação com característica de tempo inverso sendo ajustável, isto é, a sua faixa de atuação para 40% de I_{NR} está entre 20 e 120 [s]. O tempo de operação na perda de uma fase ou na seqüência de fase reversa é de 1 [s].

2.6.6.4 - SPEM010 - ABB[39]

O tempo de atuação para a falta de fase ou seqüência inversa como define o fabricante é de 6 [s], enquanto que, para fases desbalanceadas, o relé apresenta uma curva de operação a tempo inverso com tempo de operação de 30 [s] para 30% de desbalanceamento.

2.6.6.5 - PMS3000 - Schlumberger - [50]

O desequilíbrio das correntes neste relé é detectado através da comparação da tensão, proveniente de um filtro de seqüência - negativa das correntes de fase, com um nível de referência dependente do nível da corrente do motor.

O ajuste da corrente de "pick-up" desta função,I_D,ou simplesmente I_{46}, tem uma faixa de ajuste de 10 a 25% de I_{NR} em passos de 5% em 5%.

Para levar em consideração as assimetrias das tensões devido a defeitos na rede que devem ser eliminadas por outras proteções instaladas no sistema, a função possui uma temporização constante de 3,5 [s].conforme recomendação do fabricante [50].

2.6.7 - Proteção contra subtensão

São conhecidos como "RELÉS DE MÍNIMA" ou função 29 ANSI [24] sendo relés que medem a tensão, geralmente, atuando numa armadura. A maioria deles tem rearme manual com indicação visual da operação.

Esta função protege o motor contra um dado valor de baixa tensão de alimentação trifásica, que pode causar danos ao motor. Ela é habilitada quando deseja-se evitar dano térmico por corrente excessiva devido a tensões baixas do sistema de alimentação. Ele é destinado a proteger contra as condições mínimas de tensões admissíveis para um MIT, segundo a norma [65], 10%, abaixo da tensão nominal.

Também são usados em casos de restauração após queda nos níveis da tensão de alimentação dos barramentos.

Os fabricantes de relés apresentam várias faixas de tensão. Para acionamentos de tensão controlada. Estes valores geralmente estão disponíveis entre 60 e 100%. O ajuste da tensão de atuação, U_{29}, normalmente está acima de 60% da tensão nominal do MIT. Existem recomendações generalizadas de se utilizar o ajuste em 80% ([21], [23]).

As características de alteração encontradas para as curvas de operação destes relés são a tempo instantâneo ou a tempo inverso com compensação de freqüência. A escolha das derivações da bobina de operação é feita no seletor frontal que mantém constante a relação reatância/resistência para compensar a freqüência, em qualquer derivação escolhida. O uso destas derivações implica num ajuste escalonado da tensão de operação da maioria dos relés de tensão.

2.6.8 - Proteção contra sobretensão

Esta função 59 ANSI [24] é recomendada em MIT's que estejam conectados em barramentos que contém geradores interligados. Quando há uma súbita perda de carga no sistema, ou falha no regulador de tensão, ou qualquer anormalidade que provoque uma sobretensão, a proteção deve atuar desligando o motor. As unidades eletromecânicas temporizadas tem tensão de operação em torno de 1,1 U_N enquanto que as instantâneas tem uma faixa de tensão geralmente entre 1,3 e 1,5 U_N.

Existe um aumento no aquecimento da máquina com a sobretensão. As normas de motores [65] recomendam que a tensão no motor possa ser no máximo em 10% acima da tensão nominal.

2.6.9 - Proteção contra tempo de partida longa

O relé contra partida prolongada protege o motor caso este não tenha atingido uma determinada rotação após o tempo ajustado. Ele compara o tempo de partida com o tempo ajustado enquanto a corrente do motor é maior que $2I_{NR}$ nas condições de partida.

Devem ser fornecidas informações relativas ao tempo máximo permissível de rotor travado (T_{RB}), bem como os critérios relevantes que devem ser considerados nesta condição. Isto significa saber qual é a velocidade que o motor deverá ter após um determinado tempo, ou o tempo permitido para que a corrente seja maior que $2I_{NR}$.

Esta função atua se a capacidade térmica do motor for excedida durante a partida. O tempo máximo de partida indicado pelo fabricante depende da potência do motor e da inércia das massas do rotor e da máquina acoplada.

Os relés de partida longa possuem corrente de operação em 2 I_{NR} de acordo com os critérios dos tempos de partida definidos no item 2.4.3.

A tabela 2.5 forma um quadro comparativo entre as temporizações e ajustes existentes para estes relés:

Fabricante [referência]	Corrente de operação	Corrente de desoperação	Temporização
Randa [37]	2 I_{NR}	2 I_{NR}	Contínua entre 10 e 100[s]
Inepar [47]	2 I_{NR}	2 I_{NR}	Contínuo entre 3 e 30 [s]
Schlumberger[50]	2 I_{NR}	1,8 I_{NR}	Escalonados em 5[s] desde 5[s] até 50[s]

Tabela 2.5 - Comparação entre as correntes de operação e temporização de relés contra partida longa de fabricantes do mercado brasileiro;

2.6.10 - Proteção contra rotor bloqueado

Esta proteção deverá atuar no travamento do rotor durante a operação. Ela é bloqueada no processo de partida da máquina, ou seja, somente haverá sinal de desligamento quando tiver transcorrido o tempo de critério de partida, T_{SK}.

No caso do motor emperrar durante a operação, é permitido uma corrente alta por menor tempo do que quando comparado ao tempo permitido para a seqüência de partida, pois o motor na partida geralmente inicia o processo numa condição menos aquecida(Frio).

Esta proteção também é utilizada como uma proteção de retaguarda da proteção contra tempo de partida longo. Quando o rotor não tiver acelerado até a velocidade plena, e o tempo de critério da partida tiver transcorrido, deverá haver a atuação desta proteção desde que a corrente ainda seja maior que aquela ajustada.

A situação em que o rotor é subitamente bloqueado durante o funcionamento normal pode levar o mesmo a um aquecimento tão rápido que a proteção contra sobrecarga não opera antes que danos irreversíveis tenham ocorrido. Por outro lado, o calor gerado no rotor, mesmo que não danifique, poderá ser transmitido parcial ou quase totalmente para o estator, podendo levar a temperatura do enrolamento estatórico a valores incompatíveis com a temperatura admissível do sistema isolante. Nos motores cujo sistema de ventilação é baseado essencialmente em convenção natural pela superfície do invólucro (caso dos motores totalmente fechados sem ventilação), o aquecimento do enrolamento estatório a partir do calor gerado e transmitido pelo rotor é maior que no caso de motores abertos.

A proteção contra o rotor bloqueado durante o funcionamento consiste de um relé de sobrecorrente, desativado durante a partida, e normalmente ajustado para operar em um valor de corrente acima da corrente nominal e bem inferior ao valor de corrente de rotor bloqueado. É prevista uma temporização nesse relé, para permitir que transitórios de carga de pequena intensidade e curta duração não interrompam a alimentação do motor.

2.6.10.1 - Tipo RANDA - ABB - [37]

A proteção contra rotor travado deste relé possui um detetor de nível para operação ajustável entre 1 e $3I_{NR}$, além de um contador para o tempo de atuação ajustável entre 1 e 10 [s] sendo bloqueado na partida. Funciona através do princípio da corrente e tempo tal como num relé de sobrecorrente a tempo definido. O tempo deve ser ajustado de acordo com as recomendações do fabricante do motor a respeito de sobrecargas durante a operação sendo, comum o ajuste entre 2 e 3 [s].

2.6.11 - Proteção contra partidas seqüenciais

Esta proteção é definida pela norma ANSI [24] como função 44. Ela protege o motor no caso de haver várias tentativas de partidas consecutivas. O motor é desligado se a soma dos tempos das tentativas de partida superarem o tempo ajustado.

É aplicado, por exemplo, quando um motor é previsto para regime continuo, e é submetido a partidas sucessivas.

A norma NBR 7094 [65] estabelece um regime de partida mínimo que os motores devem ser capazes de realizar:

A - Duas partidas sucessivas, sendo a primeira feita com o motor frio, isto é, com seu estator na temperatura ambiente e a segunda logo a seguir, porém após o motor ter desacelerado até o repouso;

B - Uma partida com o motor quente, ou seja, com o estator na temperatura de regime ou 10 % abaixo da temperatura admissível da classe de isolação do motor;

Após uma partida ter sido completada com sucesso, um outro temporizador inicia sua operação e somente após ter sido decorrido o tempo para o qual ele foi ajustado, será possível efetuar uma nova partida.

O ajuste de tempo de relé contra várias partidas repetidas ou, T_{ss}, tempo acumulado das partidas, deve ser sempre maior que o tempo para critério de partida, T_{sK}, usado pelo relé contra tempo longo de partida, como mostra a inequação (2.3):

$$T_s < T_{sK} < T_{ss} \qquad (2.3)$$

É difícil encontrar relés para motores de indução que proporcionam tal proteção. O único relé estudado que a contém é o PMS 3000 - Schumberger - [50] cuja faixa de ajuste de tempo para o relé partidas repetidas é de T_{ss} = 12 a 120 [s].

2.6.12 - Religamento automático

A função de religamento automático é usada principalmente onde os alimentadores são geralmente protegidos por relés de sobrecorrente instantâneos e/ou temporizados.

Dada a comprovada predominância de defeitos transitórios, da ordem de 80% e semi-permanentes da ordem de 10%, o religamento visando o imediato restabelecimento de tensão fornece por conseqüência uma maior confiabilidade do fornecimento de energia. Isto constitui hoje uma prática usual nas indústrias.

O relé rearma segundo uma temporização ajustada após o primeiro religamento com sucesso, e bloqueia o comando de religamento uma vez decorrido todo o ciclo programado e na eventualidade de insucesso por permanência da falta.

Imediatamente após cada religamento automático, é dado início à contagem do tempo de rearme e, uma vez decorrido o valor ajustado, o relé rearma e volta ao seu estado inicial, permanecendo pronto para responder à uma nova falta. Caso contrário, isto é, tendo ocorrido abertura consecutiva do disjuntor pela persistência da falta, a temporização é reiniciada quando do religamento seguinte.

Decorrida a contagem pré-ajustada de abertura de proteção instantânea, o circuito de operação correspondente é definitivamente inibido pela lógica interna, só retornando à condição inicial após o completo rearme do relé.

Um exemplo deste tipo de relé é o ENGRO - [49] cujo número de comandos para abertura do disjuntor é ajustado de forma discreta por intermédio de chave seletora frontal nas posições 0, 1, 2 e 3. O relé fornece uma sinalização luminosa individual para cada estado: energizado, primeiro religamento, segundo religamento, terceiro religamento e bloqueado, com indicação por intermédio de diodos emissores de luz e sinalização remota do relé no estado bloqueado.

2.7 - Proteções especiais aplicadas em motores de média tensão e grande porte

Estes motores devido ao seu alto custo e importância requerem a proteção primária, os relés secundários e proteções especiais além de uma ampla monitoração em tempo real. Geralmente, os motores de potência nominal maior do que 1500 [HP] necessitam de um equipamento para análise, controle e proteção do mesmo. Muitas vezes, os grandes motores possuem sensores que necessitam de circuitos auxiliares externos para prover proteções especiais. Os mais comuns são:

2.7.1 - Detectores térmicos

Consiste em instalar dispositivos detectores de temperatura (termômetros ou resistências variáveis com a temperatura) no interior do motor, e utilizar tais dispositivos para provocar a abertura de disjuntores ou acionar alarmes.

2.7.2 - Sensores de vibração para proteção contra vibrações excessivas

Dispositivos mecânicos instalados no eixo do motor são normalmente utilizados para detectar vibrações prejudiciais de alta amplitude .

2.7.3 - Proteção contra superaquecimento dos mancais

Pode ser feita com a utilização de resistências variáveis com a temperatura ou mesmo com termômetros inseridos nos mancais.

A supervisão de temperatura do óleo de lubrificação do mancal é uma outra maneira de promover tal proteção.

2.7.4 - Tacômetros

Geralmente são geradores de CC que produzem um nível proporcional a velocidade angular do eixo. Em sistemas modernos, os sensores de velocidade possuem características indutivas ou optoeletrônicas proporcionando medidas precisas da velocidade.

É difícil encontrar no mercado relés que proporcionem proteção contra subvelocidade ou sobrevelocidade, necessitando o usuário confeccionar circuitos externos que desempenham tais proteções.

A aplicação destes sensores é usada em proteções contra subvelocidade após a partida ou mesmo para sobrevelocidade. A norma [65] estabelece que o rotor do motor deve suportar uma velocidade igual 1,2 vezes a velocidade nominal durante 2 [min].

2.8 - Solução alternativa para análise, proteção e comando de motores de indução trifásicos de média tensão

Para efetuar a análise, comando e proteção de motores trifásicos de indução conciliando as necessidades de medidas e proteções com a tecnologia e custo para tal, uma das soluções é a apresentada por esta dissertação. A figura 2.5 ilustra a proteção adequada para um motor de média tensão onde o custo e importância do mesmo permitem a implantação de um equipamento deste tipo para supervisão e proteção em tempo real .

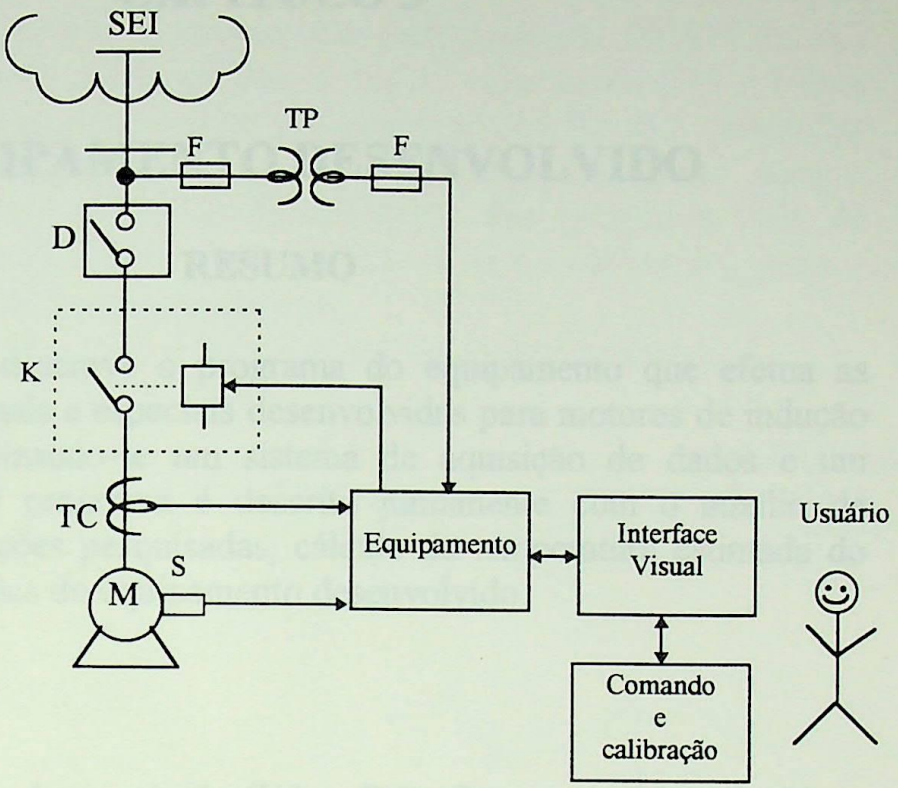


Figura 2.5 - Tendência atual para a análise e proteção de motores de indução trifásicos de média tensão;

Onde na figura 2.5 tem-se:

TP = Transformadores de potencial;
TC = Transformadores de corrente;
F = Fusíveis;
M = motor de indução trifásico
S = sensor de velocidade;
D = disjuntor trifásico;
K = contator trifásico.

O equipamento desenvolvido possui a interligação entre o sistema de supervisão e controle e o sistema de potência e comando feito com elos de fibras ópticas.

Ele permite uma interface visual entre o usuário e o MIT proporcionada pelo monitor de vídeo do microcomputador. Através de seu teclado pode-se comandar, calibrar as medidas efetuadas pelo equipamento bem como ajustar diversas proteções convencionais e especiais desenvolvidas para motores de indução trifásicos de média tensão, como será visto nos capítulos 3 e 4 a seguir.

CAPÍTULO 3

O EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO

RESUMO

Este capítulo descreve o programa do equipamento que efetua as proteções convencionais e especiais desenvolvidas para motores de indução trifásicos (MIT) utilizando-se um sistema de aquisição de dados e um microcomputador. O programa é descrito juntamente com o auxílio de algoritmos das proteções pesquisadas, cálculo da temperatura estimada do motor e demais funções do equipamento desenvolvido.

3.1 - Introdução

O equipamento desenvolvido ([1] e, [2]) efetua a aquisição local ou remota dos sinais de interesse do motor em análise, apresentando-os na tela do microcomputador e ajustando as proteções para uma supervisão geral. Para isto, necessitou-se diferenciá-lo em duas partes distintas a de "hardware" (circuitos) e a de "software" (programa).

Este capítulo tem por objetivo apresentar as partes de "software", envolvendo:

- Configuração dos circuitos pelo programa;
- Filosofia das proteções e relés auxiliares;
- Autodiagnóstico dos relés de acionamento local e remoto;
- Verificação em cascata do estado dos módulos eletrônicos;
- Busca de melhor taxa de aquisição e sinal de sincronismo;
- Forma de aquisição das grandezas medidas;
- Ajuste geral das proteções e relés auxiliares;
- Cálculo da temperatura estimada do MIT;
- Calibração das medidas efetuadas pelo equipamento.

O programa foi desenvolvido de modo a perfazer um sistema que a partir de apenas sete telas distintas efetua as medidas, análises e proteções necessárias para o MIT.

As telas principais permitem comutação entre si através das teclas de função "F3" a "F8" disponíveis em qualquer teclado padrão IBM/PC®. Sua principal vantagem sobre a tela gráfica, é que a aquisição de dados é feita em tempo real. Em qualquer das telas principais existem funções destinadas a exibição de parâmetros e mensagens padrão do equipamento para o usuário mesmo durante as etapas de calibração das proteções (tela de proteções) ou dos transformadores de medição (tela de calibração), pois o programa aquisita os dados continuamente.

A figura 3.1 ilustra como é feita a interação homem máquina:

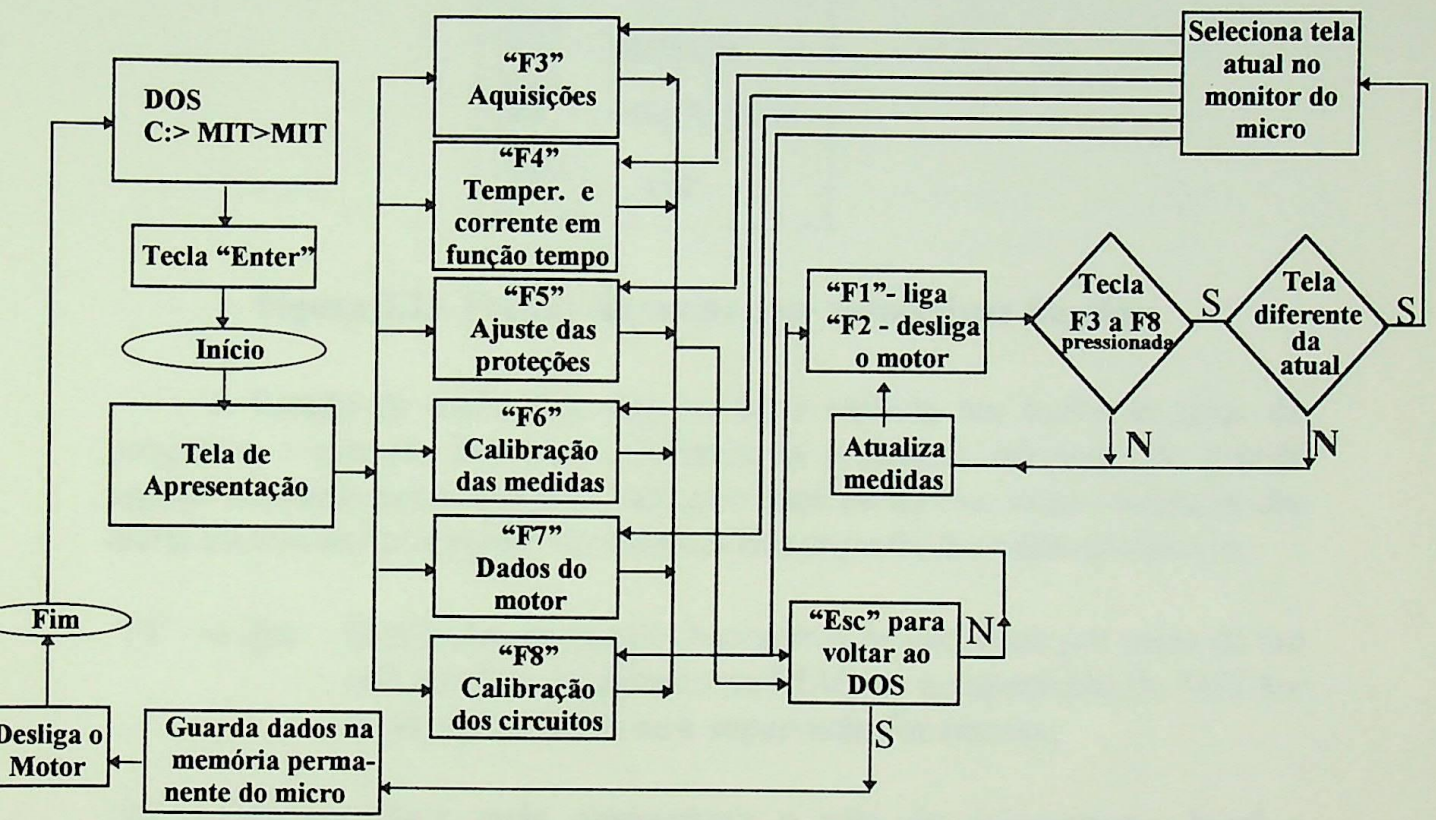


Figura 3.1 - Fluxograma de funcionamento geral do programa;

Através das teclas "F3" a "F8" pode-se transitar de uma tela de análise para uma tela de dados, proteções ou calibrações. Por outro lado as teclas "F1" e "F2" foram reservadas para o acionamento do motor. Assim estas teclas permitem ao usuário o controle do acionamento do MIT a distância através do teclado do microcomputador e dos elos de fibras ópticas. A tecla "ESC", permite uma finalização da análise e retorno para o sistema operacional do microcomputador: "DOS" [62]. Toda vez que ela for pressionada, o programa primeiramente desliga o motor, guarda no disco rígido as calibrações e dados do motor para facilitar sua próxima execução, e então retorna para o "DOS". A figura 3.2 ilustra esta função:

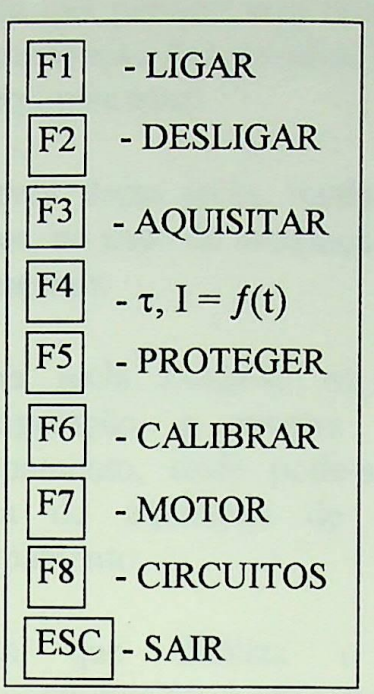


Figura 3.2 - Função de teclas com respectivas funções;

A função de cada uma das teclas é exibida em todas as telas do programa, a exceção das telas referentes às proteções em razão do grande espaço ocupado pelas mesmas. Isto não implica no não funcionamento das teclas na tela das proteções. As funções desempenhadas pelas teclas são:

"F1"→Ligar: Esta tecla energiza o dispositivo de comando por meio de um relé auxiliar, localizado na MAD se a supervisão do MIT for local, ou no MTX se a supervisão for remota;

"F2"→Desligar: Esta tecla desenergiza o relé de acionamento local e remoto, ordenando a abertura do contator principal;

"F3"→Aquisitar: Corresponde a tela que efetua a aquisição da tensão, corrente e diferença de fase das fases do MIT. Exibe a partir destas leituras, medidas subseqüentes de potência, fator de potência e triângulos de potência;

"F4"→τ, I = f(t): Com esta tecla pode-se mudar da tela atual para a tela do fluxo de carga medido e a temperatura estimada do estator do motor calculada em função do tempo;

"F5"→Proteger: Nesta tecla muda-se da tela atual para a tela de ajuste das proteções e relés auxiliares opcionais, que podem ser bloqueados (N) ou habilitados (S);

"F6"→Calibrar: Tecla que permite uma mudança da tela atual para a tela de calibração das medidas e das relações dos TP's e TC's do equipamento;

"F7"→Motor: Através desta tecla, muda-se para a tela de dados do motor, no caso de mudança do motor em análise ou dados do mesmo;

"F8"→Circuitos: Nesta tecla muda-se da tela atual para a tela de configuração e ajustes dos circuitos internos do equipamento, onde pode-se efetuar a configuração da placa de aquisição de dados e dos módulos do equipamento;

"ESC"→Sair: Tecla que finaliza o programa, retornando o microcomputador a seu sistema operacional vigente.

3.2 - Configuração do programa

3.2.1 - Considerações gerais

A configuração inicial do programa é feita para definir os parâmetros do MIT e configurar o equipamento. Toda vez em que o equipamento for ligado, deve-se efetuar alguns procedimentos preliminares antes de ligar o MIT conforme ilustra a figura 3.3:

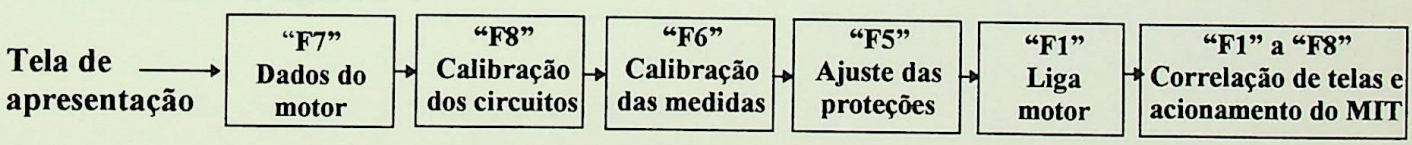


Figura 3.3 - Fluxograma para configuração inicial do programa pelas telas;

3.2.2 - Tela gráfica

Esta tela é responsável pela calibração dos relés temporizados de sobrecorrente e sobrecarga. Qualquer tela gráfica somente deve ser acessada quando da calibração inicial ou recalibração dos relés de sobrecarga térmica ou sobrecorrente temporizada. Para acessá-la basta modificar a atuação de uma das duas funções com o uso das teclas "S" e "N" na tela das proteções. Diversas curvas poderão ser obtidas e a partir destas pode-se gerar a curva de ajuste do relé de interesse.

A tela gráfica utiliza as seguintes grandezas do programa principal:

- T_p: tempo de partida do motor;
- T_A: variável contendo o valor da constante de aquecimento do motor;
- I_{CC}: variável contendo o valor da corrente de partida assimétrica em [pu];
- I_{49}: corrente mínima de operação da proteção contra sobrecarga térmica;
- I_{50}: corrente mínima de operação da proteção contra sobrecorrente a tempo curto;
- I_{51}: corrente mínima de operação da proteção contra sobrecorrente temporizada.

3.2.3 - Funções complementares do equipamento

As telas são compostas de diversas funções que são classificadas quanto à sua importância como principais e complementares. A diferença entre elas é relativa a entrada de valores alfanuméricos e exibição de informações. As funções complementares se repetem em diversas telas do programa tal como a função das teclas. A seguir nos itens 3.2.4 e 3.2.5 tem-se uma descrição das funções complementares utilizadas no programa.

3.2.4 - Parâmetros do equipamento

É uma função complementar exibida nas telas principais do programa como ilustra a figura 3.4:

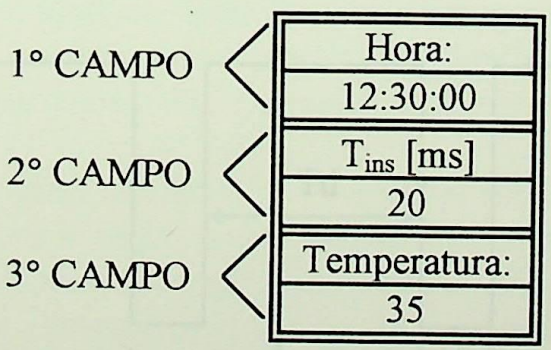


Figura 3.4 - Parâmetros do equipamento para a tela do motor;

Na figura 3.4 o primeiro campo indica a hora do sistema operacional do microcomputador. Para o ajuste do relógio, basta pressionar a tecla "ESC" para retornar ao sistema operacional do microcomputador. Após isto, usa-se a função "time" do DOS, para ajuste do relógio.

O segundo campo é responsável pela variável de tempo de operação instantânea do equipamento. Este tempo corresponde ao máximo intervalo decorrido entre uma dada perturbação sentida pelo programa do equipamento e a resposta de comando do mesmo calculado pela equação (3.4).

Note que este tempo é função das tarefas que o programa tem que executar. Entre estas tarefas pode-se citar a atualização dos valores na tela atual, supervisão das proteções e teclas, etc. Quanto mais medições e proteções em tempo real que o computador tiver que executar, maior será seu tempo de resposta às perturbações, pois maior será o tempo de processamento do programa. Para redução deste tempo deve-se usar uma tela com poucos dados reais exibidos, por exemplo, telas de dados do motor, ou ainda pode-se aumentar a freqüência do oscilador do microprocessador do computador.

A aquisição remota exige a obtenção de uma média dos valores amostrados dos sinais analógicos. O tempo gasto para a aquisição remota fica entre 30 a 60 [ms] para a aquisição remota com 20 leituras por janela do "TDM" e computador com "clock" de 33 [MHz]. Nas mesmas condições de funcionamento chegou-se a um valor mínimo para o tempo de operação instantânea dos relés da ordem de 20 [ms] com um microprocessador de 66 [MHz]. Convém ressaltar ainda que este tempo não inclui o tempo de resposta dos conversores do MCS e nem o atraso dos elos de fibra óptica.

Com base nisto, o tempo de operação instantâneo do equipamento, T_{ins}, é calculado através do tempo de atraso entre a aquisição de dois vetores sucessivos pelo programa. A figura 3.5 ilustra os tempos das operações realizadas pelo programa. A transição de descida deste sinal inicializa o contador de amostragens do vetor de dados aquisitados o qual foi usado para o cálculo aproximado destes tempos:

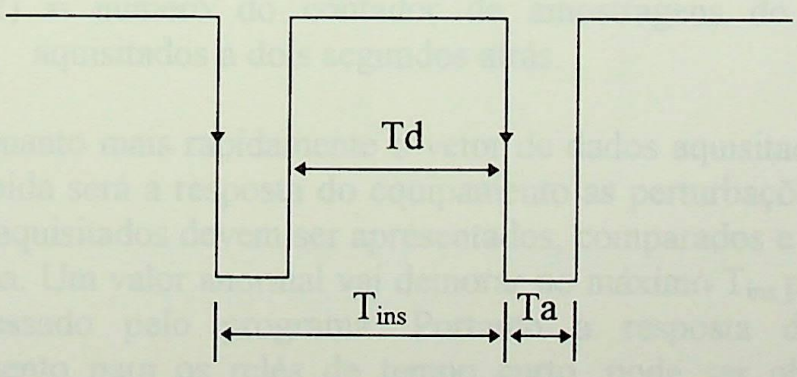


Figura 3.5 - Tempos de processamento do programa;

Onde na figura 3.5 tem-se:

Ta = espaço de tempo requerido para renovação do vetor de dados aquisitados;
Td = tempo de processamento das funções do programa;

Logo,

$$T_{ins} = Ta + Td \qquad (3.1)$$

Onde T_{ins} na equação (3.1) corresponde ao valor máximo do tempo de operação a ser somado com o tempo de resposta dos sensores e do tempo de atraso dos elos de fibras ópticas, para se estimar o tempo em que o equipamento desenvolvido necessita para atuar os relés de tempo curto.

Para o cálculo deste valor, montou-se um contador de amostragens no programa. Toda vez que o programa renova o vetor de dados aquisitados , o contador é incrementado. A cada dois segundos o programa gera uma interrupção acessando uma rotina que calcula o número de vezes em que o vetor de dados aquisitados foi renovado dentro deste intervalo de tempo. Assim, obtém-se uma taxa de renovação do vetor de aquisição no tempo dada por:

$$T_{at} = \frac{N(t) - N(t-2)}{2} \qquad \left[\frac{\text{atualizações}}{\text{segundo}}\right] \qquad (3.2)$$

Onde, na equação 3.2 tem-se:

N(t) = número atual do contador de amostragens;
N(t - 2) = número do contador de amostragens do vetor de dados aquisitados a dois segundos atrás.

Quanto mais rapidamente o vetor de dados aquisitados for renovado, mais rápida será a resposta do equipamento as perturbações, pois os novos valores aquisitados devem ser apresentados, comparados e processados pelo programa. Um valor anormal vai demorar no máximo T_{ins} para ser detectado e processado pelo programa. Portanto a resposta do programa do equipamento para os relés de tempo curto, pode ser obtida da seguinte forma:

$$T_{ins} = \frac{1}{T_{at}} \cdot 1000 \quad [ms] \qquad (3.3)$$

Onde:

T_{ins}= tempo de operação dos relés de tempo curto do programa do equipamento em [ms];
T_{at} = taxa de atualização do vetor de dados aquisitados no tempo [Hz];

Substituindo (3.2) em (3.3), obtém-se:

$$T_{ins} = \frac{2000}{N(t) - N(t-2)} \ [ms] \qquad (3.4)$$

Desta forma, a cada dois segundos o valor de T_{ins} é calculado e exibido no segundo campo da função de parâmetros do equipamento.

O terceiro e último campo desta função irá depender da tela de supervisão utilizada. Assim na tela de dados do motor, este campo apresenta o número de aquisições errôneas efetuadas pelo equipamento desde de sua inicialização, tal como ilustra a figura 3.6. Quando uma aquisição do vetor de dados é feita e o conversor A/D da placa de aquisição falha, o sinal DRDY muda de estado lógico, o qual é usado para um contador de erros que é incrementado toda vez que ocorre um erro na leitura do vetor de dados que então não é considerado no processamento do programa.

O terceiro campo pode conter ainda a temperatura estimada do MIT sendo exibida nas telas de calibração e aquisitação conforme ilustra a figura 3.4.

Hora:
19:05:10
T_{ins} [ms]
118
Erros:
0

Figura 3.6 - Função parâmetros do equipamento para as telas de calibração e aquisição;

3.2.5 - Função de mensagens padrão

A função de mensagens padrão tem por objetivo informar ao usuário a condição do sistema em análise sendo atualizado para qualquer ocorrência do equipamento. Se um evento anormal ocorrer, ele será identificado juntamente com seu horário de ocorrência.

As mensagens padrão exibidas possuem três campos. O primeiro campo é utilizada para indicar os eventos normais, atuação das proteções ou ainda danos nos circuitos e módulos do equipamento.

Para informar ao usuário sobre os eventos do equipamento, as mensagens padrão exibidas no primeiro campo da função são apresentadas na tabela 3.1 a seguir com seu respectivo significado:

Mensagem Padrão:	Significado:
1 - Equip. ligado	O equipamento foi ligado pelo usuário.
2 - -Partida Progr.	O equipamento efetuou uma partida programada.
3 - Parada Progr.	Mensagem para parada programada.
4 - Prot. 48 Atuou	Proteção contra partida longa atuou.
5 - Prot. 44 Atuou	Proteção contra partidas seqüenciais atuou.
6 - Relg. 79 Atuou	Religamento por tempo ocorreu
7 - Ligou Manual	O usuário pressionou a tecla "F1" ligando o MIT.
8 - Deslig. Manual	O usuário pressionou a tecla "F2" desligando o MIT.
9 - Falha em MRX	Módulo de recepção de sinais com problemas.
10 - Falha em MTX	Módulo de transmissão de sinais com problemas.
11 - Falha no MCS	Módulo de conversão de sinais defeituoso.
12 - Prot. 26 Atuou	Proteção contra temperatura estimada do MIT.
13 - Prot. 29 Atuou	Proteção contra subtensão atuou.
14 - Prot. 59 Atuou	Proteção contra sobretensão atuou.
16 - Prot. 51 Atuou	Proteção contra sobrecorrente temporizada atuou.
17 - Prot. 50N Atuou	Proteção contra sobrecorrente de neutro atuou.
18 - Prot. 86 Atuou	Proteção contra rotor bloqueado atuou.
19 - Prot. 46 Atuou	Proteção contra fases desbalanceadas atuou.
20 - Prot. 12 Atuou	Proteção contra subvelocidade. atuou
21 - Prot. 14 Atuou	Proteção contra sobrevelocidade atuou.
22 - Prot. 37 Atuou	Proteção contra subcorrente atuou.
23 - Prot. 50 Atuou	Proteção contra sobrecorrente tempo curto atuou.
24 - Prot. 49 Atuou	Proteção contra sobrecarga térmica atuou.
25 - Relg. 90T Atuou	Religamento por temperatura atuou.
26 - 51/49 andamento	Proteção contra sobrecorrente e sobrecarga em andamento.
27-Falha no Relé	Autodiagnóstico detectou falha no relé de acionamento

Tabela 3.1 - Mensagens exibidas no primeiro campo da função das mensagens padrão;

As mensagens padrão utilizam o segundo campo para outras grandezas de interesse e mensagens complementares do primeiro campo. As proteções de subcorrente, sobrecorrente, subtensão e sobretensão foram desenvolvidas para detectar a fase em falha, a fim de facilitar o diagnóstico da mesma. Se uma das proteções que detectam a fase problemática atuar, o segundo campo exibe uma mensagem correspondente, como mostrado pela da tabela 3.2:

Mensagem Padrão	Significado
Fases A B. C	Falta das três fases
Fases A B	Falta das fases A e B
Fases B C	Falta das fases B e C
Fases C A	Falta das fases C e A
Fase A	Falta da fase A
Fase B	Falta da fase B
Fase C	Falta da fase C

Tabela 3.2 - Mensagens exibidas no segundo campo para as proteções de subcorrente, sobrecorrente, subtensão e sobretensão a tempo curto;

O segundo campo pode ainda exibir outro tipo de mensagem com respeito a proteção de sobrecorrente temporizada conforme a tabela 3.3:

Mensagem Padrão	Significado
Tempo definido	A proteção de sobrecorrente temporizada com característica de tempo definido atuou
Tempo inverso	Proteção de sobrecorrente temporizada com curva característica de operação do tipo tempo inverso atuou
Tempo extremamente. inverso.	A proteção de sobrecorrente temporizada atuou é do tipo tempo extremamente inverso.

Tabela 3.3 - Mensagens padrão exibidas no segundo campo quando a proteção de sobrecorrente temporizada atua;

Finalmente, quando o equipamento efetua o monitoramento do estado dos módulos e o autodiagnóstico dos circuitos, caso haja algum defeito, a mensagem exibida no segundo campo é "Desligue Equipamento" complementando a mensagem padrão exibida no primeiro campo. Isto informa ao usuário que o equipamento deve ser desligado, pois seu mal funcionamento afeta a integridade da análise e proteção do motor.

O terceiro e último campo indica o horário no formato: (hora, minuto e segundo) em que o evento ou falta ocorreu.

A seguir apresenta-se alguns exemplos de quadros de mensagens padrão com comentários:

Exemplo 1:

A temperatura estimada do MIT caiu abaixo da temperatura de religamento do relé 90T às 8 horas. Este exemplo indica que o equipamento ligou o MIT pois a função 90T estava desbloqueada e o relé de temperatura admissível já havia atuado anteriormente.

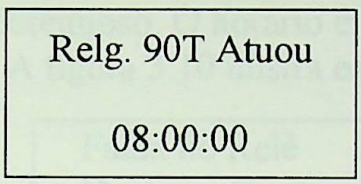


Figura 3.7 - Mensagem padrão de religamento por temperatura;

Exemplo 2:

O sinal de estado do MRX está indicando defeito e a hora em que o mesmo ocorre. O usuário deve então desligar o equipamento e religar tudo novamente especialmente o MRX. Conforme ilustra a figura 3.8:

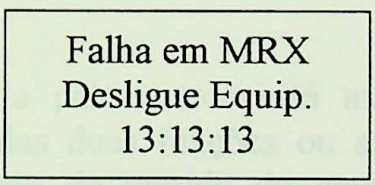


Figura 3.8 - Mensagem padrão para MRX falhando;

Exemplo 3:

A mesma indicação da mensagem anterior, porém o MRX está funcionando adequadamente. Após um tempo de espera "time-out" e a não detecção do sincronismo transmitido pelo MTX conforme ANEXOS 1.20a e b, a mensagem indicará que o MTX está falhando, juntamente com seu respectivo horário de falha. O procedimento a ser tomado pelo usuário é o mesmo do caso anterior porém com atenção especial para o MTX. A figura 3.9 ilustra este exemplo:

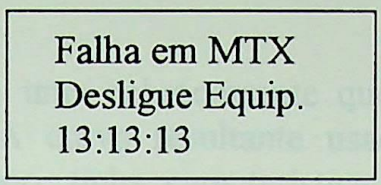


Figura 3.9 - Mensagem padrão para falha no MTX;

Exemplo 4:

Neste exemplo, o relé de acionamento local ou remoto dependendo da origem da supervisão, está defeituoso. O horário em que esta falha de circuito ocorreu foi às 13 h. A figura 3.10 ilustra este exemplo:

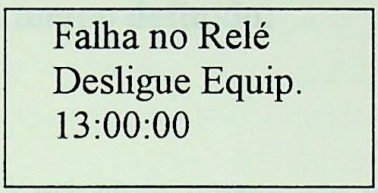


Figura 3.10 - Mensagem padrão para falha em um dos relés de acionamento;

Exemplo 5:

A corrente consumida pelo motor está maior que a corrente de operação mínima de uma das duas funções ou até mesmo de ambas. O horário indicado é o horário de partida do contador de tempo para o princípio da corrente e tempo usado no algoritmo do ANEXO 1.18 das proteções temporizadas.

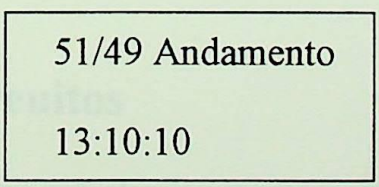


Figura 3.11 - Mensagem padrão para indicar que a proteção de sobrecorrente 51 ou sobrecarga atuará em breve;

Exemplo 6:

Este exemplo, ilustra uma sobrecorrente que fez o equipamento desligar o MIT às 17 h. A curva resultante usada na comparação do princípio da corrente e tempo, tinha característica de tempo definido tal como na figura 3.12.

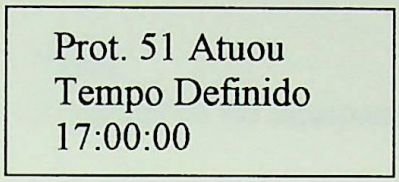


Figura 3.12 - Mensagem padrão para a proteção de sobrecorrente temporizada à tempo definido;

Exemplo 7:

O contador de tempo do princípio corrente e tempo foi maior que a área delimitada pela curva de atuação resultante das proteções temporizadas. Na matriz de dados a variável letra correspondente a corrente de atuação era "T" indicando que este trecho da curva resultante derivou de uma curva de sobrecarga. A figura 3.13 ilustra:

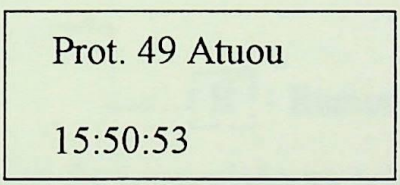


Figura 3.13 - Mensagem padrão para a proteção contra sobrecarga térmica;

3.3 - Calibração dos circuitos

A calibração dos circuitos envolvidos diretamente a partir da placa de aquisição de dados é feita através desta tela que possui as seguintes funções principais e complementares:

Funções principais:
1 - Origem da supervisão
2 - Aquisição local
3 - Aquisição remota
4 - Canais na fibra
5 - Busca da melhor taxa de recepção
6 - Parâmetros da forma de aquisição

Funções complementares:
1 - Telas
2 - Parâmetros do equipamento

3.3.1 - Função origem da supervisão

A supervisão do MIT pelo equipamento pode ser local ou remota. A supervisão local é feita com a placa de aquisição de dados ligada diretamente ao MCS. Já a supervisão remota objetivo deste trabalho, além de utilizar todos os módulos disponíveis utiliza ainda os elos de fibras ópticas. A escolha entre os tipos de supervisão local ou remota é feita com o auxílio das teclas L e R do teclado do microcomputador, como ilustra a figura 3.14:

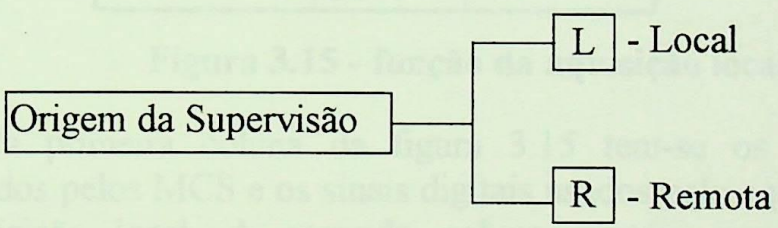


Figura 3.14 - Escolha da origem da supervisão na tela dos circuitos;

3.3.2 - Função aquisição local

A função de aquisição local é feita de acordo com a figura 3.15:

AQUISIÇÃO LOCAL		
SINAL	CANAL	GANHO
V_A	AD ∅	1
V_B	AD 1	1
V_C	AD 2	1
I_A	AD 3	1
I_B	AD 4	1
Ic	AD 5	1
D_A	AD 6	1
D_B	AD 7	1
D_C	AD 8	1
Vel.	AD 9	1
MCS	DI ∅	-
Relé Aux	D0 ∅	-
Diagnóstico	DI 4	-

Figura 3.15 - função da aquisição local;

Na primeira coluna da figura 3.15 tem-se os sinais analógicos aquisitados pelos MCS e os sinais digitais usados pelo equipamento no caso de aquisição local. A segunda coluna contém os canais analógicos correspondentes da placa de aquisição de dados bem como as entradas e saídas digitais para controle do equipamento em supervisão local. Os sinais da placa de aquisição de dados são ligados diretamente aos correspondentes sinais análogo digitais provenientes da MCS e MAD. Na terceira coluna tem-se o ganho do respectivo canal da placa de aquisição o qual pode variar de acordo com o ganho por canal do conversor A/D da placa de aquisição de dados.

São usados dez canais analógicos para leitura de sinais analógicos entre 0 a + 5 [Vcc]: V_A, V_B, V_C, I_A, I_B, I_C, D_A, D_B, D_C e velocidade que correspondem aos parâmetros do motor gerados pelo MCS e MIT em análise. Pode-se selecionar qualquer canal de leitura do conversor A/D para a leitura de qualquer sinal analógico com respectivo ganho programável de acordo com a expressão (4.8).

O sinal proveniente do MCS indica o estado de energização do mesmo e está ligado a entrada DI∅ do MAD. Esta entrada é digital e portanto o ganho não se faz necessário.

O sinal "Relé Aux" configura o programa de modo a fornecer aos relés de acionamento local e remoto o sinal de comando liga/desliga do equipamento para o MIT. Por simplicidade utiliza-se saída DO∅ para os acionamentos local e remoto.

O sinal "Diagnóstico" é responsável pela verificação do circuitos e do relé de acionamento local. Ele é colocado na entrada digital para diagnóstico do equipamento por si próprio.

3.3.3 - Função da aquisição remota

Esta função ilustra a disposição dos sinais e parâmetros usados pelo equipamento na aquisição remota.

O sinal "SMD" indica em que entrada analógica do multiplexador de entrada do conversor A/D da placa de aquisição de dados (AD10) está sendo fornecido o sinal multiplexado demodulado do MRX.

O sinal do "MRX" indica o estado do módulo receptor de sinal. Este sinal digital é lido pelo equipamento através de um dos "bits" (DI2) da porta de entrada da placa de aquisição de dados.

Os demais sinais já foram descritos, sendo que o número de aquisições por janela é descrito no item 3.3.5. A figura 3.16 ilustra esta função com respectivos sinais e parâmetros:

Aquisição Remota		
Sinal	Canal	Ganho
SMD	AD 10	1
MRX	DI 2	-
Relé Aux	D0 ∅	-
Diagnóstico	DI 4	-
Número de Aquisições por janela	20	-

Figura 3.16 - Função da aquisição remota;

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
Biblioteca MAUÁ B M

3.3.4 - Canais utilizados nos elos de fibras ópticas

Esta função informa ao usuário quais são e em quais canais estão localizados os sinais provenientes da supervisão remota. O sinal equivalente em corrente contínua (CC) é mostrado na primeira coluna enquanto que seu respectivo canal ocupado no MUX do MTX na segunda coluna. O canal pode ser configurado através do teclado. O usuário pode alterar a posição dos sinais no canal do MUX de entrada da placa de aquisição de dados em correspondência ao que foi transmitido conforme ilustra a figura 3.17:

Canais na Fibra	
Sinal	Canal
V_A	1
V_B	2
V_C	3
I_A	4
I_B	5
I_C	6
D_A	7
D_B	8
D_C	9
Velocidade	11
MCS	10
Diagnóstico	12

Figura 3.17 - Função de sinais e canais na fibra de aquisição e diagnóstico;

3.3.5 - Busca da melhor taxa de recepção

A placa de aquisição de dados é compatível com o barramento de um microcomputador IBM/PC® e possui um conversor A/D de 12 bits com multiplexador analógico perfazendo dezesseis entrada. Possui também dezesseis portas de entrada e saída digital além de um contador programável ligado a um oscilador a cristal de alta precisão 2 [MHz]. Com isto, ela oferece três formas de gatilho ("trigger") para o conversor A/D:

A - "Software trigger": Toda vez que o programa requisita uma leitura de sinal analógico a placa gera um pulso de gatilho que aciona a conversão A/D. Esta função é usada pelo equipamento para supervisão local;

B - "Pace trigger": Obtém leituras dos sinais analógicos em intervalos regulares de tempo através do uso do oscilador de precisão ligado ao divisor programável. Está função é usada para supervisão remota;

C - "External trigger": Efetua a leitura de sinais analógicos em sincronismo com um dispositivo externo. Esta função não é usada pelo equipamento.

Na aquisição local tem-se dez sinais analógicos a serem monitorados. Estes sinais são ligados às entradas AD∅ a AD9 do multiplexador de entrada do conversor A/D. Outro recurso desta placa é o ganho programável e independente por canal que pode variar de 1 a 16. Devido a amplitude dos sinais CC equivalentes, todas as entradas analógicas do multiplexador tem ganho unitário.

Para melhorar a estabilidade e precisão dos valores aquisitados, a rotina de aquisição faz a leitura dos sinais seqüencialmente cinco vezes, por exemplo, gerando cinco vetores de dados correspondentes. Em seguida, a rotina executa a média entre os vetores de dados obtendo o vetor média final dos últimos cincos vetores aquisitados. Até, então o vetor de dados será utilizado pelo programa principal para análise e proteção do motor de indução trifásico. Esta média pode ser feita entre 1 e 20, isto é, o último vetor de dados ou a média dos vintes últimos vetores.

Para a aquisição remota somente um canal do multiplexador de entrada do conversor A/D é usado. Neste tipo de aquisição, há necessidade do microcomputador interpretar e demultiplexar um sinal multiplexado no tempo. Este sinal é transmitido através dos elos de fibras ópticas (MTX/MRX) com a finalidade de isolar galvanicamente os sinais CC equivalentes (MCS) do processamento e depuração dos mesmos (placa de aquisição e microcomputador). Os sinais CC equivalentes do MCS são conduzidos ao multiplexador interno do MTX. Na entrada do contador do multiplexador existe um oscilador (F_{MUX}) de onda quadrada com boa estabilidade de freqüência. A freqüência do oscilador de varredura provoca no multiplexador através do contador binário, uma freqüência aqui denominada de freqüência de quadro para dezesseis canais de:

$$F_{quadro} = \frac{F_{MUX}}{16} \qquad (3.5)$$

Com os correspondente tempo de quadro e tempo de amostragem das janelas do sinal multiplexado por divisão de tempo conforme as equações (3.6) e (3.7):

$$T_q = \frac{1}{F_{quadro}} \qquad (3.6)$$

$$T_a = \frac{1}{F_{MUX}} \qquad (3.7)$$

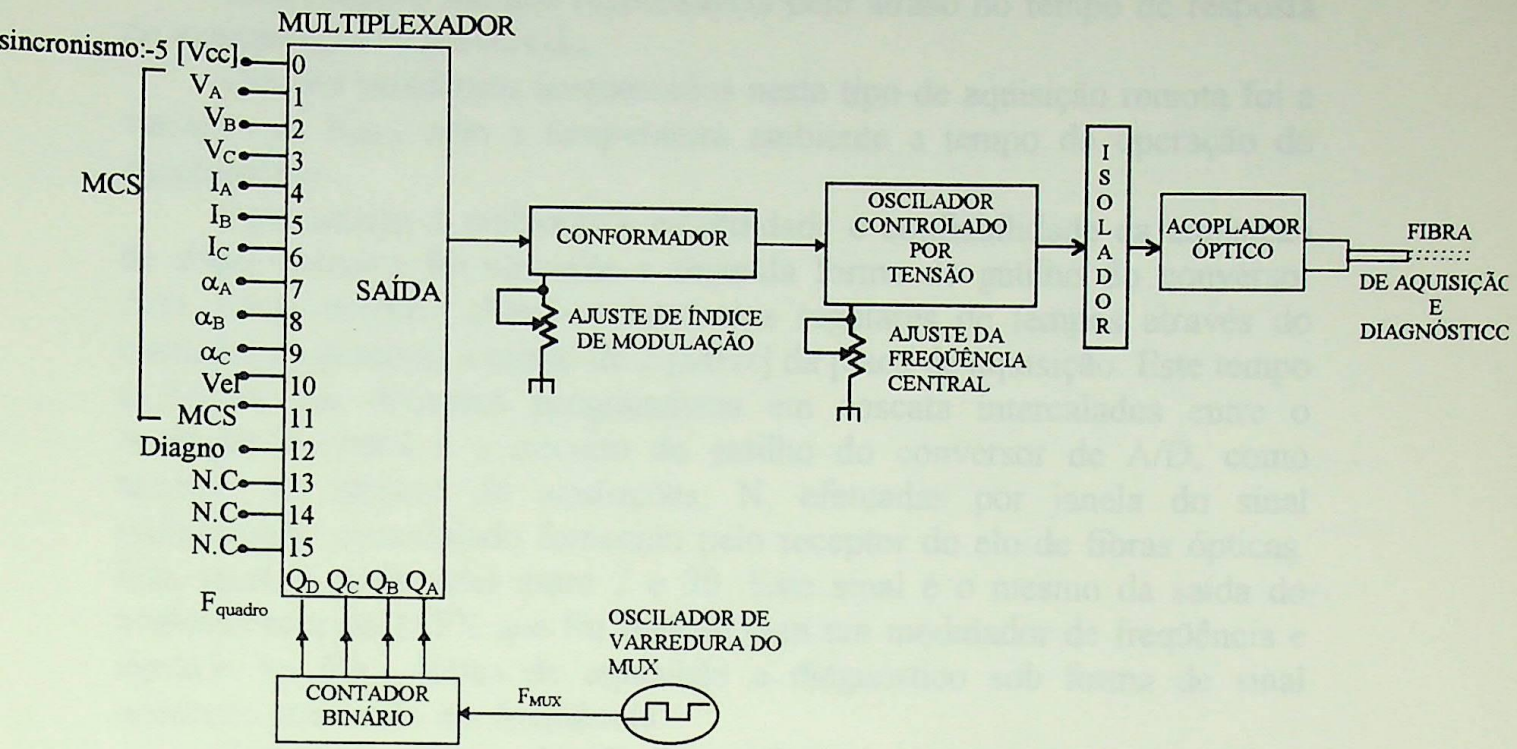


Figura 3.18 - Diagrama em blocos da transmissão de sinais analógicos pela fibra óptica;

A freqüência do oscilador foi definida em 5[kHz] em virtude da natureza da variação dos sinais no tempo segundo o critério de Nyquist [12]. Assim com 5[kHz] e 16 canais tem-se:

$$F_{quadro} = \frac{5[kHz]}{16} = 312,5\ [Hz] \qquad (3.8)$$

Seguindo o critério de Nyquist obtém-se a máxima freqüência de variação dos sinais amostrados do motor em:

$$F_{MAX} = \frac{F_{quadro}}{2} = 156,25\ [Hz] \qquad (3.9)$$

Isto significa que o sistema terá um atraso de resposta devido ao multiplexador do MTX de pelo menos:

$$T = \frac{1}{F_{MAX}} = 6,4\ [ms] \qquad (3.10)$$

Este tempo é um dos responsáveis pelo atraso no tempo de resposta do equipamento desenvolvido.

Um dos problemas apresentados neste tipo de aquisição remota foi a variação de F_{MUX} com a temperatura ambiente e tempo de operação do equipamento.

Para corrigir e melhorar a estabilidade e confiabilidade da aquisição de dados remotos foi utilizada a segunda forma de gatilho do conversor A/D. Desta maneira obtém-se intervalos regulares de tempos através do oscilador de precisão a cristal de 2 [MHz] da placa de aquisição. Este tempo é função dos divisores programáveis em cascata intercalados entre o oscilador a cristal e o circuito de gatilho do conversor de A/D, como também do número de aquisições, N, efetuadas por janela do sinal multiplexado demodulado fornecido pelo receptor do elo de fibras ópticas. Este número pode valer entre 2 e 20. Este sinal é o mesmo da saída do multiplexador do MTX que foi aplicado em um modulador de freqüência e injetado na fibra óptica de aquisição e diagnóstico sob forma de sinal quadrado modulado em freqüência.

O módulo receptor, MRX, demodula o sinal quadrado modulado em freqüência através de um "PLL", laço amarrado de fase, fornecendo o sinal multiplexado demodulado na entrada do conversor A/D da placa de aquisição, sinal SMD, tal como mostrado na figura 3.19. Através de mais de uma aquisição efetuada por janela, e da programação dos divisores, o equipamento alcança precisão e confiabilidade das medidas independentes de ruídos, transições e os intervalos entre as janelas do sinal multiplexado demodulado.

A figura 3.19 ilustra a placa de aquisição de dados em blocos com os sinais e freqüências analisados.

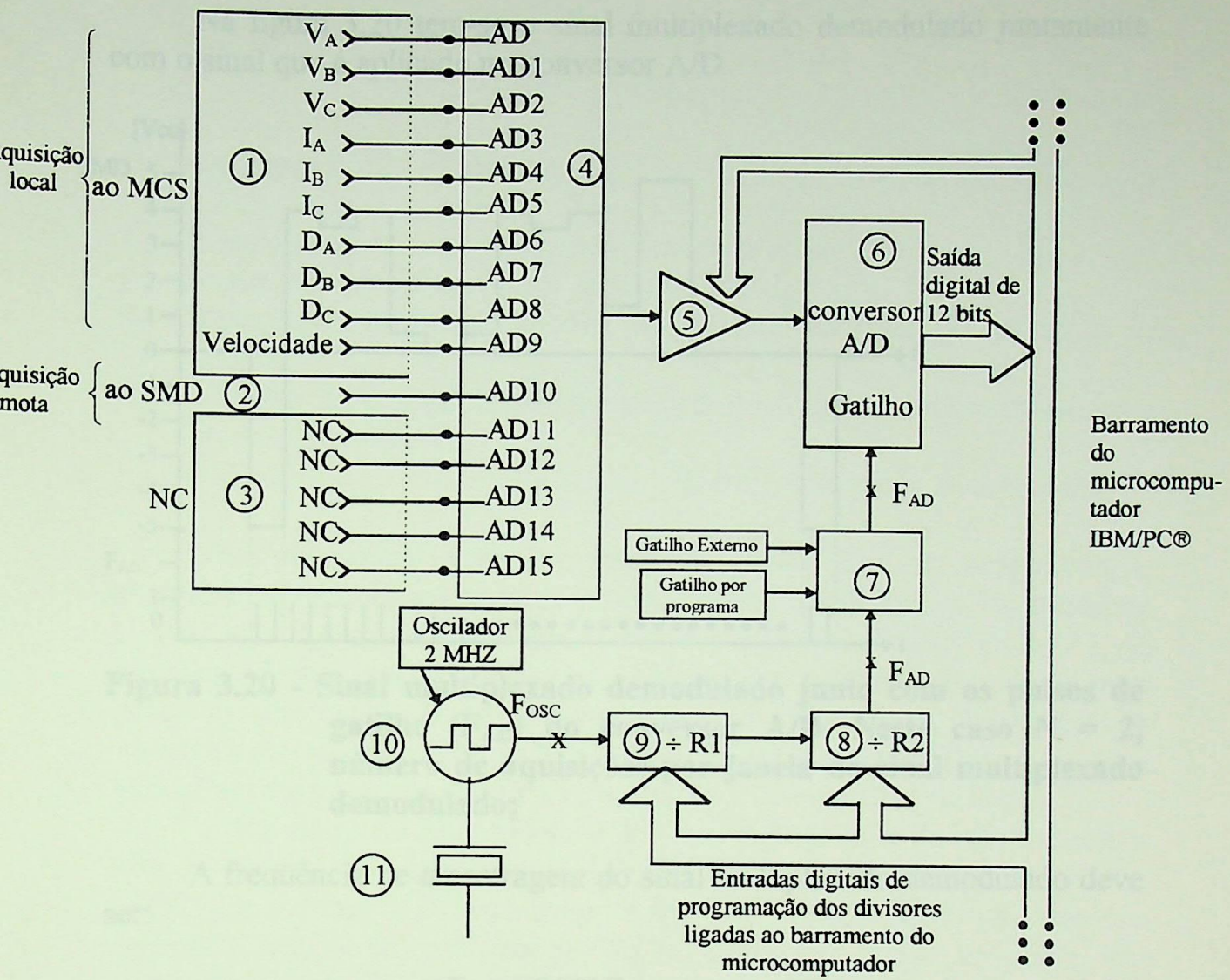


Figura 3.19 - Placa de aquisição de dados com os sinais do equipamento;

Na figura 3.19 tem-se:

1 = Sinais CC equivalentes da MCS para a aquisição local;
2 = Sinal multiplexado demodulado recebido MCS;
3 = não conectado (NC) canais do multiplexador que são usados pelo equipamento;
4 = Multiplexador de entrada;
5 = Amplificador programável;
6 = Conversor análogo digital de 12 "bits";
7 = Circuito de lógica de gatilho;
8 e 9 = Divisores programáveis ligados em cascata;
10 = Circuito oscilador;
11 = Cristal para gerar a freqüência base de 2 [MHz];

Na figura 3.20 tem-se o sinal multiplexado demodulado juntamente com o sinal que é aplicado no conversor A/D

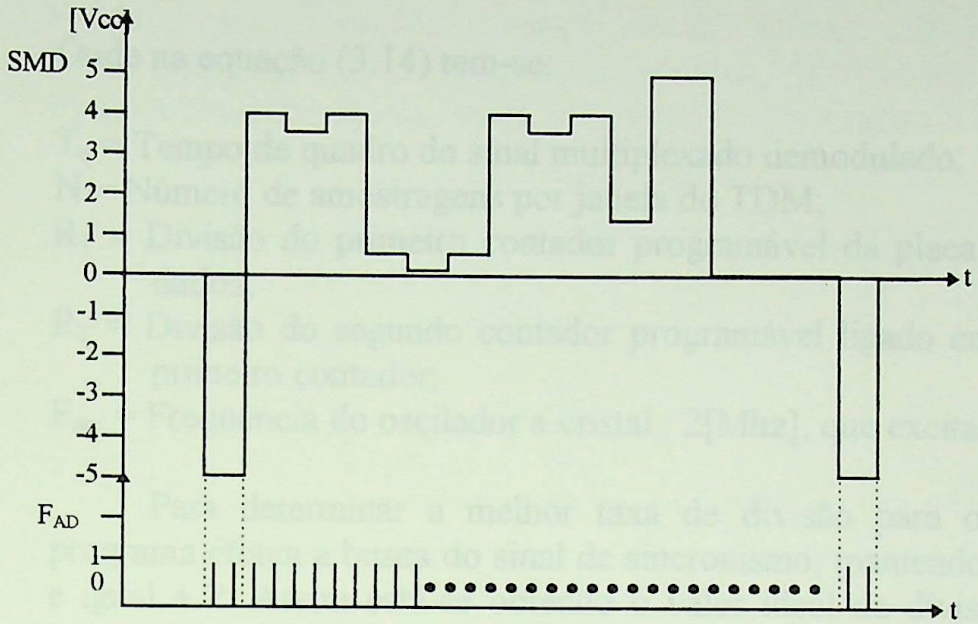


Figura 3.20 - Sinal multiplexado demodulado junto com os pulsos de gatilho (F_{AD}) do conversor A/D. Neste caso N = 2, número de aquisições por janela do sinal multiplexado demodulado;

A freqüência de amostragem do sinal multiplexado demodulado deve ser:

$$F_{AD} = 16 \cdot N \cdot F_{quadro} \tag{3.11}$$

A qual é obtida através de:

$$F_{AD} = \frac{F_{osc}}{R_1 \cdot R_2} \tag{3.12}$$

Assim, relacionando-se a freqüência de gatilho do conversor A/D com a freqüência de quadro do sinal multiplexado do MTX; isto é, igualando (3.11) e (3.12) obtém-se:

$$\frac{F_{osc}}{R_1 \cdot R_2} = N \cdot 16 \cdot F_{quadro} \tag{3.13}$$

De acordo com (3.6) e substituindo em (3.13), obtém-se a taxa de divisão dos divisores R_1 e R_2 em função do tempo de quadro do sinal multiplexado gerado pelo oscilador de varredura do MTX:

$$T_q = \frac{N \cdot 16 \cdot R_1 \cdot R_2}{F_{osc}} \qquad (3.14)$$

Onde na equação (3.14) tem-se:

T_q = Tempo de quadro do sinal multiplexado demodulado;
N = Número de amostragens por janela do TDM;
R_1 = Divisão do primeiro contador programável da placa de aquisição de dados;
R_2 = Divisão do segundo contador programável ligado em cascata com o primeiro contador;
F_{osc} = Freqüência do oscilador a cristal : 2[Mhz], que excita os divisores;

Para determinar a melhor taxa de divisão para os contadores, o programa efetua a busca do sinal de sincronismo, mantendo-se R_2 constante e igual a 2. Assim está-se obtendo o valor ideal da divisão, (Rate 1), do primeiro divisor programável em função do número de amostragens desejado por canal. N, e principalmente em função da freqüência de varredura do multiplexador do MTX, F_{MUX}, que pode agora sofrer pequenas variações sem provocar erros na forma remota de aquisição de dados.

O algoritmo do ANEXO 1.19 ilustra o método para se obter a melhor taxa de divisão, R_1 ótima, para o primeiro divisor e a mensagem de erro no MTX após o "time-out". Este tempo é fixo em 5 [s]. Se o equipamento não detectar o sinal de sincronismo de - 5 [Vcc] após este tempo, ele emite uma mensagem padrão de falha no MTX. Note a interação entre este processo de obtenção da melhor taxa de recepção e o monitoramento remoto dos módulos em cascata descritas nos ANEXO 1.19 e 1.20

Inicialmente com valores pré-ajustados para N, R_1 e R_2 , o programa aquisita o sinal multiplexado demodulado tipicamente como o da figura 3.20. Quando ele recebe o sinal de sincronismo e zera os seus valores positivos, é como se a MCS estivesse desligada e o sinal multiplexado demodulado seria apresentado conforme a figura 3.21:

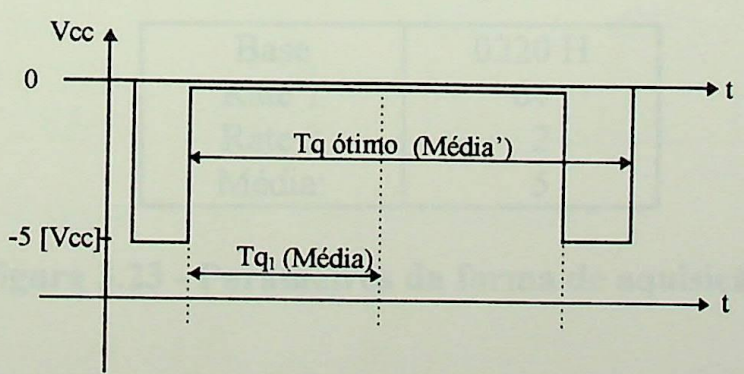


FIGURA 3.21 -Sinal multiplexado demodulado com valores positivos zerados pelo programa;

Inicialmente, quando $R_1 = 30$, o valor obtido para T_q é T_{q1} proporcionando uma área sobre a curva de tempo igual a Média. Assim que R_1=R_1 ótimo, a variável média é igual a média', sendo que esta corresponde a área de menor amplitude negativa e aos valores ótimos para R1 e R2. Existe uma ilustração do processo de obtenção dos valores ótimos para R_1 e R_2 exibida na tela dos circuitos, conforme ilustra a figura 3.22:

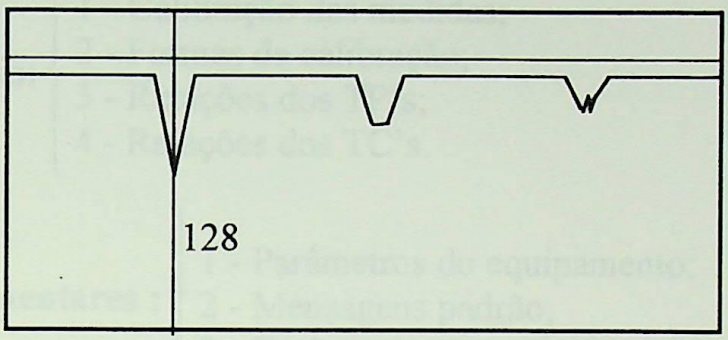


Figura 3.22 - Busca da melhor taxa de recepção;

3.3.6 - Parâmetros da forma de aquisição

A variável "base" informa ao microcomputador o endereço base de interrupção para a placa de aquisição de dados que não pode conflitar com outras placas periféricas do microcomputador.

As variáveis "Rate 1" e "Rate 2" são corrigidas em função do sincronismo feito pela melhor taxa de recepção sendo atualizados e guardados em disco rígido toda vez que a busca da melhor taxa de recepção é concluída ou o programa é finalizado com o retorno para o DOS [62].

A variável "média" determina quantos últimos vetores de dados da pilha serão utilizados para obter o vetor média final que é usado para análise e proteção. A pilha dos vetores de dados é arranjada no tipo "FIFO", ou seja, o primeiro vetor de dados aquisitados que entra na pilha de cálculo é o primeiro a sair fora do cálculo do vetor média final conforme descrita no item 3.3.5. A figura 3.23 ilustra os parâmetros desta forma de aquisição:

Base	0220 H
Rate 1	64
Rate 2	2
Média:	5

Figura 3.23 - Parâmetros da forma de aquisição;

3.4 - Calibrações das medidas e transformadores de medidas

A parte de calibração é composta de quatro funções principais e três funções complementares a saber:

Funções principais:
1 - Calibração das medidas;
2 - Formas de calibração;
3 - Relações dos TP's;
4 - Relações dos TC's.

Funções complementares :
1 - Parâmetros do equipamento;
2 - Mensagens padrão;
3 - Teclas.

3.4.1 - Função de calibração das medidas

Esta função tem diferentes significados para cada forma de calibração do equipamento. A calibração do equipamento com instrumentos externos pode ser linear ou polinominal. A figura 3.24 ilustra esta função:

Calibração:						
		Instrumento	Aquisição	Constante	Resultado	Dimensão
Fase A	Tensão:	63,50	1,97	34,05	134,38	[V]
	Corrente:	5,00	0,20	2,56	0,51	[A]
	Defasagem:	5,00	2,80	4,89	38,36	[Graus]
Fase B	Tensão:	63,50	2,01	33,27	133,41	[V]
	Corrente:	5,00	0,25	2,58	0,65	[A]
	Defasagem:	5,00	2,58	6,34	43,12	[Graus]
Fase C	Tensão:	63,50	1,96	33,83	132,50	[V]
	Corrente:	5,00	0,23	2,51	0,58	[A]
	Defasagem:	5,00	2,62	6,17	42,27	[Graus]
	Velocidade:	1195,00	0,93	1075,57	1001,18	[rpm]

Figura 3.24 - Função de calibração das medidas;

3.4.2 - Formas de calibração do equipamento

A figura 3.25 mostra as funções de calibração internas do equipamento. A calibração linear com instrumentos de precisão externos do usuário pode ser feita em campo, enquanto que a polinominal seria uma calibração de fábrica com alta precisão.

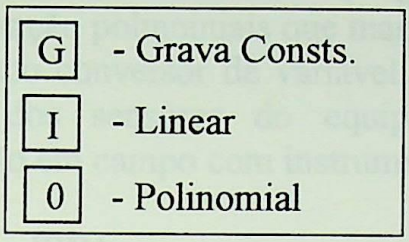


Figura 3.25 - Função de calibração para a forma linear;

Quando escolhe-se a calibração linear, tem-se na função de calibração na coluna de instrumentos da figura 3.24, o valor medido pelo instrumento de precisão do usuário para cada fase e variáveis, que são: tensão, corrente e ângulo de defasagem para cada fase. Na próxima coluna da figura 3.24, tem-se o valor em volts CC lido pela placa de aquisição de dados. Pelo método da calibração linear, tem-se como resultado a quarta coluna na figura 3.24 a qual é apresentada em tempo real e analisado pelas comparações das proteções deve ser igual ao do instrumento de campo. Este valores são lidos e então inseridos pelo usuário na primeira coluna da tela apresentada pelo microcomputador e apresentada na figura 3.24. Isto perfaz uma resposta linear do equipamento, pois o zero do instrumento externo é igual ao zero do equipamento e o valor medido igual ao valor mostrado pelo equipamento. A união destes dois pontos fornece uma curva de resposta linear para as demais medidas do equipamento na respectiva forma de aquisição. A coluna das constantes, mostra os valores constantes da figura 3.25, para cada variável e respectiva fase que multiplicam os valores CC lidos, de modo a obter o resultado em valores reais que são então fornecidos na quarta coluna.

Quando escolhe-se a calibração polinomial a função das formas de calibração do equipamento mudam como ilustra a figura 3.26.

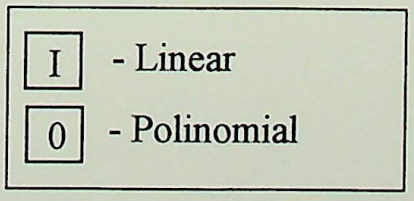


Figura 3.26 -Função de calibração para a forma polinominal;

A primeira e terceira colunas da figura 3.25 perdem a razão de existir, pois o programa já tem, internamente, uma equação polinomial correspondente para cada uma das curvas de resposta dos circuitos eletrônicos já levantadas em laboratório medidos em diversos pontos de tensão, corrente, defasagem e velocidade com o auxílio de instrumentos externos de alta precisão e internas ao programa. Elas recebem o valor CC lido, transformando-os para valores reais do motor. Com estes pontos das tabelas de curvas de resposta, utilizou-se um programa auxiliar GRAPHER [59], para gerar uma equação polinomiais que mais se encaixam à curva real de resposta de cada bloco conversor de variável, em sinal CC equivalente evitando a distorção dos sensores do equipamento. Assim não há necessidade de calibração em campo com instrumento externo.

3.4.3 - Relações dos TP's

As relações de tensões dos transformadores de potencial (TP's) externos utilizados neste trabalho estão ilustradas na figura 3.27:

TP	Up [Vac]	Us [Vac]	Rel.
A	127,00	63,50	2,00
B	127,00	63,50	2,00
C	127,00	63,50	2,00

Figura 3.27 - Função das relações dos TP's;

3.4.4 - Função das relações dos TC's

Os transformadores de corrente (TC's) usados neste trabalho possui para cada fase as relações ilustradas na figura 3.28.

TC	Ip [Iac]	Is [Iac]	Rel.
A	5,00	5,00	1,00
B	5,00	5,00	1,00
C	5,00	5,00	1,00

Figura 3.28 - Função das relações dos TC's;

3.5 - Dados do motor

Esta tela oferece três funções sendo uma principal e duas complementares:

Função principal: { Dados do motor;

Funções Complementares: { 1 - Telas;
2 - Parâmetros do equipamento.

3.5.1 -Dados do motor

Os dados mínimos necessários para os MIT são exibidos na figura 3.29:

Dados do motor	
Potência Nominal (P_N) :	0,75 [CV]
Tensão Nominal (U_N) :	220,00 [V]
Corrente Nominal (I_N) :	1,60 [A]
Relação I_P/I_N:	3,70 [1]
Velocidade Nominal (N_N) :	1140,00 [rpm]
Tempo de Partida (T_p):	1,00 [s]
Tempo de Rotor Bloqueado (T_{RB}):	10,00 [s]
Classe de Isolamento [A, B, C, E, F]:	B
Número de Pólos (2p):	6,00 [1]
Relação (Ko):	0,50 [1]
Constante de Aquecimento:	12,50 [Min]
Temperatura da Classe de isolamento:	120,00 [°C]

Figura 3.29 - Dados do motor;

O usuário fornece os dados de placa e catálogos do motor a ser supervisionado como ilustra a figura 3.29. Os da placa do MIT são:

- Potência nominal (P_N) em [CV];
- Tensão nominal (U_N) em [V];
- Corrente nominal (I_N) em [pu];
- Relação I_P/I_N em por unidade [1];
- Velocidade nominal (N_N) em [rpm];
- Classe de isolamento: letras A, B, C, E ou F;

E os de catálogo:

- Tempo de partida (T_P) em [s];
- Tempo de rotor bloqueado (T_{RB}) em [s].

Em seguida, o programa calcula o número de pares de pólos para o MIT através da velocidade nominal e da freqüência admitida como sendo de 60 [Hz]. Com isto, o programa gera, com base nas tabelas (3.4), (3.5) e (3.6) que foram colocadas em arquivos de dados internas ao programa os seguintes valores:

- Relação entre as perdas nominais e as perdas à vazio (Ko) [1];
- Constante de aquecimento do motor (T_A) em [min];
- Temperatura admissível da classe de isolação do motor (τ_{ADM}) em [°C].

Estes dados serão usados para o cálculo da temperatura estimada do motor, em função da corrente e tensão e parâmetros do motor (Vide item 3.8). Também serão usados nas proteções de temperatura admissível e religamento por temperatura (Vide item 3.9).

3.6 - Proteções e relés auxiliares

Nesta tela tem-se duas funções principais, uma com as proteções e outra com os relés auxiliares. As proteções e relés auxiliares dispõem de bloqueios independentes e prioridades na verificação da ocorrência de uma falta ou anomalia do equipamento sendo numeradas de acordo com a norma ANSI [24].

3.6.1 - Função de calibração das proteções

O programa desenvolvido possui diversas proteções as quais estão indicadas na quinta coluna da figura 3.30. Assim, para efetuar as calibrações destas proteções, o equipamento monitora as informações das grandezas principais tais como: tensão, corrente, velocidade e temperatura. A primeira coluna da figura 3.30 ilustra:

Calibração das Proteções							
Variável	Pri	At.	No.	Funções	Faixas	[pu]	Real
Tensão	10	N	29	Subtensão	[0,7 a 1,0].U_N	0,85	107,96 [V]
	2	N	59	Sobretensão	[1,0 a 1,3].U_N	1,05	133,37 [V]
Corrente	1	N	50	Sobrecorrente	[1,1 a 1,7].I_P	1,10	6,51 [A]
	3	N	50N	Sobrecorrente. Neutro	[0,05 a 1,0].I_N	0,10	0,16 [A]
	7	N	51	Sobrecorrente Temporizada	[1,05 a 3,0].I_N	1,30	2,08 [A]
	6	N	86	Tempo de Rotor Bloqueado.	[0,1 a 0,8].T_{RB}	0,80	8,00 [A]
	5	N	37	Subcorrente	[0,2 a 0,8].I_N	0,20	0,32 [A]
	9	N	46	Reversão	[0,05 a 1,0].I_N	0,20	0,32 [A]
	12			Reservado	-		
Veloc.	9	N	14	Subvelocidade	[0,7 a 1,0].N_N	0,85	969,00 [r]
	1	N	12	Sobrevelocidade	[1,0 a 1,3].N_N	1,10	1254,00 [r]
temper.	4	N	49	Sobrecarga Térmica	[1,05 a 3,0].I_N	1,05	1,68 [A]
	8	N	26	Temperatura Admissível	[0,9 a 1,1].τ_{ADM}	1,00	120,00 [o]

Figura 3.30 - Calibração das proteções;

Na tela equivalente a figura 3.30 permite que se efetue uma prioridade de verificação da ocorrência da falta. Este fato foi usado para demonstrar e estudar a semelhança entre as funções de proteção comparando-as duas a duas, visando principalmente ordenar as proteções que causam mais danos ao equipamento protegido. Desta forma, a proteção de sobrecorrente deve ter prioridade "1". Com o auxílio desta ferramenta pode-se priorizar a verificação de faltas mais danosas como por exemplo a função 50 com prioridade maior que a 51.

Na terceira coluna da figura 3.30 encontra-se a programação da atuação. Caso a atuação esteja S (sim), o modelo matemático que determina ou não a atuação da proteção é verificado, ou seja, a proteção está desbloqueada. Caso contrário (N) significa que a proteção esta bloqueada e que o programa deve prosseguir com a verificação da proteção de prioridade imediatamente inferior. Se a próxima estiver bloqueada, o programa prossegue até o fim das prioridades atualizando a tela e os valores dos sinais. A quinta e a quarta coluna contém informações das proteções desempenhadas pelo sistema com respectivo número do padrão ANSI[24].

Até a quinta coluna a função de calibração das proteções segue o mesmo padrão de funcionamento e informação da função de calibração dos relés auxiliares ilustrado na figura 3.30. Essa correspondência ajuda no entendimento dos modelos matemáticos e algoritmos desenvolvido os quais estão apresentados no ANEXO 1 que desempenham as funções de proteção principais e auxiliares do equipamento.

Na sexta coluna tem-se a faixa típica com os valores permitidos, pelo equipamento desenvolvido, para ajuste da respectiva proteção que é usada como referência e informação para os valores da sétima coluna. Estas faixas de ajustes servem como informação dos limites superiores e inferiores para a variável usada no modelo matemático comparativo da proteção.

Na sétima coluna tem-se o valor em [pu] calibrado pelo usuário para proteção. Se o valor em [pu] dessa coluna for escolhido abaixo do valor [pu] limite recomendado pela faixa de ajuste, o programa automaticamente escolherá o limite inferior da faixa de ajuste para o valor ajustado. Se o valor em [pu] estiver acima daquela da faixa permitida para a respectiva proteção, o programa escolherá automaticamente o limite superior da faixa como valores ajustáveis. A última coluna contém o valor de operação real calibrado para as proteções que é a multiplicação do valor [pu] ajustado pelo usuário vezes o valor nominal do dado do motor comparativo para a proteção. O programa calcula este valor real exibindo-o juntamente com sua dimensão.

3.6.2 - Calibração das funções dos relés auxiliares

A segunda função principal da tela das proteções é responsável pela calibração dos relés auxiliares que tem como variáveis os eventos de operação do equipamento ao invés das variáveis do motor. A figura 3.31 ilustra esta função:

Eventos	Pri	At.	No.	Funções	Descrição	Ajustes	
Ciclo de Operação	13	N	02	Partida Programada	Hora:	08:00:00 Hs	
	14	N	94	Parada Programada	Hora:	18:00:00 Hs	
	15	N	48	Partida Longa	[1 a 60].Seg	10	[seg]
	16	N	44	Partidas Seqüenciais	[1 a 3].P/Min	3	P/Min
Rearme	17	N	79	Religamento por Tempo	[1 a 3].Tent.	3	Tent.
	18	N	90T	Religamento por temp.	Faixa	[Pu]	τrelig.
					[0,4 a 0,89].τ_{ADM}	0,40	48,00 [°]
Alarme	19	N	30	Relé Anunciador	[1 a 10].Seg	1	[Seg]
	21			Reservado	-		

Figura 3.31 - Calibração dos relés auxiliares;

A primeira variável apresentada na figura 3.31 corresponde aos eventos é do ciclo de operação do motor. Nela, pode-se programar uma operação limitada para o processo no qual o motor está submetido afim que o mesmo não se danifique. Pode-se programar no tempo máximo da partida de MIT como também limitar as seqüências de suas partidas além de relés auxiliares que ligam e desligam o motor em função do horário. A segunda variável do evento é o rearme ou religamento automático, que pode ser função do tempo ou da temperatura. A última variável do evento é o alarme. Para todas as proteções que atuarem.

A sexta coluna da figura 3.31 contém uma descrição de valores em limites práticos para os relés, com respectivos ajustes na última coluna, com os quais irão trabalhar. Nos dois primeiros ajustes, programa-se o horário. Nas linhas seguintes tem-se os ajustes do máximo tempo permitido para a partida do número máximo de partidas em um minuto. Os próximos ajustes são relacionados com o evento de rearme. O primeiro calibra o equipamento para que se ocorrer uma atuação qualquer das proteções, ele automaticamente rearma o elemento principal. Se a atuação persistir e o número de tentativas de rearme for igual ao ajustado, o equipamento abandona o religamento. Na seqüência tem-se a calibração de relé de religamento por temperatura. O valor ajustado é um múltiplo fracionário valor em [pu] da temperatura da classe de isolação do MIT. Sempre que a temperatura estimada do MIT for igual ou inferior a temperatura ajustada e a função estiver desbloqueada. Na última linha da última coluna ajusta-se o tempo do alarme geral das proteções principais e auxiliares.

Nesta tela, tal como na anterior, pode-se ajustar a prioridade em qualquer grau. A prioridade de verificação das proteções e relés auxiliares é um valor entre um e vinte e um, ou seja, a primeira função a ser verificada pelo programa de equipamento é a função com prioridade um. A última tem prioridade vigésima primeira da lista de funções a terem sua atuação verificada. Qualquer mudança no valor da prioridade de uma proteção ou relé auxiliar, as demais prioridades se ordenaram na seqüência apropriada. A coluna das atuações tem-se "S" para desbloqueado e "N" para bloqueado. Assim, quando for a prioridade desta proteção e ela estiver bloqueada, o programa reconhece a não atuação e prossegue com proteção de prioridade maior, ou seja, a proteção hierarquicamente inferior.

3.7 - Tela de aquisições

Esta tela apresenta os resultados dos valores obtidos para a tensão em volts [V], corrente em ampères [A] e defasagem em graus elétricos [°] para cada fase. Com estes dados o programa desenvolvido calcula as potências aparentes [VA], ativa [W] e reativa [VAr], como também o fator de potência por fase do motor. A figura 3.32 ilustra o resultado típico relativo a função de aquisição para a fase A do MIT com resistores em paralelo conforme ANEXO 2.23:

Fase A:	
Tensão: 133,4 [V] Corrente: 4,72 [A] Defasagem: 7 [Graus]	
Potência Aparente: 629 [VA] Potência Ativa: 625 [W] Potência Reativa: 74 [VAr]	
F.P.: 0,99	

Figura 3.32 - Função de aquisição para a fase A;

Na figura 3.32 tem-se:

- Potência aparente da fase A = Tensão da fase A * Corrente da fase A
- Potência ativa da fase A = Potência aparente da fase A * Cos (defasagem)
- Potência reativa da fase A = Potência aparente da fase A * Sen (defasagem)
- F.P. = Fator de potência da fase A = Pot. da fase A/Pot. aparente da fase A

3.8 - Comportamento térmico do motor de indução trifásico[1]

Nas máquinas elétricas ocorrem perdas durante a operação das mesmas, que provocam o aquecimento das suas diversas partes componentes. Para que a vida útil da máquina seja garantida, a elevação de temperatura de seus componentes não deve exceder aos valores máximos admissíveis ([41], [65]).

Enquanto que a elevação de temperatura máxima admissível pelo enrolamento do estator é definida pela sua classe de isolamento, isto é, pelas características do material isolante utilizado, a elevação da temperatura máxima admissível pelas barras do rotor é definida pelas solicitações mecânicas resultantes dos processos de aquecimento ([3] e [4]).

Como acontece em toda transformação de energia, a potência útil fornecida pelo motor no eixo é menor que a potência que o motor consome do barramento de alimentação. A diferença entre estas duas potências representam as perdas que podem ser de origem elétrica ou magnética [14].

Além dessas, há ainda as perdas mecânicas, traduzidas em termos de atrito e ventilação. Estas, apesar de relativamente pequenas em relação as eletromagnéticas, podem aumentar consideravelmente em situações de sobrevelocidade [6].

As perdas podem assumir, conforme a forma de operação, valores apreciáveis, implicando em desperdício de energia elétrica. Além do mais, todas estas perdas são transformadas em calor, o qual aquece as partes fixas e móveis da máquina.

O somatório das perdas totais em regime nominal de funcionamento é dado por:

$$\Sigma\ p_{JN} = p_N\left(\frac{1 - \eta_N}{\eta_N}\right) \qquad (3.15)$$

Onde na equação anterior tem-se:
P_N = potência nominal do motor;
η_N = rendimento nominal do motor. Adotado $\eta_N = 0{,}85$.

O calor gerado pelo aquecimento do motor é então dissipado para o ambiente através da superfície externa da carcaça. Em motores encapsulados, esta dissipação normalmente é feita por um ventilador interno acoplado ao próprio eixo. A transferência de calor do motor para o ambiente depende principalmente:
A - da área total do dissipador do encapsulamento ou carcaça;
B - do gradiente de temperatura entre o motor e o ambiente;
C - da eficiência do sistema de ventilação.

Em motores de indução trifásicos do tipo gaiola, o enrolamento do estator e as barras que constituem o enrolamento do rotor são solicitadas termicamente, tanto nos processos de partida ou frenagem, quanto na operação em regime permanente, ou seja, o aquecimento também é função do ciclo de serviço da máquina.

3.8.1 - Elevação da Temperatura no Enrolamento do Rotor

No que se refere ao rotor, um motor de indução corretamente especificado não deve permitir que a diferença de temperatura que se estabelece entre as superfícies superior e inferior das barras, constituintes dos

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
Biblioteca MAUÁ BIM

enrolamentos rotóricos, ultrapasse um valor que pode provocar uma solicitação mecânica inadmissível.

Entretanto, as maiores elevações de temperatura do rotor resultam dos processos de partida e frenagem elétrica. A elevação de temperatura é bastante alta quando os tempos de partida e frenagem são prolongados. Em regime permanente, a temperatura cai consideravelmente. Processo semelhante ocorre com as citadas diferenças entre as superfícies superior e inferior das barras do rotor, que assumem valores elevados na partida e frenagem.

Isto significa que a solicitação térmica no rotor só alcança dimensões críticas em acionamentos com grande inércia e elevado conjugado de carga (tempo de partida e frenagem suficientemente altos). Se o acionamento não se enquadra nesta condição, a verificação da solicitação térmica de regime permanente ou do número de partidas máximo por hora, é realizada apenas em relação ao estator.

Conclui-se que as proteções contra partida longa e partidas sucessivas são indicadas na proteção do rotor. Ver itens 3.10.12 e 3.10.13.

Dessa maneira pode-se concluir também que, para a grande maioria dos acionamentos, deve-se fazer uma análise térmica para o estator apenas. Para acionamentos com elevados tempos de partida e frenagem elétrica, o comportamento térmico do rotor pode ser determinado através de simulação [3].

3.8.2. Conseqüências do aquecimento dos motores

Se o motor de indução trifásico está corretamente dimensionado, ele deve atingir a temperatura definida pela classe de isolamento na pior condição de ciclo de serviço e após superada a constante de aquecimento do mesmo definida em segundos.

Esta temperatura não deve ultrapassar a temperatura definida pela classe de isolamento da máquina, sob pena de redução da vida útil. Convém ressaltar que a temperatura admissível somente reduz a vida útil do motor, e não é a temperatura na qual o isolante se rompe, o condutor se derrete e destrói todo o enrolamento. Poucos graus acima desta temperatura podem ocorrer quebra de barras em rotores do tipo gaiola e até queima dos enrolamentos do estator.

A vida útil de isolação do motor depende quase exclusivamente da vida útil de isolação dos condutores esmaltados do enrolamento. Esta isolação é influenciada por vários fatores, tais como:

A - Temperatura de trabalho dos materiais isolantes empregados;
B - Umidade do ar;
C - Vibrações;
D - Ambientes corrosivos;
E - Qualidade dos materiais de construção, etc.

Na temperatura admissível, ocorre o deterioramento gradual do isolante, que vai se tornando ressecado, e aumentando a condutividade, até que não

suporte mais a tensão aplicada envolvido então, por conseqüência, para um curto-circuito.

Para que a vida útil da máquina seja garantida, a elevação de temperatura de seus componentes não deve exceder os máximos valores admissíveis. Uma elevação de 8 a 10 graus acima da temperatura admissível reduz sua vida útil pela metade [41].

3.8.3 - Classe de isolamento e limites de temperatura

A temperatura do ponto mais quente do enrolamento deve ser mantida abaixo do limite da classe. A temperatura total vale a soma da temperatura ambiente já com elevação de temperatura média do enrolamento e a do ponto mais quente.

As normas de motores fixam a máxima elevação de temperatura $\Delta\tau$, de modo que a temperatura do ponto mais quente fica limitada, baseada nas seguintes considerações:

A - A temperatura ambiente é, no máximo, 40 [°C] e no mínimo 0 [°C], por norma [65], e acima disso as condições de trabalho são consideradas especiais. No equipamento foi arbitrada em 35 [°C] como sendo a temperatura ambiente do laboratório;

B - A diferença entre a temperatura média e a do ponto mais quente não varia muito de motor para motor e seu valor estabelecido em norma, baseado na prática é 5[°C] para as classes A e E, 10[°C] para a classe B e 15[°C] para as classes F e H.

Os valores numéricos e a composição da temperatura admissível do ponto mais quente são indicados na tabela 3.4 a seguir:

COMPOSIÇÃO DA TEMPERATURA EM FUNÇÃO DA DA CLASSE DE ISOLAMENTO DO MOTOR						
Classe de isolamento:		A	E	B	F	H
Temperatura ambiente:	°C	40	40	40	40	40
$\Delta\tau$ = Elevação de temperatura (método da resistência)	°C	60	75	80	100	125
Diferença de temperatura entre o ponto mais quente e a temperatura média	°C	5	5	10	15	15
τ_{ADM} = Temperatura do ponto mais quente	°C	105	120	130	155	180

Tabela 3.4. Temperatura admissível em função da classe de isolamento [41], [65];

3.8.4 - Perdas em motores de indução trifásicos

A equação (3.15), que corresponde às perdas totais em regime nominal de funcionamento, pode ser escrito como:

$$\Sigma \ P_{JN} = P_N(\frac{1}{\eta_N} - 1) \tag{3.16}$$

Ou ainda:

$$\Sigma P_{JN} = m P_N + q P_N = (m+q) \cdot P_N \tag{3.17}$$

Onde na equação 3.17 tem-se:

m - porcentagem da potência nominal que representa as perdas a vazio
q - porcentagem da potência nominal que representa as perdas no cobre.

Relacionando as perdas a vazio com as perdas nominais do motor, obtém-se um fator K_0 (fator perda a vazio) o qual é dado por (3.18):

$$K_o = \frac{m P_N}{\Sigma P_{JN}} = \frac{m}{m + q} \tag{3.18}$$

As perdas a vazio correspondem às perdas no ferro, por atrito e ventilação, praticamente, e não dependem da carga.

A tabela 3.5 a seguir fornece o valor de K_o [16] em função da potência nominal e do número de pólos da máquina (velocidade síncrona). Ela foi inserida no programa desenvolvido através de um arquivo de dados que é acessado logo na entrada de dados do motor:

Potência [kW]	k_o = relação entre as perdas a vazio e as perdas totais			
	2 Pólos	4 Pólos	6 Pólos	8 Pólos
0,06 - 1,5	0,35	0,45	0,50	0,50
2,2 - 15	0,25	0,25	0,30	0,30
18,5 - 22	0,25	0,30	0,35	0,30
30 - 55	0,35	0,40	0,35	0,30
75 - 160	0,40	0,40	0,35	0,30

Tabela 3.5 - Relação entre as perdas a vazio e as perdas totais do motor em função da potência nominal e para as condições nominais de operação;

Desta forma, definindo P_{J0N} como sendo a perda a vazio (com rotor livre) no estator nas condições nominais, (3.18) pode ser escrita assim:

$$K_o = \frac{m P_N}{\Sigma P_{JN}} = \frac{P_{J0N}}{\Sigma P_{JN}} \tag{3.19}$$

Ou seja:

$$P_{J0N} = K_0 \cdot \Sigma P_{JN} \tag{3.20}$$

Substituindo (3.16) em (3.20) obtém-se:

$$P_{J0N} = K_o . P_N \left(\frac{1}{\eta_N} - 1 \right) \tag{3.21}$$

Como as perdas a vazio reproduzem, praticamente, as perdas no ferro que por sua vez são dependentes do quadrado da relação de tensão aplicada ao MIT e a tensão nominal, pode-se obter a seguinte equação geral para as perdas a vazio em qualquer tensão:

$$P_{J0} = P_{J0N} \left(\frac{U}{U_N} \right)^2 \tag{3.22}$$

Onde na equação 3.22 tem-se:

P_{J0} = perdas a vazio na máquina para uma condição geral de tensão;
U = tensão real aplicada na máquina;
U_N = tensão nominal da máquina.

A perda total no estator da máquina, P_{JN}, pode ser obtida a partir de:

$$\Sigma P_{JN} = P_{JN} + P_{JR} = P_{JEN} + P_{J0N} + P_{JR} \tag{3.23}$$

Logo, desprezando-se a perda Joule no rotor tem-se:

$$P_{JN} = \Sigma P_{JN} = P_{JEN} + P_{JON} \tag{3.24}$$

Onde nas equações (3.23) e (3.24) tem-se:

P_{JEN} = perda Joule no estator da máquina;
P_{J0N} = perdas a vazio nas condições nominais;

O valor P_{JN} apresenta-se em (3.24), ainda contém a parcela P_{J0N} que corresponde as perdas a vazio e que devem ser descontadas a fim de determinar a real perda Joule no estator da máquina (P_{JEN}) nas condições nominais. Portanto,

$$P_{JEN} = P_{JN} - P_{J0N} \tag{3.25}$$

Para uma condição geral de carga em que a corrente de operação (I) é diferente da corrente nominal (I_N), temos que a variação da perda Joule no estator da máquina é proporcional ao quadrado da relação das mesmas, ou seja:

$$P_{JE} = P_{JEN}\left(\frac{I}{I_N}\right)^2 \tag{3.26}$$

Para o cálculo da temperatura no estator da máquina, deve-se considerar na fórmula (3.23) que $P_{JR} = 0$ [W], pois para o cálculo da temperatura do estator exclui-se as perdas no rotor que pouco influenciam a temperatura do estator da expressão (3.23), tem-se:

$$\Sigma P_{JN} = P_{JN} + P_{JR} = P_{JN} \tag{3.27}$$

A perda P_E torna-se somente:

$$P_E = P_{JE} + P_{J0} \tag{3.28}$$

Assim a equação (3.28) envolve a perda Joule no estator da máquina para uma condição qualquer de carga mais a perda a vazio ou no ferro da máquina para uma condição qualquer de tensão de alimentação.

As perdas totais no estator podem ser definidas basicamente por:

$$P_E = 3R_1 \cdot I_1^2 + P_{J0} = P_{JE} + P_{JO} \tag{3.29}$$

Onde na expressão (3.29) tem-se:

R_1 = resistência do enrolamento do estator por fase [ohm];
I_1 = corrente do estator [A];
P_{J0} = perdas no ferro [W];
P_{JE} = perdas Joule no estator [W];

Tanto a resistência R_1, quanto as perdas P_{J0} podem ser consideradas, praticamente, constantes para qualquer estado operacional do motor. As perdas no ferro podem ser calculadas a partir do ensaio de rotor livre, enquanto que a resistência estatórica pode ser facilmente medida. A corrente do estator (I_1) pode variar bastante, conforme os diversos estados operacionais. Assim pode-se concluir que o aquecimento do estator é função do regime de operação do motor.

3.8.5 - Considerações sobre a corrente de tempo de aquecimento e resfriamento

O fator que define a transmissão de calor do estator (A_E) para o meio ambiente, no caso de motores auto-ventilados, depende fundamentalmente da velocidade dos mesmos. Nas condições nominais de operação, este fator pode ser determinado a partir da relação (3.41), pois são conhecidas as perdas nominais no estator, bem como a classe de isolamento do motor. A influência da ventilação no fator A_E é de difícil determinação teórica, podendo ser determinada empiricamente como em [3].

A constante de tempo de aquecimento do estator T_A também é função da velocidade em motores auto-ventilados, pois depende do fator de transmissão de calor A_E. Geralmente é possível a sua determinação através de ensaios da constante de tempo de aquecimento (T_A), para as condições nominais de velocidade e ventilação de um motor de indução trifásico.

O programa que calcula a temperatura atual do estator tem como base de cálculo, uma tabela de T_A vide tabela 3.6 em função da potência nominal e número de pólos do motor [16].

Potência [KW]	T_A = Constante de Tempo de Aquecimento em Minutos			
	2 Pólos 3600[rpm]	4 Pólos 1800[rpm]	6 Pólos 4200[rpm]	8 Pólos 900[rpm]
0,12	---	12,5	---	---
0,18	7,5	12,5	12,0	---
0,25	7,5	10,0	12,0	---
0,37	8,0	10,0	12,0	---
0,55	8,0	10,0	12,0	---
0,75	7,5	10,0	---	16,0
1,1	10,0	---	---	16,0
1,5	---	---	12,0	12,0
2,2	---	12,0	13,0	10,0
3,0	6,0	12,0	13,0	10,0
4,0	14,5	11,0	14,0	12,0
5,5	10,9	10,0	16,0	---
7,5	10,9	7,0	20,0	14,0
11,0	15,0	8,0	20,0	45,0
15,0	15,0	8,0	40,0	50,0
18,5	15,0	30,0	45,0	55,0
22,0	25,0	30,0	45,0	55,0
30,0	30,0	35,0	50,0	60,0
37,0	30,0	40,0	50,0	65,0
45,0	35,0	40,0	55,0	65,0
55,0	40,0	45,0	55,0	75,0
75,0	40,0	50,0	60,0	75,0
90,0	40,0	50,0	60,0	---
110,0	45,0	55,0	---	---
132,0	---	55,0	---	---

Tabela 3.6 - Exemplos de constantes de tempo de aquecimento de motores de indução trifásicos [16];

A constante de tempo de resfriamento (T_R) é normalmente de 3 a 4 vezes a constante de aquecimento pois o motor demora mais tempo para ceder calor ao ambiente do que ganhar calor proveniente de perdas, ou seja:

$$T_R = (3a4) \cdot T_A \qquad (3.30)$$

A constante de resfriamento usada pelo equipamento para estimar a temperatura decrescente do motor quando o mesmo está desligado é de:

$$T_R = 3\ T_A \qquad (3.30a)$$

3.8.6 - Cálculo da elevação da temperatura do enrolamento do estator [1]

Vários trabalhos ([3], [4], [6] e [16]) bastante complexos levam em conta a natureza dos materiais usados nas partes fixas e móveis das máquinas para a determinação da elevação da temperatura do estator, a qual é resultante das perdas Joule nos seus enrolamentos, bem como as perdas a vazio para uma condição genérica {vide equação (3.28)}.

Durante o processo (ciclo de serviço) executado pelo motor na indústria, define-se o estado operacional para a análise do comportamento térmico. Outra consideração a ser tomada na estimativa da temperatura média da máquina pode ser feita admitindo-se que a máquina é um corpo homogêneo quando da transferência de calor para o ambiente, como é usual neste tipo de análise.

Ao energizar a máquina, surgem as perdas totais no estator {P_E na equação (3.29)}, as quais elevam o diferencial de temperatura $\Delta\tau$, de modo que:

$$\tau_{atual} = \tau_{anterior} + \Delta\tau \qquad (3.31)$$

Para tal é necessário uma quantidade de energia ΔQ dada por:

$$\Delta Q = C_E \,.\, \Delta\tau \qquad (3.32)$$

Numa temperatura τ_E qualquer acima do ambiente, a quantidade de calor transferida para o ambiente no intervalo diferencial de tempo dT, é:

$$Q = A_E \,.\, t_E \, dT \qquad (3.33)$$

Assim, substituindo (3.33) e (3.32) em (3.31), obtém-se:

$$P_E \,.\, dT = Q + \Delta Q \qquad (3.34)$$

Para variações infinitesimais de temperatura e tempo, tem-se:

$$P_E \,.\, dT = C_E \,.\, d\tau_E + A_E \,.\, \tau_E \,.\, dT \qquad (3.35)$$

Dividindo-se por dT, temos:

$$P_E = C_E \,.\, \frac{d\tau_E}{dT} + \tau_E \,.\, A_E \qquad (3.36)$$

Onde, nas equações anteriores tem-se:

τ_E = elevação de temperatura do estator [°C];
C_E = capacidade térmica do material que constitui o estator [W/°C.S^{-1}];
A_E = fator que define a transmissão de calor do estator para o ar [W/°C];
P_E = perdas totais no estator que são as perdas no enrolamento acrescida daquelas ocorridas no ferro [W].

Pela equação (3.36), nota-se que uma parcela da energia perdida contribui na elevação de temperatura do motor enquanto a outra parte é transferida para o ambiente. Obviamente, quanto maior a diferença entre a temperatura do estator e do meio ambiente, maior será a parcela transferida para o ambiente.

Definindo-se a constante de tempo de aquecimento do estator (T_A)em segundos, vem:

$$T_A = \frac{C_E}{A_E} \tag{3.37}$$

Substituindo esta relação (3.37) na equação (3.36), temos:

$$T_A = \frac{dt_E}{dT} + t_E = \frac{P_E}{A_E} \tag{3.38}$$

Resolvendo-se a equação diferencial (3.38) e impondo as condições de contorno da equação (3.31), obtemos:

$$\tau_{atual} = \tau_{anterior}\, e^{-\frac{dT}{T_A}} + \frac{P_E}{A_E}\left(1 - e^{-\frac{dT}{T_A}}\right) \tag{3.39}$$

Se a máquina está em regime permanente ($t \rightarrow \infty$) e nas condições nominais, a temperatura final alcançada é a admissível, τ_{ADM}, ou seja:

$$\tau_{atual}\ (t \ \infty) = \tau_{admissível} = \tau_{ADM} = \frac{\sum P_{JN}}{A_E} \tag{3.40}$$

Assim o fator de ventilação, vale:

$$A_E = \frac{\sum P_{JN}}{\tau_{ADM}} \tag{3.41}$$

Levando (3.41) em (3.39) e discretizando os diferenciais de tempo ($\Delta T = dT$) obtém-se

$$\tau_{atual} = \tau_{anterior}\, e^{-\frac{\Delta T}{T_A}} + \frac{\tau_{ADM} \cdot P_E}{\sum P_{JN}} \left(1 - e^{-\frac{\Delta T}{T_A}}\right) \tag{3.42}$$

Normalizando a equação (3.42) para a temperatura admissível da classe do motor, vem:

$$\frac{\tau_{atual}}{\tau_{ADM}} = \frac{\tau_{anterior}}{\tau_{ADM}}\, e^{-\frac{\Delta T}{T_A}} + \frac{P_E}{\sum P_{JN}} \left(1 - e^{-\frac{\Delta T}{T_A}}\right) \tag{3.43}$$

Como visto em (3.29), $P_E = P_{JE} + P_{J0}$, então a equação (3.43) torna-se

$$\frac{\tau_{atual}}{\tau_{ADM}} = \frac{\tau_{anterior}}{\tau_{ADM}}\, e^{-\frac{\Delta T}{T_A}} + \frac{P_{JE} + P_{J0}}{\sum P_{JN}} \left(1 - e^{-\frac{\Delta T}{T_A}}\right) \tag{3.44}$$

Desconsiderando as perdas no rotor tal como na equação (3.30) a equação (3.44) pode ser escrita da seguinte forma:

$$\frac{\tau_{atual}}{\tau_{ADM}} = \frac{\tau_{anterior}}{\tau_{ADM}}\, e^{-\frac{\Delta T}{T_A}} + \frac{P_{JE} + P_{J0}}{P_{JN}} \left(1 - e^{-\frac{\Delta T}{T_A}}\right) \tag{3.45}$$

Se o motor for desligado, então a tensão e a corrente são nulas (U e I = 0), e portanto, não há perdas no estator, ou seja:

$$P_{J0} = P_{J0N} \left(\frac{U}{U_N}\right)^2 = 0\,[W] \tag{3.46}$$

$$P_{J0} = P_{JEN} \left(\frac{I}{I_N}\right)^2 = 0\,[W] \tag{3.47}$$

Rescrevendo a equação (3.48) para estas situações, tem-se:

$$\frac{\tau_{atual}}{\tau_{ADM}} = \frac{\tau_{anterior}}{\tau_{ADM}}\, e^{-\frac{\Delta T}{T_A}} \tag{3.48}$$

Visto que durante a fase de resfriamento a constante de tempo a ser usada é T_R, a equação de temperatura para quando o motor está desligado, com base em (3.30a) e (3.48), pode ser dada por (3.49):

$$\frac{\tau_{atual}}{\tau_{ADM}} = \frac{\tau_{anterior}}{\tau_{ADM}}\, e^{-\frac{\Delta T}{T_R}} \tag{3.49}$$

Onde a constante de resfriamento do motor é três vezes maior que sua constante de aquecimento.

3.9 - Efeito do carregamento do motor na temperatura

A tela que apresenta os resultados relativos ao efeito do carregamento do motor possui duas funções principais: a temperatura e a corrente em função do tempo, conforme ilustram as figuras 3.33 e 3.34.

Quando o motor é energizado o cálculo da temperatura do estator no tempo utiliza a fórmula [3.45] e a fórmula [3.49] para motor nas condições ligado e desligado respectivamente. O resultado da temperatura atual é plotado em função do tempo. As três retas traçadas na figura 3.33 delimitam a curva da temperatura do motor.

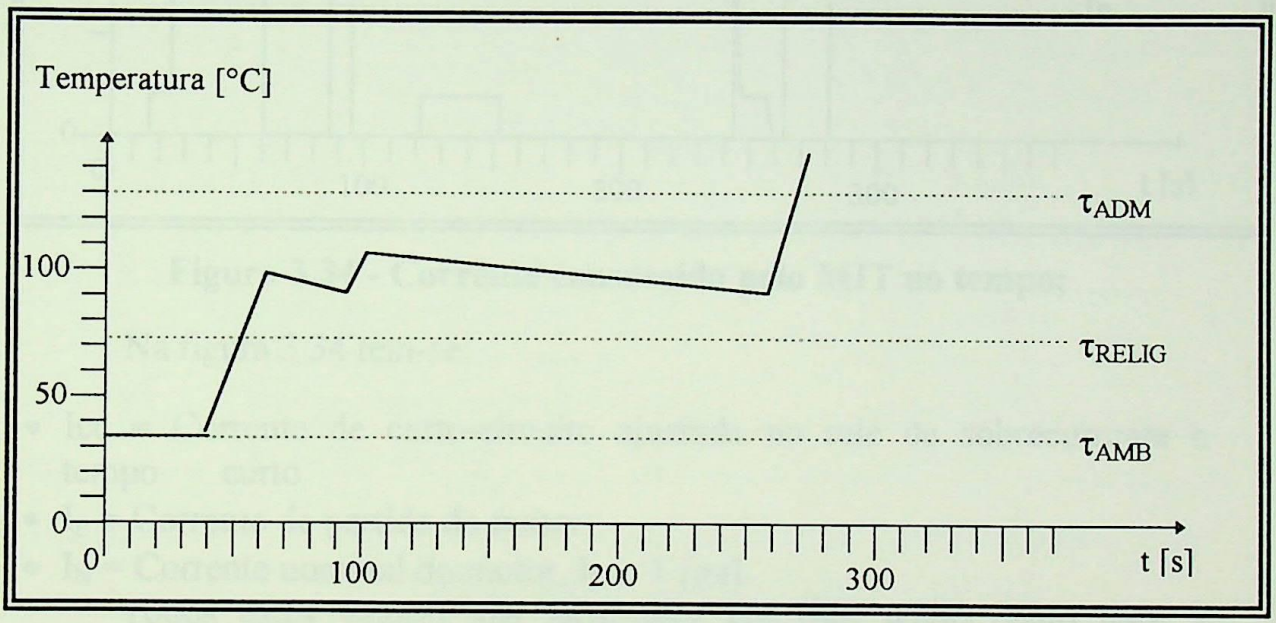


Figura 3.33 - Temperatura estimada do estator do MIT no tempo;

Na figura 3.33 tem-se:

- τ_{ADM} = Temperatura admissível, para a classe de isolação do motor segundo a tabela 3.4;
- τ_{RELIG} = Temperatura de rearme do relé de religamento por temperatura;
- τ_{AMB} = Temperatura ambiente constante arbitrada em 35 [°];

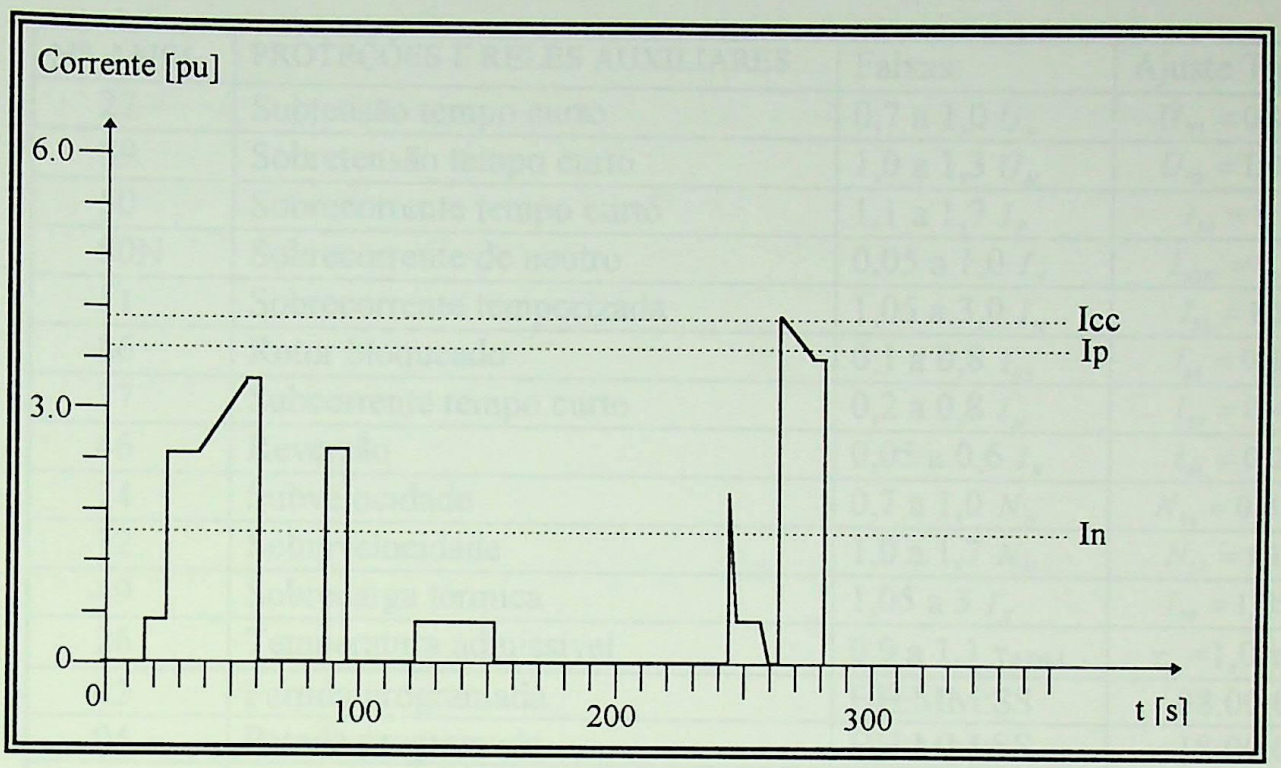


Figura 3.34 - Corrente consumida pelo MIT no tempo;

Na figura 3.34 tem-se:

- Icc = Corrente de curto-circuito ajustada no relé de sobrecorrente a tempo curto
- I_P = Corrente de partida do motor;
- I_N = Corrente nominal do motor, $I_N = 1$ [pu].

Todos estes valores são mostrados em [pu] tendo como base a corrente nominal do motor. O limite máximo da ordenada em [pu] é automático, e depende do valor máximo da corrente a ser medida (Icc ou I_P). A abcissa de tempo é deslocada a cada 2,5 minutos depois de decorridos os 5 primeiros minutos, com este gráfico. Podemos observar a elevação de temperatura em função da corrente consumida pelo motor.

3.10 - Descrição das proteções e relés auxiliares do equipamento desenvolvido

Para maior entendimento dos diversos procedimentos adotados pelo sistema, são descritos a seguir as faixas de valores e variáveis adotados para o gerenciamento das funções de proteção e relés auxiliares, a partir dos algoritmos propostos que estão no ANEXO 1. As proteções e respectivas faixas de ajuste estão apresentadas na tabela 3.7 a seguir:

N° ANSI	PROTEÇÕES E RELÉS AUXILIARES	Faixas:	Ajuste Típico:
27	Subtensão tempo curto	0,7 a 1,0 U_N	$U_{27} = 0{,}89U_N$
59	Sobretensão tempo curto	1,0 a 1,3 U_N	$U_{59} = 1{,}05U_N$
50	Sobrecorrente tempo curto	1,1 a 1,7 I_P	$I_{50} = 1{,}1I_P$
50N	Sobrecorrente de neutro	0,05 a 1,0 I_N	$I_{50N} = 0{,}1I_N$
51	Sobrecorrente temporizada	1,05 a 3,0 I_N	$I_{51} = 1{,}3I_N$
86	Rotor bloqueado	0,1 a 0,8 T_{RB}	$T_{86} = 0{,}8T_{RB}$
37	Subcorrente tempo curto	0,2 a 0,8 I_N	$I_{37} = 0{,}4I_N$
46	Reversão	0,05 a 0,6 I_N	$I_{46} = 0{,}2I_N$
14	Subvelocidade	0,7 a 1,0 N_N	$N_{14} = 0{,}85N_N$
12	Sobrevelocidade	1,0 a 1,7 N_N	$N_{12} = 1{,}1N_N$
49	Sobrecarga térmica	1,05 a 3 I_N	$I_{49} = 1{,}05I_N$
26	Temperatura admissível	0,9 a 1,1 τ_{ADM}	τ_{26}=1,0 τ_{ADM}
02	Partida programada	HH:MM:SS	08:00:00
94	Parada programada	HH:MM:SS	18:00:00
48	Partida longa	1 a 60 [s]	$T_{48} = 10[s]$
44	Partidas seqüenciais	1 a 3 [p/min]	$N_{44} = 3[p/min]$
79	Religamento por tempo	1 a 3 [tent.]	$N_{79} = 3[tent.]$
90T	Religamento por temperatura	0,4 a 0,89 τ_{ADM}	τ_{90T}=0,4τ_{ADM}
30	Relé anunciador	1 a 10 [s]	$T_{30} = 1[s]$

Tabela 3.7 - Proteção e relés auxiliares do equipamento com respectivas faixas de calibração e ajustes típicos;

Onde na tabela 3.7 tem-se:

A - Ajuste das proteções:

U_{27}= Tensão de operação da proteção de subtensão a tempo curto;
U_{59}= Tensão de operação "pick-up" da proteção de sobretensão a tempo curto;
I_{49} = Corrente de sobrecarga térmica mínima;
τ_{26} = Temperatura de atuação da proteção contra elevação da temperatura admissível;
T_{48} = Tempo permitido para a partida longa;
N_{44}= Número máximo de partidas por minuto permitida;
N_{79}= Número de tentativas de religamento após uma falta qualquer;
τ_{90T}= Temperatura de "drop-out" ou temperatura de religamento;

T_{30} = Tempo de alarme sonoro do relé anunciador;
I_{50} = Corrente de operação da proteção contra sobrecorrente a tempo curto;
I_{50N}= Corrente de operação da proteção contra sobrecorrente de neutro tempo curto;
I_{51}= Corrente de operação mínima para o relé de sobrecorrente temporizada;
T_{86}= Tempo permitido para o rotor bloqueado;
I_{37}= Corrente mínima permitida para o relé de subcorrente tempo curto;
I_{46}= Corrente de desequilíbrio máxima permitida;
N_{14}= Velocidade máxima do motor;
N_{12}= Velocidade mínima do motor;
[p/min]= Partidas por minuto;
[tent.]= Tentativas de religamento;
[s] = segundos;
HH:MM:SS = Formato usado no programa e na mensagem padrão para o horário de atuação das funções.

B - Dados do motor:

U_N= Tensão nominal do motor monitorado;
I_N= Corrente nominal do motor monitorado;
I_P= Corrente de partida do motor;
T_P= Tempo de partida estimado pelo usuário;
T_{RB}= Tempo de rotor bloqueado;
N_N= Rotação nominal do motor;
τ_{ADM} = Temperatura de isolação da classe do motor.

Nos itens a seguir, temos as filosofias de detecção de atuação para as proteções e relés auxiliares desenvolvidos cujos fluxogramas estão no ANEXO 1.

3.10.1 - Proteção contra subtensão

O valor das tensões trifásicas medidas, é comparado com o valor mínimo de referência ou valor de "drop-out" ou "drop-off", U_{27} ,ajustado. O ajuste é feito através da normalização com valores base adequados aos dados do motor. Assim o ajuste pode estar entre 0,7 e 1 [pu], ou seja, entre 70 a 100% da tensão nominal fase-neutro do MIT. O programa compara todas as combinações das tensões trifásicas com o valor ajustado para verificar se deve agir ou não. A ordem de verificação das proteções depende da prioridade com relação às demais proteções desbloqueadas.

O algoritmo do ANEXO 1.1 utilizado para esta proteção efetua a comparação de todas as três tensões fase-neutro em relação a tensão de operação U_{27}. Caso contrário o programa prossegue nas comparações, desta vez duas a duas. Se duas das tensões trifásicas estiverem menores que a tensão U_{27}, a mensagem padrão da falta mostrará quais são elas. Finalmente o programa parte para a verificação individual das tensões trifásicas. Se uma das condições ficar abaixo de U_{27}, o programa do equipamento aciona a proteção desligando o motor e exibindo uma mensagem padrão identificando-a como uma falta trifásica de subtensão.

3.10.2 - Proteção contra sobretensão

O programa principal verifica a prioridade e desbloqueio da proteção quando supervisiona o conjunto de funções da tela das proteções. Após isto, quando for a vez (prioridade) da verificação de uma função do conjunto, o programa verifica em seguida a sua habilitação. Caso a proteção de sobretensão esteja habilitada na sua vez de verificação, o programa confere o fluxograma de proteção de sobretensão no ANEXO 1.2. O fluxograma é o dual do fluxograma da proteção de subtensão descrita no item anterior. O valor real em volts da última coluna no quadro de calibração das proteções na tela de proteção é a tensão de "pick-up",U_{59}. Este valor em volts é o resultado do valor ajustado em [pu] na penúltima coluna, que deve estar dentro da faixa recomendada na coluna anterior, vezes a tensão nominal fase-neutro do MIT. Isto é feito assim, já que as tensões aquisitadas em tempo real para verificação e comparação, são tensões trifásicas fase-neutro. A tensão fase-neutro do MIT é fornecida indiretamente pelo usuário, pois ela é calculada pelo programa através da tensão nominal fase-fase fornecida na tela de dados do motor.

3.10.3 - Proteção contra sobrecorrente de fase a tempo curto

O valor de operação sobrecorrente a tempo curto, I_{50}, pode ser ajustado entre 1,1 e 1,7 I_P. Os valores para esta faixa podem ser obtidos por uma aproximação do fator de assimetria de curto-circuito (tabela 2.1) em função da tensão. A faixa entre I_P e $1,1I_P$ será protegida pelas demais funções, cujas variáveis da verificação são correntes. Quando o valor aquisitado de corrente for maior que o valor delimitado por I_{50}, esta proteção atua desligando o motor.

Uma mensagem padrão é exibida mostrando a função e fase (s) que atuaram e o horário que a mesma ocorreu. O fluxograma do ANEXO 1.3 ilustra o algoritmo desta proteção. Este algoritmo é o dual do algoritmo para proteção de subcorrente (Vide ANEXO 1.6).

3.10.4 - Proteção contra sobrecorrente de neutro

O equipamento foi desenvolvido para qualquer relação de TC em qualquer das três fases. Porém, ele não dispõe de um sensor da corrente de neutro tal como um TC do tipo janela ou TC's ligados com derivação de neutro. A aquisição do valor da corrente de neutro é feita pelo desequilíbrio de somente uma das fases. Isto significa que há uma fuga considerável de corrente entre uma das fases e o neutro ou terra do sistema, dependendo do aterramento do neutro do SEI..

A proteção é bloqueada automaticamente na partida sendo que existe um tempo de atraso entre a sua verificação inicial e o tempo de acionamento do motor. Quando o motor é ligado, somente 1 [s] depois as proteções são verificadas. Isto foi feito para que o filtro de valores médios aquisitados se estabilize para perfeito funcionamento de detecção desta proteção.

O tempo de atuação da proteção 50N é a tempo curto sendo maior que 1 [s] quando da partida do motor e maior do que a T_{ins} quando em regime contínuo.

O fluxograma da subrotina do programa do equipamento que verifica a proteção 50N está no ANEXO 1.4. Nele podemos observar que a sobrecorrente de neutro será verificada pela anomalia de qualquer uma das três correntes de fase com a vantagem de não se usar um sensor de corrente de neutro.

Quando a função é verificada, ela lê os dados que usa através dos arquivos gerados pelo programa principal. Os módulos das correntes trifásicas aquisitados são subtraídos dois a dois. Para maior efeito de proteção, o algoritmo compara a maior das três subtrações com a corrente máxima de neutro, I_{50N}, calibrada anteriormente. Se a maior das três subtrações for maior que a corrente de "pick-up" do relé 50N , o equipamento desligará o motor exibindo a respectiva mensagem padrão deste tipo de falta.

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
Biblioteca
MAUÁ
B M

3.10.5 - Proteção contra rotor bloqueado

A filosofia de detecção desta proteção consiste no módulo das três correntes I_A, I_B, I_C e um temporizador. O algoritmo da proteção, ANEXO 1.5, escolhe através de comparações qual das três correntes é a maior. Esta corrente é comparada com 90% da corrente de partida do MIT. O valor da maior corrente não pode ser maior que 0,9 I_P durante T_{86} segundos. O princípio adotado é o mesmo da proteção associada, princípio da corrente e tempo.

Se em qualquer instante de funcionamento a maior das três correntes I_A ou I_B ou I_C for maior que 0,9 I_P dispara-se uma contagem de tempo do temporizador. Esta contagem é zerada se a maior das três correntes for menor do que 90% de I_P. Quando o tempo de contagem esgotar o tempo de ajuste de rotor bloqueado, T_{86} = 0,1 a 0,8 T_{RB} , a proteção atuará desligando o contator principal e o motor.

3.10.6 - Proteção contra subcorrente a tempo curto

O valor ajustado a ser comparado é uma fração da corrente nominal. Se a menor das três correntes, I_A e I_B ou I_C for menor que o valor I_{37} e a proteção estiver desbloqueada, o equipamento desligará o motor exibindo a respectiva mensagem padrão.

O método de identificação das fases em falta através do fluxograma do ANEXO 1.6 é o mesmo usado nas proteções de subtensão e sobretensão bem como na sobrecorrente a tempo curto. As fases em falta são exibidas no segundo campo das mensagens padrão destas funções através desta (Vide ANEXO) filosofia de identificação das fases.

Existe um tempo de atraso de 1 [s] entre o acionamento do motor e a verificação desta e das demais proteções. Isto é feito para a inicialização do programa. Após este período seu tempo de atuação é curto, ou seja, praticamente instantâneo com tempo um pouco maior que T_{ins}, aproximadamente 100 [ms].

3.10.7 - Proteção contra desequilíbrio de corrente

A filosofia da determinação desta proteção utiliza a soma fasorial das correntes trifásicas em respectivos ângulos de deslocamentos segundo o ANEXO 1.7.

O equipamento aquisita o módulo das três correntes e a diferença de ângulo entre eles e seus vetores de tensão, conforme ilustra a figura 3.35:

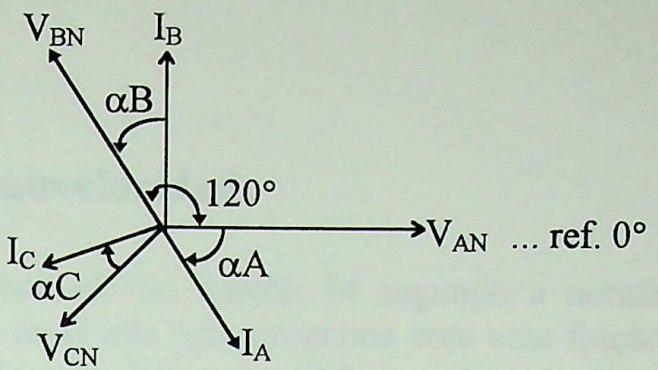


Figura 3.35 - Diagrama fasorial dos valores de tensão, corrente e ângulo aquisitados;

Estes ângulos tem que ser correlacionados para 360°, como mostra a tabela 3.8:

REFERÊNCIAS	ÂNGULO AQUISITADO	FAIXA DE VARIAÇÃO	ANGULO CORRIGIDO
V_{AN}, I_A	αA	(0 a 90°)	αA' = - αA
V_{BN}, I_B	αB	(0 a 90°)	αB' = 120° - αB
V_{CN}, I_C	αC	(0 a 90°)	αC' = 240° - αC

Tabela 3.8 - Correspondência entre os módulos aquisitados e os ângulos corrigidos matematicamente para o cálculo da corrente de desequilíbrio;

Se a soma fasorial das três correntes resultam em módulo de valor próximo a zero temos o equilíbrio, como mostra na equação (3.50):

$$\dot{I}_d = I_A \angle \alpha A' + I_B \angle \alpha B' + I_C \angle \alpha C' \qquad (3.50)$$

Se o módulo da corrente de desequilíbrio for maior que a corrente de ajuste, I_{46} (0,1 a 1,0 I_N), estando a proteção desbloqueada, ela atuará desligando o motor e exibindo a respectiva mensagem padrão.

Os valores de corrente e ângulo são inicialmente convertidos da forma polar para a forma retangular. Em seguida somam-se as partes reais e imaginárias das correntes trifásicas obtendo a corrente de desequilíbrio na forma retangular. Converte-se para a forma polar e compara-se o módulo nesta corrente com a fração ajusta da corrente nominal, I_{46}. O módulo $\dot{I}_d$, será:

$$\left|\dot{I}_d\right| = \sqrt{I_{dR}^2 + I_{dI}^2} \qquad (3.51)$$

3.10.8 - Proteção contra subvelocidade

A proteção contra subvelocidade ou função 14 segundo a norma ANSI [24] compara a velocidade atual lida pelo programa com uma fração ajustada da velocidade nominal do eixo. Este valor pode ser ajustado entre 0,7 e 1 vezes a velocidade nominal fornecida na tela de dados do motor. Se o valor da velocidade atual for menor a proteção 14 atuará desligando o motor e exibindo a respectiva mensagem padrão. O ANEXO 1.8 ilustra o fluxograma seguido pelo programa para a filosofia de detecção da proteção contra subvelocidade.

3.10.9 - Proteção contra sobrevelocidade

A verificação desta proteção 12 ANSI [24] é similar a proteção 14 anterior. A diferença é que o valor ajustado está acima da velocidade nominal. O valor possível de ser ajustado está na faixa 1 a 1,3 da velocidade nominal. Caso a velocidade atual seja maior que a velocidade calibrada e a proteção estiver desbloqueada, o motor será desligado e o equipamento exibirá a respectiva mensagem padrão. O ANEXO 1.9 ilustra a filosofia de detecção desta proteção sendo que ambas as proteções de velocidade tem tempo de atuação curto em regime contínuo. São usadas principalmente em acionamentos controlados.

3.10.10 - Proteção contra elevação da temperatura admissível

Esta proteção é prevista pela norma ANSI [24] como função 26. A partir da temperatura estimada do MIT, o uso desta proteção permite evitar a ultrapassagem da temperatura máxima admissível da classe de isolação do motor em análise. O ANEXO 1.10 apresenta o algoritmo desta proteção.

3.11 - Relés auxiliares

Os relés auxiliares são funções de proteções que nem sempre necessitam do uso da variável aquisitada de tensão, corrente, etc. Estes dispositivos são incorporados ao programa principal com o objetivo de completar as funções de proteção e fornecer novas opções de operação do equipamento para o usuário.

3.11.1 - Relé para partida programada

Esta função auxiliar não protege contra nenhum tipo de falta. Ela é uma opção para o usuário sendo conhecida por função 02 na norma ANSI [24].

Quando o horário programado para este relé auxiliar coincidir com o horário real do sistema operacional (horário atual), e se a função partida programada estiver desbloqueada com o motor desligado, ele ligará o motor automaticamente (caso o motor já estivesse ligado, a função não teria efeito mesmo estando desbloqueada).

O fluxograma deste relé auxiliar está no ANEXO 1.11.

3.11.2 - Relé para parada programada

Esta opção é a dual da anterior sendo conhecida como função 94 na norma ANSI [24]. Ela também independe das variáveis aquisitadas de tensão, corrente, etc. A grandeza de atuação deste relé corresponde ao horário do sistema operacional disponível no microcomputador. Para esta aplicação o motor é desligado, quando a hora atual e o dia coincidir com o horário programado. O fluxograma do ANEXO 1.12 ilustra o algoritmo deste relé auxiliar.

3.11.3 - Relé contra partida longa

Este relé perfaz a proteção contra partida longa através das correntes trifásicas aquisitadas: I_A, I_B e I_C e um temporizador. A rotina de verificação desta função escolhe a maior das três correntes assim que o motor é ligado. Existe um detector que dispara um contador de tempo (temporizador) equivalente ao tempo de partida do motor em andamento. O nível deste detector é fixo em duas vezes a corrente nominal ($2I_N$), ou seja, ele irá disparar o temporizador que indica o tempo de partida, quando a maior das três correntes ultrapassar este valor. O temporizador é automaticamente zerado quando a maior das três correntes possuir um valor inferior a $2I_N$.

O tempo de ajuste para o tempo da função 48 , T_{48} , pode ser selecionado entre 1 e 60 [s]. Ele deve ser maior que o tempo de partida, T_P, necessário para que o motor alcance sua velocidade nominal para a carga (processo) em uso. O tempo T_{48}, é conhecido como T_{SK}, ou tempo de critério de partida (Vide item 2.4.3).

Se o tempo de partida em andamento exceder o tempo ajustado, a proteção atuará parando o motor, e exibindo uma mensagem padrão.

O fluxograma deste relé auxiliar está descrito no ANEXO 1.13.

3.11.4 - Relé contra partidas seqüenciais

Este relé auxiliar que perfaz a proteção contra partidas seqüenciais tem como variável de análise o número de partidas do motor no último minuto dentro do programa. Existe um contador de partidas manuais efetuadas no último minuto. Toda vez que o motor é ligado, a contagem é incrementada sendo que se o horário atual menos o horário da última partida for maior ou igual a um minuto, a contagem é zerada.

A proteção atuará não permitindo novas partidas caso o número do contador for maior ou igual ao número máximo de partidas por minuto ajustada na tela das proteções na função dos relés auxiliares N_{44} . A faixa de valores permitidos para N_{44} começa com uma partida por minuto até no máximo três partidas por minuto. Caso o número de eventos de partidas for maior que o número programado, N_{44} , a proteção atuará imediatamente após a partida desligando o motor, verificando os relés de acionamento e exibindo a respectiva mensagem padrão.

Em motores de média tensão e potências maiores que 1000 [HP] é comum o fornecimento da freqüência máxima de partidas por minuto com dado de placa.

O fluxograma do ANEXO 1.14 ilustra o algoritmo deste relé auxiliar

3.11.5 - Relé de religamento por tempo

Esta função é conhecida por função 79 norma ANSI [24], e deve ser desbloqueada em conjunto com uma proteção qualquer. Sempre que houver a atuação de uma proteção e o relé de religamento por tempo estiver desbloqueado, após um tempo fixo de 30 [s] ele ligará o motor automaticamente exibindo a respectiva mensagem padrão.

Existe uma faixa permitida para o ajuste do número de tentativas de religamento ou restabelecimento do motor por este relé. Este valor vai de uma tentativa até no máximo três tentativas. A não tentativa, ou número de tentativas zero, é feita com o relé desbloqueado mesmo estando ajustado para um número entre 1 e 3. O ANEXO 1.15 desempenha o algoritmo seguido pelo programa para a detecção desta função.

3.11.6 - Relé de religamento por temperatura

Este relé auxiliar possui a função 90T na norma ANSI [24] e atua para a temperatura de religamento entre 40% e 89% da temperatura admissível. O limite de 89% foi definido para que não entre em conflito com o limite mínimo do relé de temperatura admissível, 90%. O limite mínimo de 40% da temperatura admissível para a classe do motor foi definido para que se tenha uma reserva térmica de 60% caso $\tau_{26} = 1$ [pu], ou seja $\tau_{26} = \tau_{ADM}$ da classe do motor. Ele foi construído para ser usado em conjunto com o relé de temperatura estimada do motor.

Quando o motor é ligado em condições nominais, sua temperatura cresce tendendo a atingir a temperatura admissível após aproximadamente cinco vezes sua constante de tempo de aquecimento. Caso a temperatura estimada ultrapasse o valor calibrado para a temperatura de atuação da função contra elevação de temperatura admissível, o equipamento desligará o motor fornecendo um segundo desbloqueamento automático para a função de religamento por temperatura. Vide finais dos ANEXOS 1.15 e 1.16.

Esta lógica foi implementada para que a primeira ultrapassagem da temperatura estimada sobre a temperatura de religamento não provoque uma atuação desnecessária da função. Uma vez acionada a proteção contra a temperatura admissível o motor é desligado e sua temperatura decresce. Quando a temperatura estimada em declínio atingir a temperatura de religamento calibrada, $\tau = \tau_{90T}$, o equipamento ligará o motor exibindo a respectiva mensagem padrão. Isto significa que o motor foi automaticamente religado devido a função 90T . Assim a temperatura estimada para o motor torna a crescer até que a proteção 26 atue novamente. Isto perfaz um ciclo de carga para motores subdimensionados sem que estes percam vida útil ou danifiquem por sobreaquecimento.

O motor trabalha de acordo com sua capacidade térmica. É uma proteção especial contra mal dimensionamento de MIT's e um dos objetivos desta dissertação. O fluxograma desta função está no ANEXO 1.16.

3.11.7 - Relé anunciador

Este relé auxiliar é previsto como função 30 na norma ANSI [24] sendo usado em conjunto com qualquer proteção do equipamento. Quando uma das proteções atuar, o programa verifica se o relé anunciador está desbloqueado e seu tempo de operação. Caso esteja, ocorrerá um sinal sonoro no microcomputador durante o tempo de atuação ajustado. Esta função não exibe mensagem visual na tela, pois o seu sinal sonoro já é um

alarme do equipamento para o usuário. O ANEXO 1.17 ilustra o fluxograma que desempenha o relé anunciador.

3.12 - Funções temporizadas

As funções temporizadas foram desenvolvidas para serem ajustadas por meio da tela gráfica do programa. Esta tela fornece o vetor de tempo associado versus múltiplos da corrente nominal. Ela pode ser acessada através da tela das proteções. Para efetuar alterações em valores ajustados nas proteção utiliza-se de um gráfico cartesiano em escalas logarítmicas graduado em décadas, onde estão representados o tempo de atuação (na vertical) e a corrente em múltiplos da corrente nominal (na horizontal).

A principal função desta parte do programa é gerar um arquivo de dados associado ao tempo para efetuar a verificação das proteções temporizadas pelo programa principal.

Assim, esta tela gráfica tem por finalidade calibrar automaticamente os relés temporizados que compõe o sistema de proteção de motores, através de uma escolha gráfica das famílias de curvas selecionáveis de acordo com as características desejadas, em função da corrente de curto-circuito na barra onde está o motor, e em função das correntes de sobrecarga e sobrecorrente do motor. Além disso são possíveis curvas características de tempo inverso, tempo definido e tempo extremamente inverso para a proteção contra sobrecorrente temporizada.

É mostrado um gráfico em coordenadas logarítmicas, onde o eixo horizontal representa a corrente graduada em [pu] de 1 a 10 e o eixo vertical representa o tempo de atuação em segundos, graduado em décadas, desde T_{ins} a 1000 [s].

As quatro opções que, conforme as proteções tiverem ou não sido ativadas no menu principal, poderão ou não ser selecionadas.

3.12.1 - Proteção contra sobrecorrente temporizada característica tempo definido

A característica de tempo definido, depende do tempo de partida do motor e do tempo de operação da função. O tempo de operação definido deve ser maior que o tempo de partida do motor, pois caso contrário, o relé de sobrecorrente a tempo definido atuará na partida. Existe uma proteção do programa caso o usuário ajuste um tempo definido para a operação da proteção 51 menor que o tempo de partida do motor.

3.12.2 - Proteção contra sobrecorrente temporizada característica tempo inverso

A característica para a curva de tempo inverso é traçada como sendo uma conjunto de dez curvas, a partir da equação padrão (3.52) definida pela norma ANSI [24] onde os parâmetros valem:

$$y = \frac{K_c \cdot K_n}{x^{\beta} - 1} \qquad (3.52)$$

Onde na equação (3.52) tem-se
x = Corrente de operação em [pu];
y = Tempo de operação em [s];
$K_c = 0{,}08$;
$\beta = 0{,}02$;
$K_n = 0{,}1$ a $1{,}0$.

Esta equação do relé com estes parâmetros representa a característica de atuação por **tempo inverso**. Cada uma das dez curvas tem um valor de k_n diferente desde 0,1 a 1,0 que podem ser selecionados pelo usuário através do seletor "Dial" de tempo. São calculados 220 pontos por curva e guardados em uma matriz. Estes valores são incrementados de maneira exponencial, para que os pontos, no gráfico logarítmico, fiquem igualmente espaçados entre si, apresentando uma melhor continuidade da curva. Os pontos são ligados entre si através de segmentos de retas. O gráfico 3.1 ilustra as curvas com característica inversa geradas e escolhidas pelo seletor de tempo. Note que a proteção contra sobrecorrente a tempo curto possui a corrente de operação sete (7) vezes maior que a corrente nominal do motor.

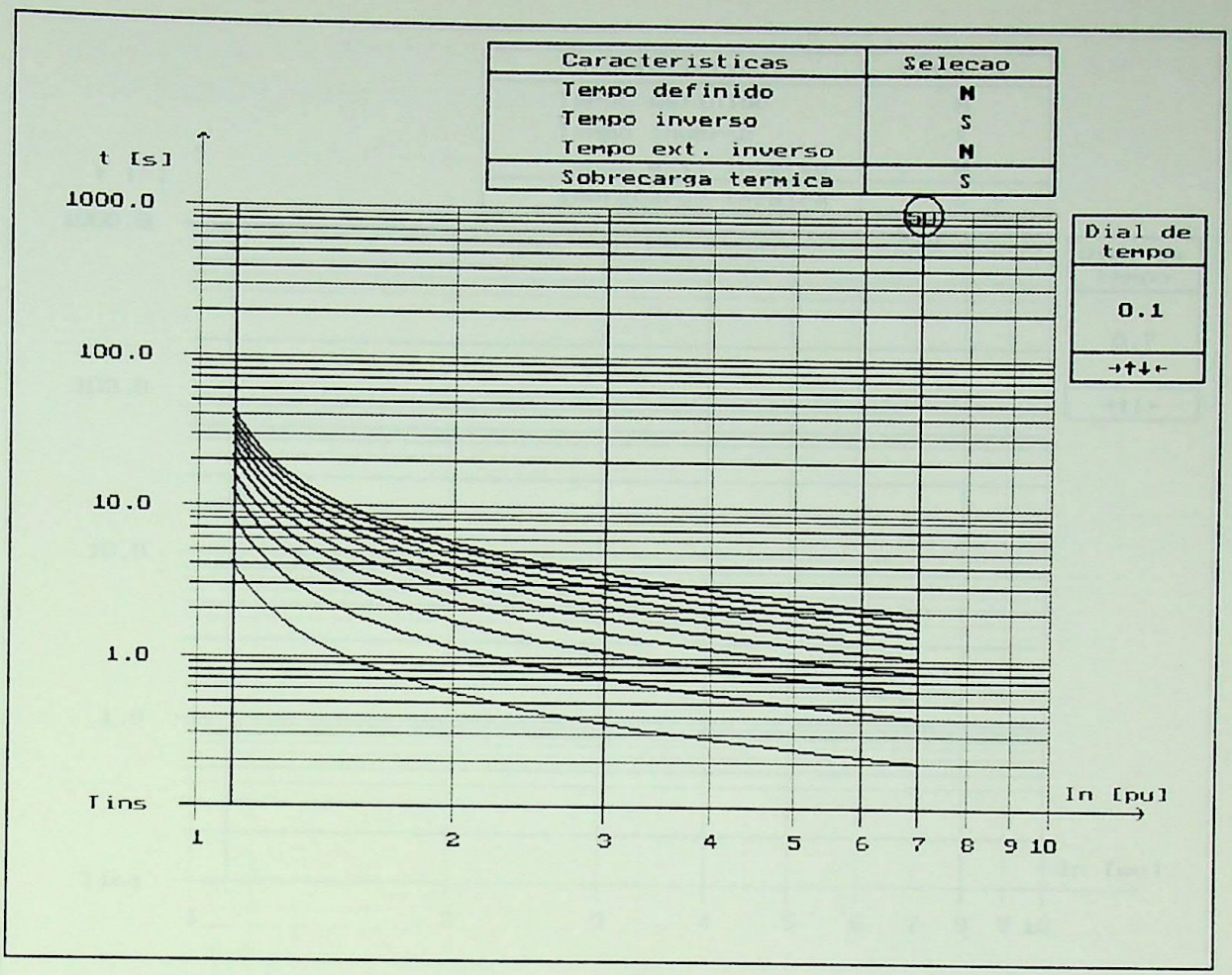


Gráfico 3.1 - Família de curvas para a função de sobrecorrente com característica de tempo inverso e com sobrecorrente 50 desbloqueda;

Pode-se observar que é desenhada uma família de 10 curvas, sendo que uma delas, a inferior, está escolhida (ver o seletor de tempo). Esta curva corresponde ao valor de k_n mostrado no quadro do "dial" de tempo. O gráfico contendo uma curva escolhida para o "dial" de tempo 0,7 pode ser visto no gráfico 3.2:

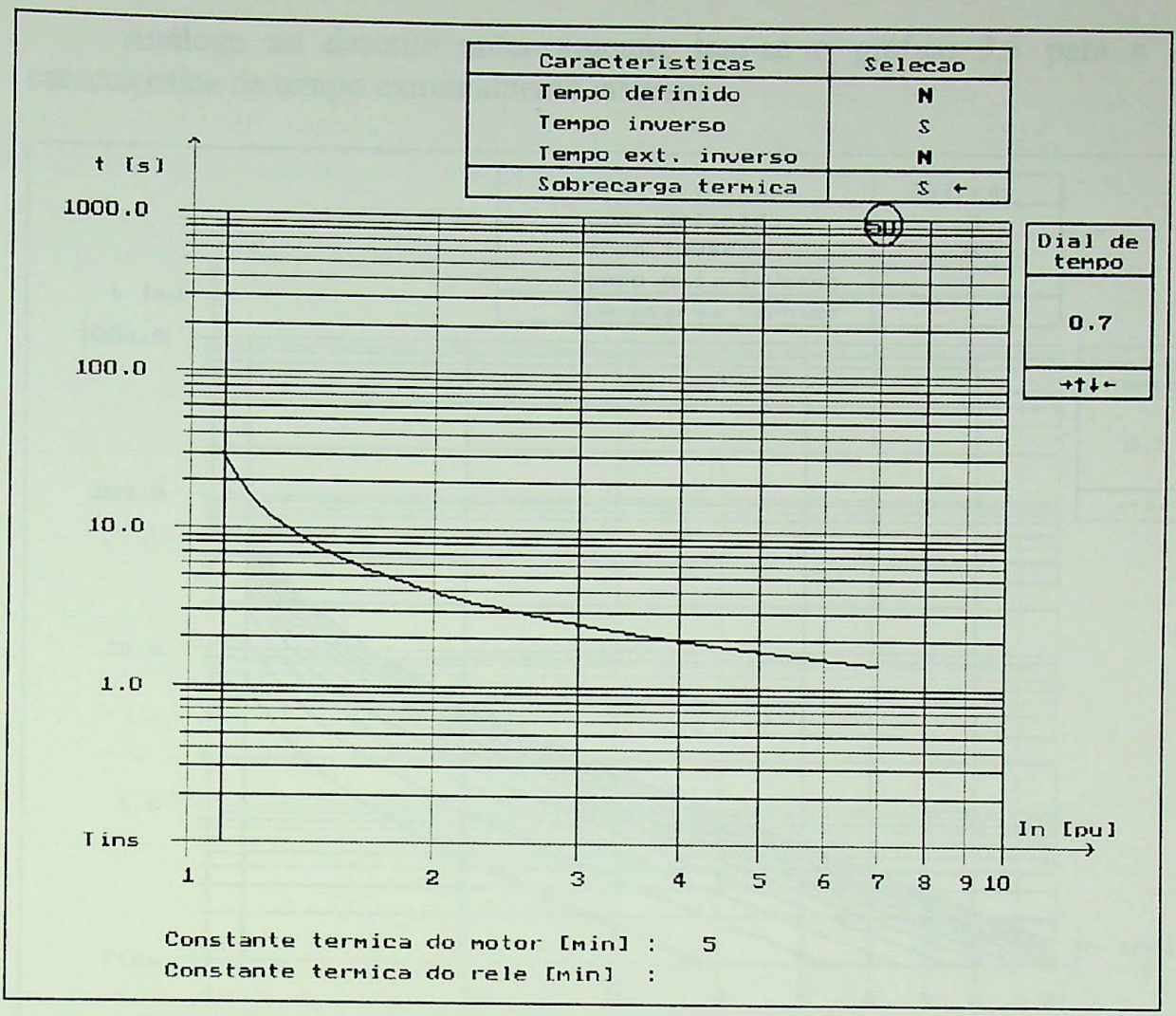


Gráfico 3.2 - Escolha da curva com característica de tempo inverso com $k_n = 0,7$;

Logo em seguida, na parte inferior do gráfico 3.2 é apresentado o valor da constante térmica do motor em minutos para desbloquear a sobrecarga térmica, sendo que o valor da constante térmica do relé a ser fornecido pelo usuário deve ser menor que a constante térmica do motor.

3.12.3 - Proteção de sobrecorrente temporizada com característica de tempo extremamente inverso

Na característica de tempo extremamente inverso, a corrente I_{51} é a mesma utilizada na curva característica ao relé tempo inverso. Este valor I_{51} corresponde ao múltiplo inicial em que a família de curvas será traçada. As dez curvas obedecerão a mesma equação padrão (3.52) para a curva de sobrecorrente definida em norma ANSI [24] da opção anterior, porém com diferentes parâmetros a saber:

$\beta = 2,0$;
$k_c = 14,0$;
$k_n = 0,1$ a $1,0$

Análogo ao descrito anteriormente, tem-se o gráfico 3.3 para a característica de tempo extremamente inverso:

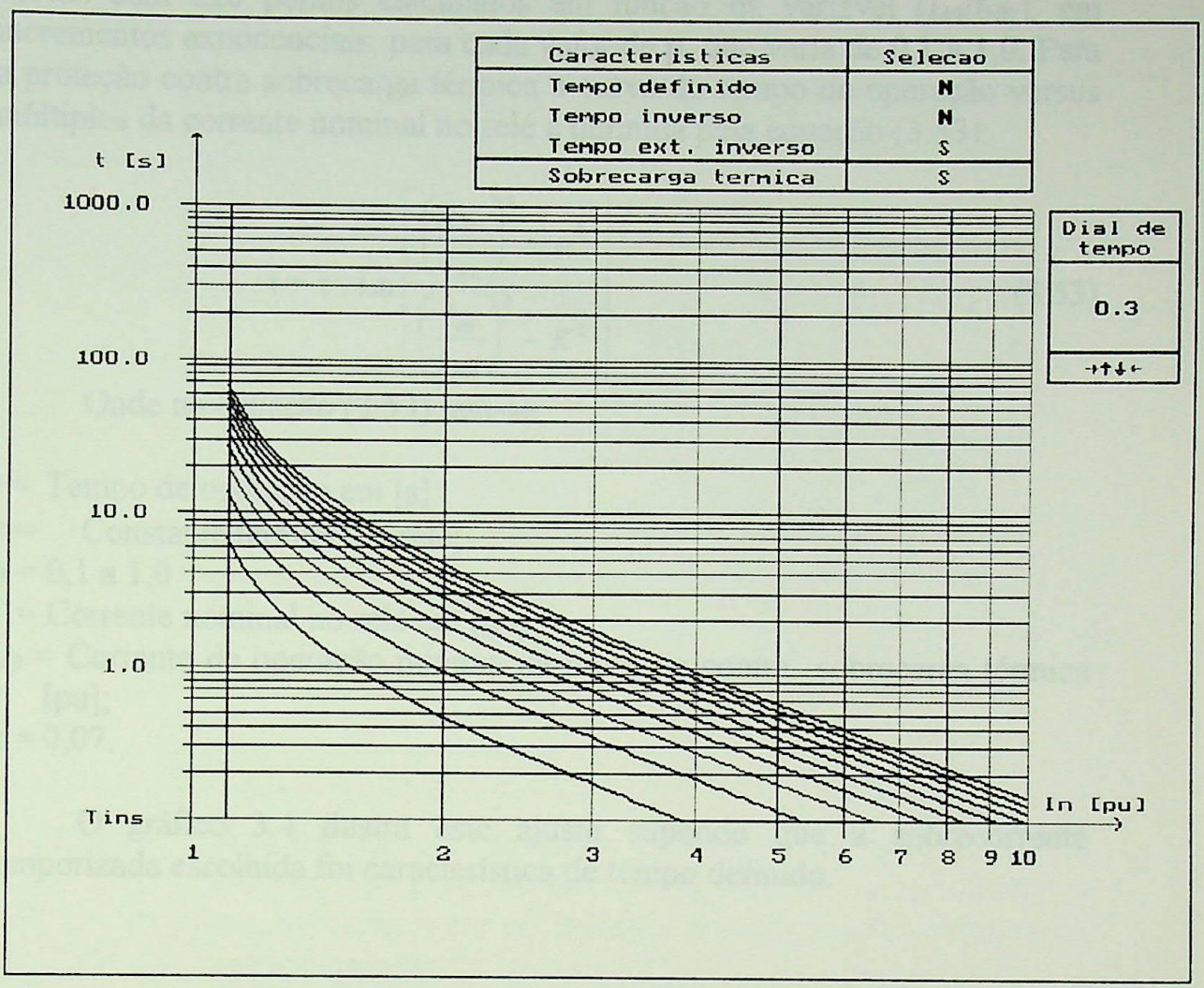


Gráfico 3.3 - Família de curvas de ajuste para a sobrecorrente temporizada com característica de tempo extremamente inverso;

A família de dez curvas, com característica extremamente inversa, é gerada então variando-se os valores de k_n, de 0,1 a 1, em passos de 0,1. O usuário escolhe uma dentre as dez curvas disponíveis.

3.12.4 - Proteção contra sobrecarga térmica

A curva de operação da sobrecarga térmica, de modo análogo às funções anteriores, pode ser escolhida entre dez curvas disponíveis a partir da equação (3.53) definida por norma [24], que dependerão dos valores de:

- constante térmica do motor obtida pela tabela 3.6 (passado como parâmetro);

- constante térmica do relé (introduzida pelo usuário).

De modo análogo a equação (3.52) anterior, esta função tem dez curvas com 220 pontos calculados em função da variável (I_{49}/I_{NR}), em incrementos exponenciais, para cada valor de p, que varia de 0,1 a 1,0. Para a proteção contra sobrecarga térmica a curva do tempo de operação versus múltiplos da corrente nominal no relé é definida pela equação (3.53):

$$t = \tau \cdot \mathrm{Ln}\left[\frac{\left(\frac{I_{49}}{I_{NR}}\right)^2 - p^2}{\left(\frac{I_{49}}{I_{NR}}\right)^2 - K^2}\right] \qquad (3.53)$$

Onde na equação (3.53) tem-se:

t = Tempo de operação em [s] ;
τ = Constante térmica do relé;
p = 0,1 a 1,0
I = Corrente nominal no relé em [pu];
I_{49} = Corrente de operação mínima da proteção contra sobrecarga térmica [pu];
k = 0,07.

O gráfico 3.4 ilustra este ajuste supondo que a sobrecorrente temporizada escolhida foi característica de tempo definido.

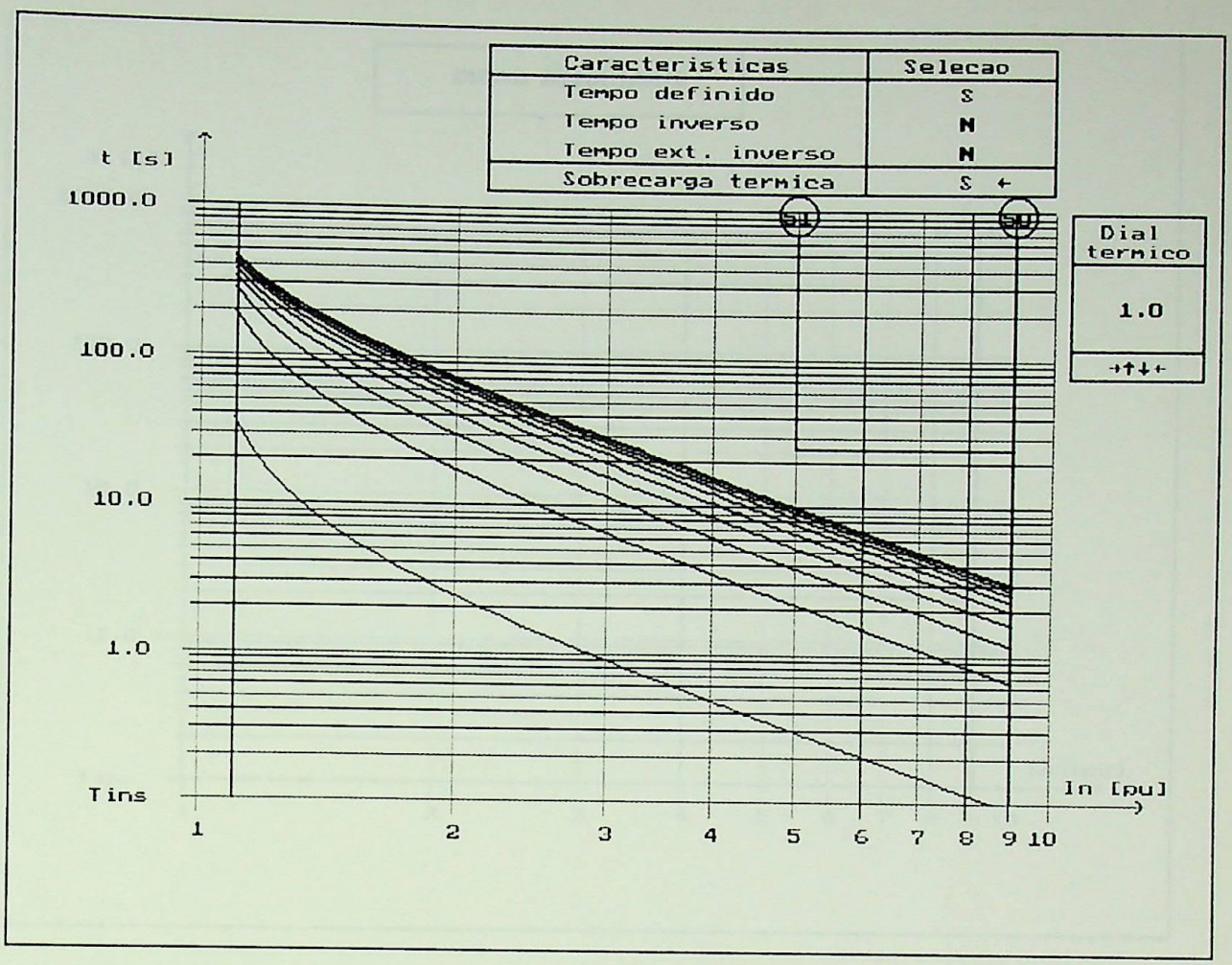


Gráfico 3.4 - Família de curvas para a função de sobrecarga já estando as funções de sobrecorrente tempo curto e temporizada a tempo definido desbloqueadas e ajustadas anteriormente;

No gráfico 3.4 temos uma família de dez curvas limitadas a direita pela corrente de curto-circuito e pela esquerda por um valor inicial de corrente passado pelo programa principal I_{49}. Uma destas curvas a de baixo está em destaque, indicando que está inicialmente selecionada. Pode-se escolher outra dessas curvas utilizando-se do teclado do microcomputador.

3.12.5 - Curva resultante das proteções temporizadas `

A curva característica relativa ao tempo de operação versus corrente resultante da proteção 49 e das proteções 50 e 51 a tempo definido do gráfico 3.4 está ilustrada no gráfico 3.5:

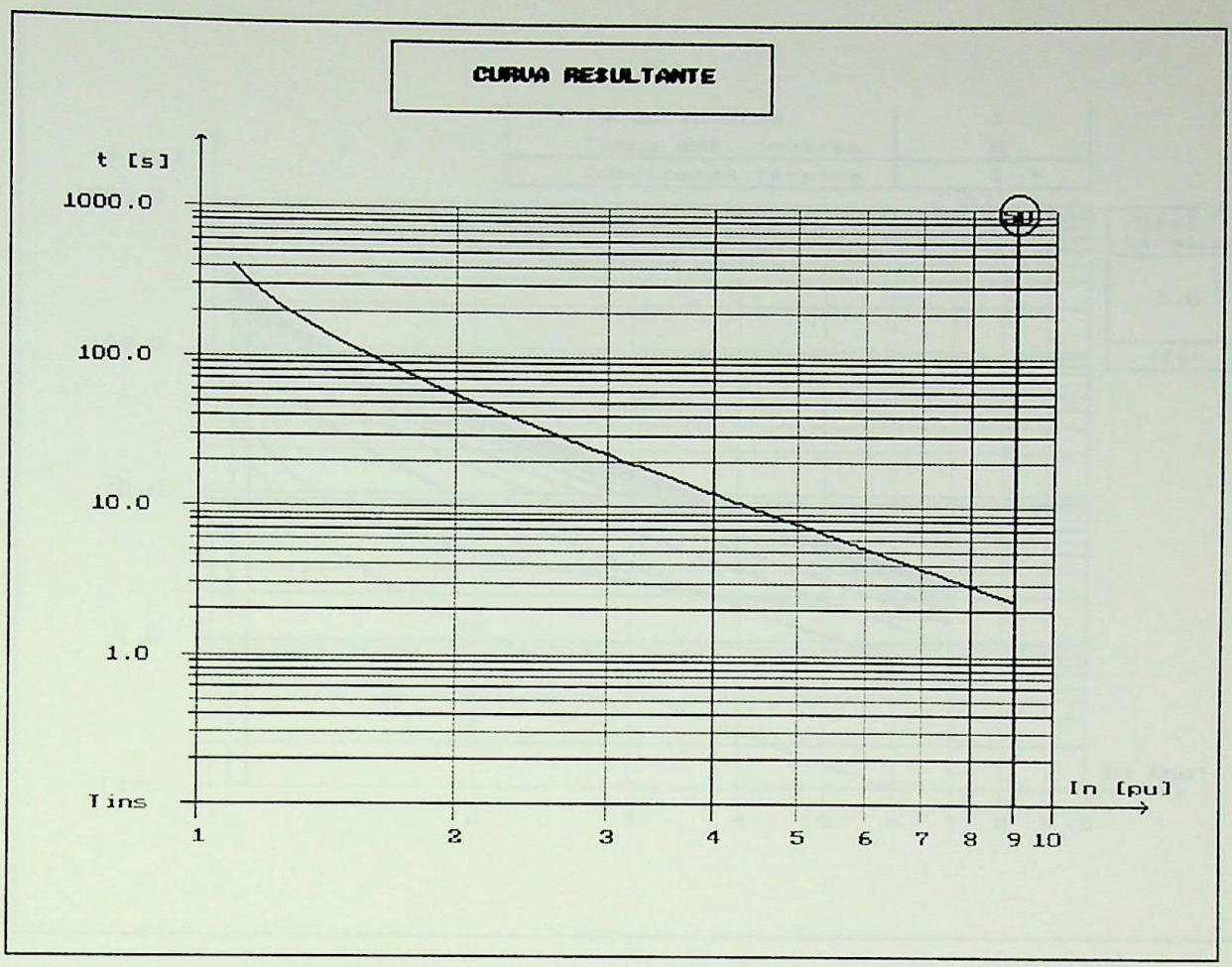


Gráfico 3.5- Curva resultante associada das funções 49 , 50 e 51 tempo definido;

A curva resultante da proteção 49 e das proteções 50 e 51 a tempo inverso e extremamente inverso encontra-se ilustrada no gráfico 3.6. No exemplo, a curva para o relé de sobrecorrente a tempo inverso e relé de sobrecorrente a tempo curto já ajustados é apresentada.

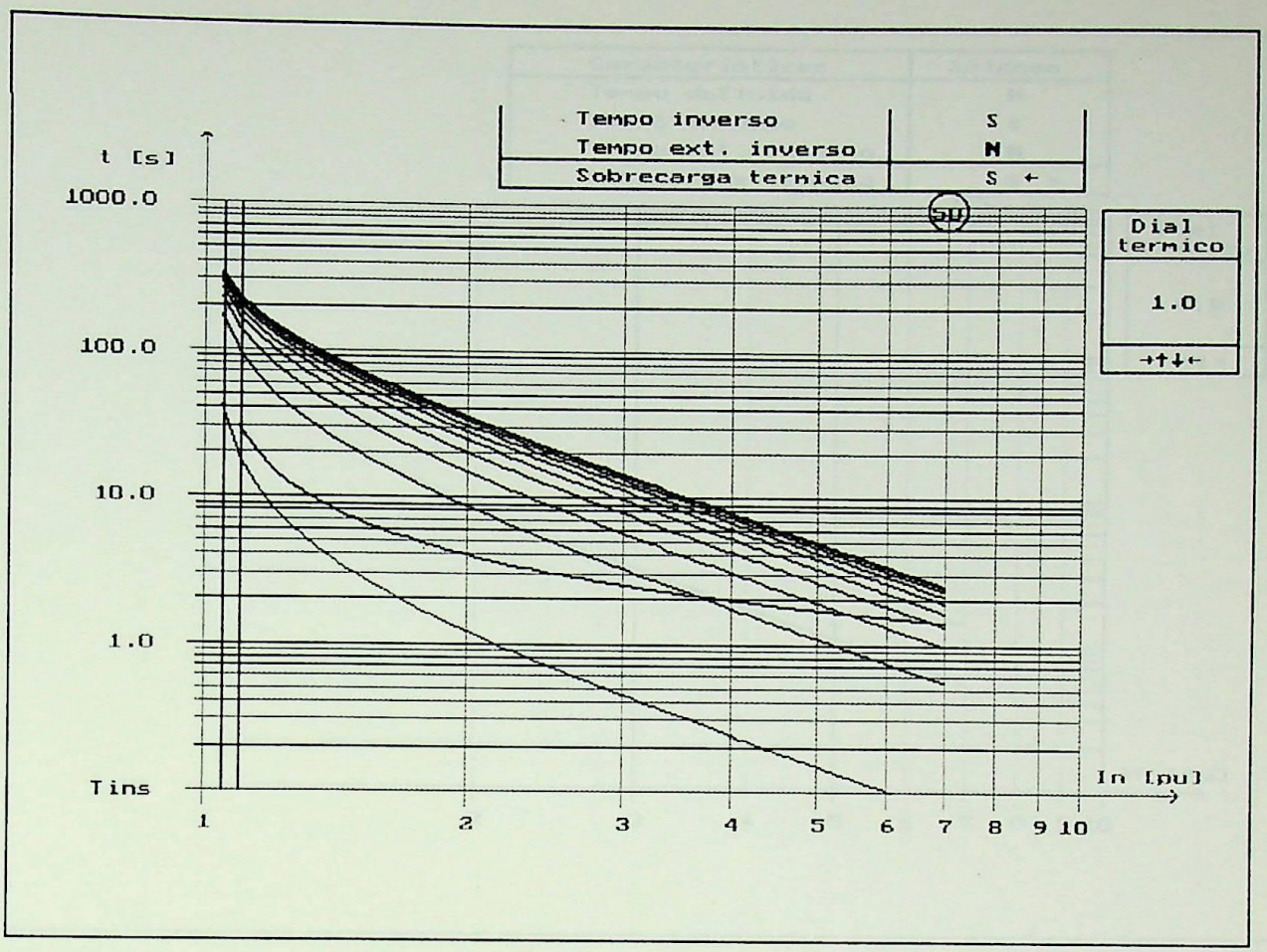


Gráfico 3.6 - Família de curvas com características de sobrecarga sobreposta a curva de sobrecorrente a tempo inverso e sobrecorrente instantânea já desbloqueadas anteriormente

No gráfico 3.7, o usuário escolheu no seletor "Dial" térmico p = 0,9 a partir do gráfico 3.6:

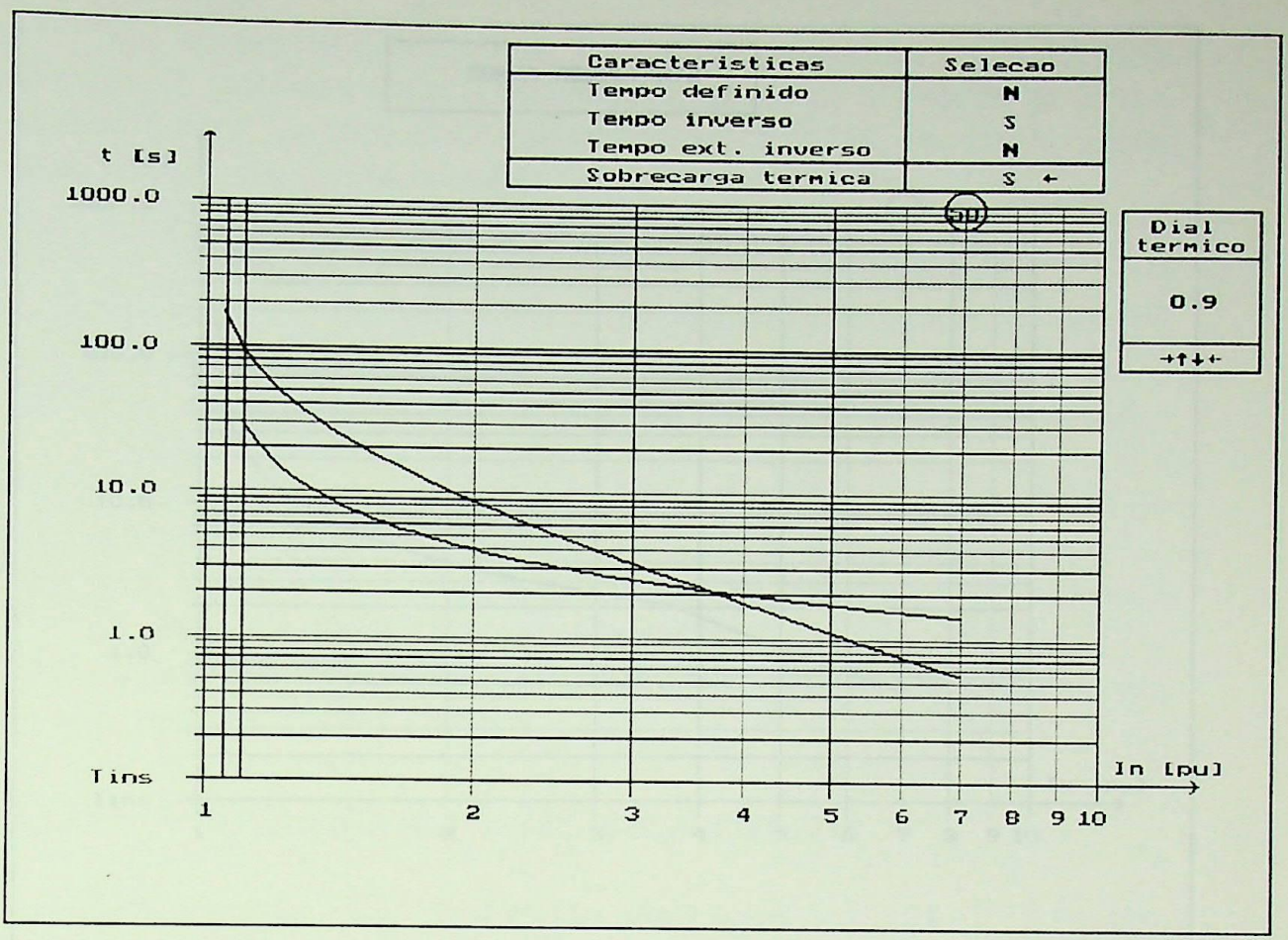


Gráfico 3.7 - Curva de atuação de sobrecorrente com característica de tempo inverso e sobrecorrente instantânea já desbloqueadas. Escolha feita para o relé de sobrecarga com "dial" térmico de 0.9.

Logo após, a curva resultante contendo o menor tempo de operação das proteções temporizadas habilitadas é representado pelo gráfico 3.8:

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
Biblioteca MAUÁ BIM

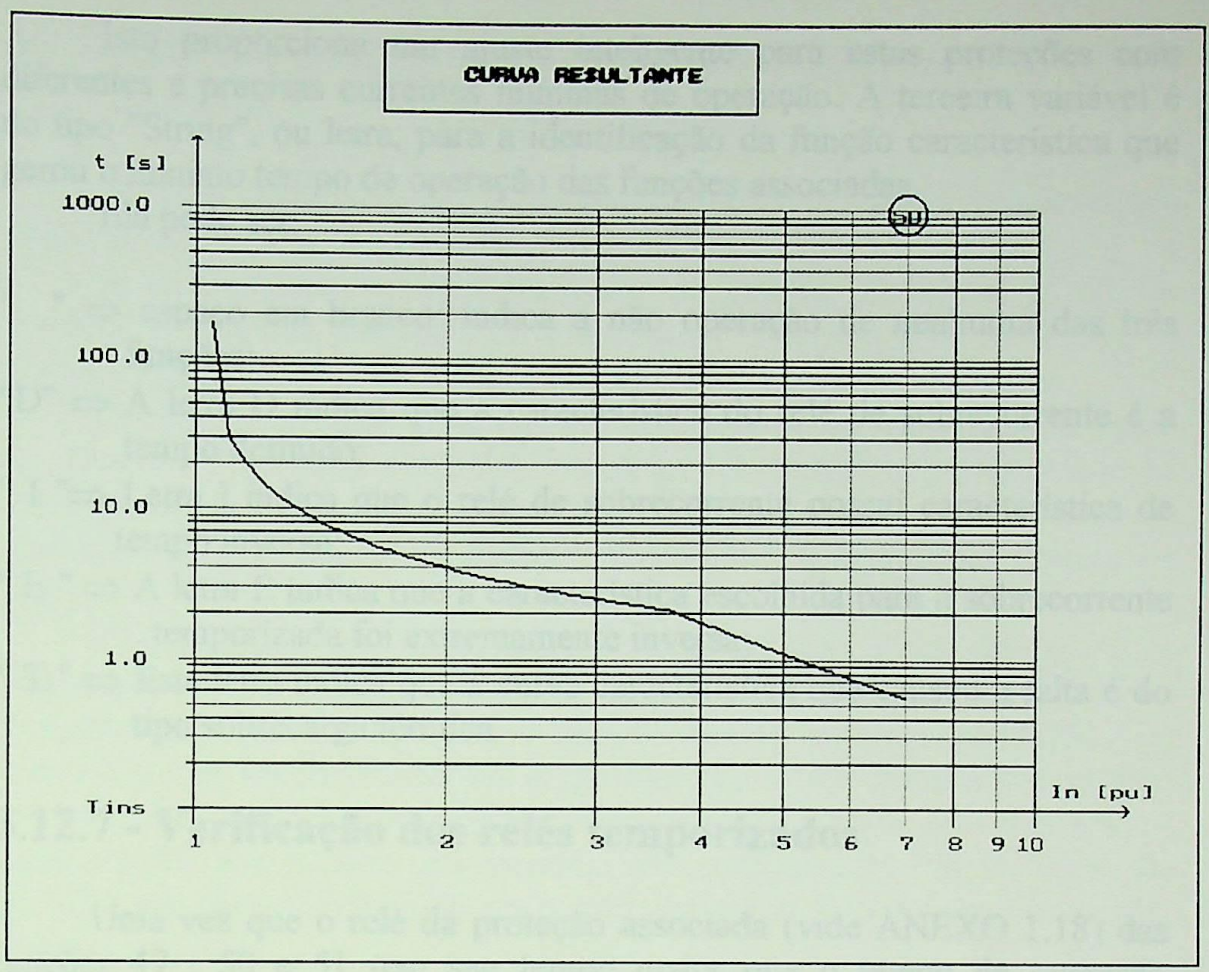


Gráfico 3.8 - Curva resultante associada das funções 49 , 50 e 51 tempo inverso;

3.12.6 - Matriz de dados gerada pela tela gráfica resultante das proteções associadas

Quando o programa termina a calibração, ele mostra esta curva de tempo associado a tela gráfica das funções. Esta curva gera um arquivo de dados resultante que fornecerá uma matriz de três colunas de variáveis em 220 pontos: (3 x 220).

A primeira variável ou índice da matriz corresponde aos múltiplos da corrente nominal começando em 1 [pu] escalonado de 0,05 em 0,05 até 12 [pu]. Isto é, 12-1 = 11 vezes, espaçados em 0,05, totalizam 220 pontos.

A segunda variável corresponde ao tempo de operação associado das funções 49 , 50 e 51 , isto é, ao menor tempo de operação de qualquer das três funções para o mesmo múltiplo da corrente nominal, com o tempo de operação do equipamento para a função de sobrecorrente a tempo curto, variável e menor do que 100 [m/s]. A tela gráfica preenche com 0 [s] para a comparação no relé de tempo associado das funções 49 , 50 e 51 . O tempo de operação da função 49 é maior do que a duração da função 51 no intervalo entre 1,05 e 1,5.

Isto proporciona um ajuste inteligente para estas proteções com diferentes e precisas correntes mínimas de operação. A terceira variável é do tipo "String", ou letra, para a identificação da função característica que gerou o mínimo tempo de operação das funções associadas.

Ela pode ser:

" " ⇒ espaço em branco: indica a não operação de nenhuma das três funções;

"D" ⇒ A letra D indica que a característica do relé de sobrecorrente é a tempo definido;

" I "⇒ Letra I indica que o relé de sobrecorrente possui característica de tempo inverso;

" E " ⇒ A letra E indica que a característica escolhida para a sobrecorrente temporizada foi extremamente inversa;

" T " ⇒ Esta letra indica que a curva característica que causou a falta é do tipo sobrecarga térmica.

3.12.7 - Verificação dos relés temporizados

Uma vez que o relé da proteção associada (vide ANEXO 1.18) das funções 49 , 50 e 51 tem seu tempo maior que o tempo de operação associado, ele atuará. O equipamento mostrará no segundo campo da mensagem padrão da proteção 51, a característica da curva de atuação da função de sobrecorrente.

Quando o temporizador interno de verificação do princípio corrente e tempo tiver um valor maior do que aquele consultado na matriz de dados no ponto do respectivo múltiplo de corrente nominal que causou a falta, o relé atuará indicando na mensagem padrão no segundo campo a característica de tempo extremamente inverso da curva de atuação do mesmo.

Como a verificação das proteções é "on line" em qualquer uma das telas de supervisão, isto é uma outra grande vantagem deste equipamento pois podemos ajustar e desbloquear as funções sem a necessidade de se desligar o motor e conseqüentemente o processo.

Quando, por exemplo, a rotina de verificação desta proteção lê a letra T na terceira coluna da matriz de dados da curva resultante, significa que o tempo da segunda coluna deriva do resultado da fórmula da sobrecarga térmica escolhida anteriormente nas telas gráficas tal como nos exemplos das mensagens padrão (Vide EXEMPLO 7). Isto é utilizado pela função de mensagens padrão para identificar o segundo campo. O fluxograma do ANEXO 1.18 ilustra a filosofia de detecção das proteções temporizadas.

3.13 - Auto-diagnóstico dos relés de acionamento local e remoto

A verificação interna do funcionamento do relé auxiliar, consiste num ponto essencial para diagnósticos e confiabilidade do equipamento.

Assim garante-se um diagnóstico do próprio equipamento até os contatos mecânicos dos relés de acionamento. Assegura-se ao usuário o perfeito funcionamento do equipamento até seus conectores de saída.

O diagnóstico interno do circuito de comando do relé de acionamento do elemento principal (contator ou disjuntor remoto), permite que se verifique o funcionamento do circuito eletrônico de acionamento, tanto na transição do liga quanto no desliga para ambas as aquisições remota ou local.

É constatado que os circuitos eletrônicos tem maior robustez que dispositivos mecânicos tais como o relé. Os contatos dos relés sofrem desgastes eletromecânicos com o tempo. Assim, esta realimentação tem como principal objetivo fazer um diagnóstico do estado geral do circuito de acionamento local. Ela nos garante, por meio de rotinas de verificação e comparação, um melhor acionamento do equipamento em si, além de permitir por exclusão de hipóteses quando na busca do problema por etapas, blocos e módulos.

O autodiagnóstico efetuado pelo equipamento compara a real situação do motor mostrada pela teclas "F1" e "F2" com os sinais de realimentação do estado dos relés de acionamento. Estes sinais provêm dos contatos dos relés de acionamento local e remoto. Assim garante-se que o equipamento funciona até os relés de acionamento.

3.14 - Monitoramento em cascata dos estados dos módulos eletrônicos

O monitoramento do estado de energização ligado ou desligado, "ON" ou "OFF", serve para indicar ao usuário se as fontes auxiliares dos módulos tem energia elétrica. Caso eles estejam desligados a variável lógica responsável pelo respectivo módulo está em "zero". Caso contrário estará em nível lógico "um" indicando que o módulo está energizado e funcionando adequadamente.

Esta verificação é feita a todo instante da supervisão e pode ser visualizada na tela dos circuitos conforme ilustra a figura 3.36.

A verificação é feita diretamente em linguagem assembler 80486. Este programa confere o nível lógico da entrada DI∅ do porta de entrada da PCL 812 PG.

Na supervisão remota, o estado dos módulos devem ser verificados em cascata, ou seja, primeiro o MRX, depois o MTX e finalmente o MCS, pois se o MRX estiver desligado ele não receberá sinal dos outros modulados. O algoritmo no ANEXO 1.20 desempenha esta verificação e interage com o algoritmo de busca da melhor tela de aquisição mostrada no ANEXO 1.19. A variável de estado do MRX é aplicado na entrada DI2 da placa PCL 812 PG. Caso ela esteja em zero, o equipamento indica "OFF" na tela dos circuitos na função de estado dos módulos conforme ilustra a figura 3.36:

MCS:	OFF
MRX:	OFF
MTX:	OFF

Figura 3.36 - Estado dos módulos para a aquisição remota com MRX desligado;

Ou, se estiver em outra tela de supervisão, o programa exibirá a mensagem padrão de falha no MRX comprometendo o uso do equipamento.

A falha do MRX pode ser causada por motivos semelhantes a falha no MCS ressaltando que:

- A fonte CC interna agora é a do MRX;
- O canal DI2 da PCL 812 PG danificado;
- Cabo multiveias que liga o MRX ao conector de supervisão remota da MAD desconectado;
- Etc....

Estando o MRX ligado o programa busca pelo sinal de sincronismo do MTX. Caso ele não seja recebido o programa indicará com "OFF" no estado dos módulos na tela de circuitos tal como na figura 3.37:

MCS:	OFF
MRX:	ON
MTX:	OFF

Figura 3.37 - Estado dos módulos para a aquisição com o MRX ligado e o MTX desligado;

Ou, exibirá a respectiva mensagem padrão de falha no MTX em qualquer das telas de supervisão. Isto significa que houve uma falha do MTX com respectivo horário, e o equipamento deve ser desligado pois tem seu uso comprometido pelo fato de não estar aquisitando as grandezas do motor em análise.

Caso o MTX esteja ligado e estas mensagens persistam, pode-se fazer uma nova busca de sincronismo. A busca de sincronismo determinará a melhor taxa de aquisição para o sinal multiplexado demodulado. Com base nesta taxa, o programa calibra automaticamente a divisão dos contadores do 8253 da placa PCL 812 PG de modo que gerem o número necessário de intervalos de aquisição igualmente espaçados para melhorar a forma de aquisição descrita no item 3.3.5.

Após isto, o estado do MTX é finalmente detectado levando a mensagem para "ON" no quadro de estado dos módulos na tela dos "circuitos": Se o MTX estiver ligado, o programa consultará a janela do serial multiplexado responsável pela informação do estado da MCS. Caso esteja ruim, o programa indicará na tela através das mensagens apropriadas já descritas. Quando os módulos estiverem funcionando adequadamente, o quadro dos módulos torna-se como na figura 3.38:

MCS:	ON
MRX:	ON
MTX:	ON

Figura 3.38 - Quadro de estado dos módulos para a aquisição remota com todos os módulos ligados

A falha do MCS pode ser causada por diversos motivos dentre os quais:

- Fonte de corrente contínua interna danificada;
- Chave de energia desligada;
- Fusíveis dos TP's queimado ou danificado;
- Tomada de energia desconectada;
- Falta de energia auxiliar;
- Cabo multiveias mal conectado;
- Canal DI∅ da PCL 812 PG danificado.

CAPÍTULO 4

OS CIRCUITOS DO EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO

RESUMO

Este capítulo descreve a parte de circuitos ("hardware") usados para a construção do equipamento desenvolvido. Uma explicação sucinta do funcionamento dos circuitos eletrônicos dos módulos e da placa de aquisição de dados é apresentada para melhor entendimento do equipamento microcomputadorizado como um todo.

4.1 - Introdução

Os circuitos básicos do equipamento desenvolvido para análise e proteção de motores de indução ([1] e [2]), englobam:

- Microcomputador padrão IBM/PC® (286 e 386 com processador aritmético ou 486);
- Placa de aquisição de dados, PCL 812-PG;
- Módulo de adaptador de sinais, (MAD), para os sinais da PCL 812- PG;
- Módulo de conversão de sinais, (MCS), para efetuar a medição, análise e proteção do motor, além de adequar os sinais oriundos da rede elétrica;
- Módulos de transmissão e recepção dos sinais (MTX/MRX) através dos elos de fibras ópticas;
- Transformadores de corrente e de potencial;
- Quadro de comando e controle (Vide ANEXO 2.1).

A seguir serão descritos os diversos circuitos desenvolvidos para efetuar as funções do equipamento descritas no capítulo anterior.

4.2 - Controle e aquisição de dados

O diagrama trifilar de comando, análise e aquisição das grandezas características do sistema está mostrado no ANEXO 2.1.

O contator principal (de acionamento) é comandado pelo relé auxiliar do MAD, se a supervisão for local, ou pelo relé auxiliar do MTX se for supervisão remota. Convém observar que, como a energia do contator provém de duas das fases do motor, existe, portanto, além da proteção de subtensão do equipamento, a proteção natural correspondente contra queda de uma das duas fases que alimentam proporcionando uma proteção parcial contra falta de fase.

Os disjuntores são usados como fator de segurança extra para testes do laboratório já que o equipamento perfaz as proteções de sobrecorrente a tempo curto e sobrecorrente temporizada. A proteção de sobrecorrente instantânea do disjuntor é usada como proteção primária do motor, já que a sobrecorrente do equipamento não é instantânea e sim a tempo curto..

Os transformadores de potencial (TP) utilizados fornecem energia elétrica aos circuitos eletrônicos através de divisores resistivos conforme ilustra a figura 4.1:

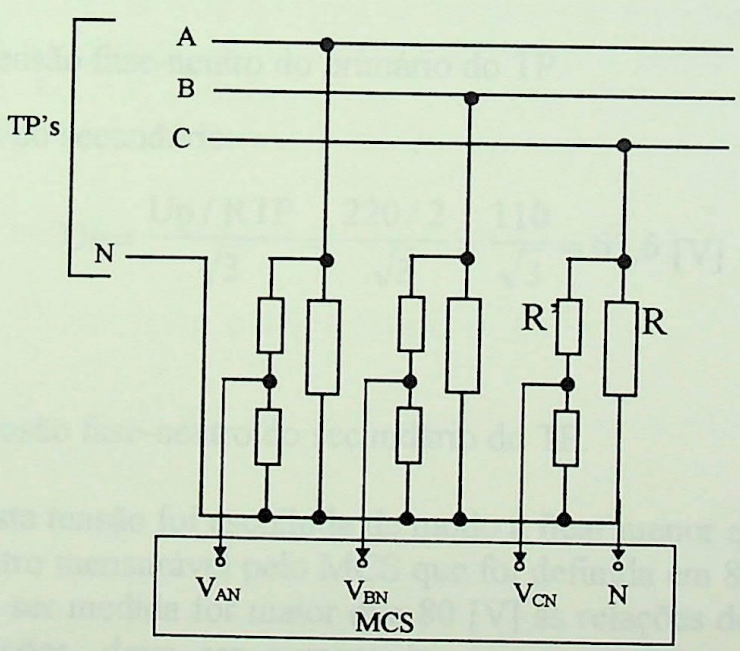


Figura 4.1 - Divisores resistivos ligados nos secundários dos TP's;

Onde na figura 4.1 tem-se:

A, B, C, N = Secundários dos TP's que estão ligados no barramento do sistema elétrico de potência;

R = Resistores de baixo valor e média potência para equilíbrio de tensões flutuantes dos TP's internos ao MCS;
R' = Resistores de alto valor e baixa potência para isolar o MCS dos TP's (Barramento);
TP's = Transformadores de potencial;
MCS = Módulo conversor de sinais.

As ligações dos enrolamentos dos TP's foram feitas em estrela com ligação comum ao neutro da rede. As relações de transformação não necessitam ser iguais, pois o programa permite corrigir eventuais diferenças. As tensões usadas nos TP's foram 220 [V] no primário e 110 [V] no secundário, fornecendo a seguinte relação de transformação:

$$RTP = \frac{220}{110} = 2{,}0 \tag{4.1}$$

A tensão da rede usada no equipamento desenvolvido foi de 220 [V]. Assim tem-se:

$$UP = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127\ [V] \tag{4.2}$$

Onde:

Up = Tensão fase-neutro do primário do TP.

E no secundário:

$$Us = \frac{Up / RTP}{\sqrt{3}} = \frac{220/2}{\sqrt{3}} = \frac{110}{\sqrt{3}} = 63{,}6\ [V] \tag{4.3}$$

Onde:

Us = Tensão fase-neutro do secundário do TP.

Esta tensão foi escolhida de modo a ficar menor que a máxima tensão fase-neutro mensurável pelo MCS que foi definida em 80 [V]. Se o valor da tensão a ser medida for maior que 80 [V] as relações dos TP's, ou a menor das relações, deve ser aumentada, caso contrário, o equipamento não funcionará corretamente na conversão dos sinais sensoriais do motor. Por outro lado, se a tensão a ser medida for muito menor que 80 [V], a relação de transformação deve ser aumentada visando uma maior precisão das medidas efetuadas.

Cada fase do circuito principal possui ainda um transformador de corrente em série, o qual possui correntes nominais primária e secundária iguais a 5 [A]. O secundário dos TC's são ligados ao MCS que contém resistores de precisão do tipo "shunt" de baixo valor (6 [mΩ]). A figura 4.2 ilustra:

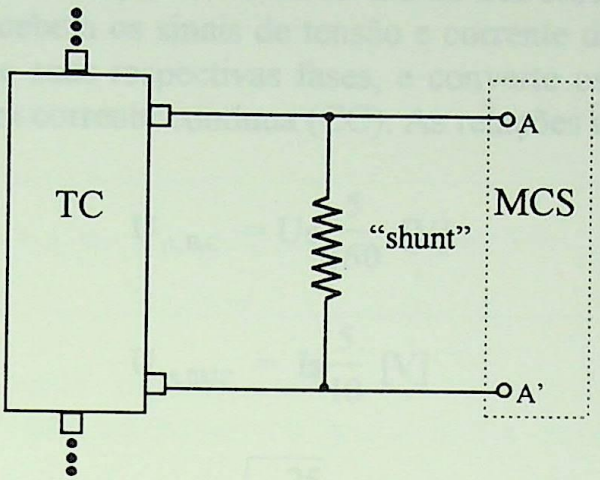


Figura 4.2 - "Shunt "ligado do secundário do TC da fase A para a respectiva entrada do MCS;

No ANEXO 2.1, observa-se também, um sensor em "U" conectado à carcaça do motor e acoplado a uma roda com orifícios. Este sensor possui um orifício continuamente ligado a um receptor sendo descrito em detalhes no item 4.3.6. O equipamento lê o sinal CC equivalente deste sensor convertendo-o em velocidade angular do eixo do MIT em [RPM].

4.3 - Módulo conversor de sinais (MCS)

4.3.1 - Descrição e características

Este módulo tem seu diagrama em blocos no ANEXO 2.2 e possui as seguintes características:

A - Alimentação das fontes internas: 127 [V]; 60 [Hz];
B - 3 entradas de tensão: 0 a 160 [V];
C - 1 entrada para o sinal de velocidade;
D - 1 entrada de tensão de referência (Neutro);
E - 6 entradas de corrente(duas por fase): 0 a 10 [A];
F - 3 saídas de 0 a +5[Vcc] corresponde a 0 a 10 [A];
G - 3 saídas de 0 a +5[Vcc] corresponde a 0 a 160 [V];
H - 3 saídas de 0 a +5[Vcc] corresponde a 0 a +90[°];
I - 1 saída de 0 a +5[Vcc] corresponde a 0 a 4000 [RPM];
J - 1 saída de +5 [Vcc] para o sinal do estado do MCS (ligado/desligado).

As saídas conforme mostra o ANEXO 2.2 em corrente contínua (CC) do CONV 1 é ligado a um cabo (paralelo multiveias colorido de 1,5 [m]), que, por sua vez, será ligado ao MAD se a supervisão for local, ou ao MTX se supervisão for remota.

Ainda com relação ao ANEXO 2.2 os três blocos CONV 1, CONV 2 e CONV 3, recebem os sinais de tensão e corrente da rede (secundário dos TC's e TP's) e suas respectivas fases, e converte os mesmos para valores equivalentes em corrente contínua (CC). As relações utilizadas são:

$$U_{A,B,C} = Us\frac{5}{160}\ [V] \tag{4.4}$$

$$U_{IA,IB,IC} = Is\frac{5}{10}\ [V] \tag{4.5}$$

$$U\alpha = \sqrt{\alpha\frac{25}{90}}\ [V] \tag{4.6}$$

Onde nas equações anteriores tem-se:

Us = Tensões trifásicas a serem medidas;
$U_{A,B,C}$ = Tensões contínuas equivalentes as tensões trifásicas medidas;
Is = Correntes trifásicas do motor a serem medidas;
$U_{IA,IB,IC}$ = Tensões contínuas equivalentes aos níveis de correntes medidas;
α = Defasagens angulares medidas;
$U\alpha$ = Tensões contínuas equivalentes às defasagens angulares medidas.

4.3.2 - Conversores de tensão, corrente e defasagem

Os conversores CONV1, CONV2 e CONV3 apresentados no ANEXO 2.2 são responsáveis pela conversão das grandezas de corrente (secundário do transformador de corrente) e de tensão (secundário do transformador de potencial) das fases em tensão contínua proporcional. Assim sendo, os conversores apresentam na saída sinais em corrente contínua (CC) equivalentes aos de entrada em corrente alternada. A relação entre as entradas alternadas medidas e as saídas são apresentadas na tabela 4.1:

Variáveis	Entradas	Saídas	conexões	
			Local: MAD	Remota: MTX
tensão	V_{AN}, Neutro $-0 \longleftrightarrow 80[V_{RMS}]$	V_A, Terra $-0 \longleftrightarrow 5$[Vcc]	AD0	I1
corrente	IA, IA' $-0 \longleftrightarrow 10[A_{RMS}]$	IA, Terra $-0 \longleftrightarrow 5$[Vcc]	AD3	I4
defasagem angular	V_{CN}, Neutro, IA, IA' $-0 \longleftrightarrow 90[\circ]$	DEFDC1 $-0 \longleftrightarrow 5$[Vcc]	AD8	I9

Tabela 4.1 - Sinais das grandezas e sinais de tensões contínuas equivalentes para a fase A no MCS;

O equipamento é capaz de diferenciar os valores de acordo com as curvas de resposta, tanto pela calibração polinomial como linear. O sinal de defasagem em CC corresponde à defasagem entre o sinal V_{AN} e o sinal IA. Isto exige uma correta ligação dos TC's e TP's pois qualquer troca implica na conversão errônea de defasagem angular.

Caso estas referências sejam trocadas (IA' por IA ou neutro por V_{AN}), o circuito defasado ficará comprometido, pois esta troca teria o mesmo efeito que uma carga capacitiva. Como o circuito não responde à carga capacitiva, ou seja o ângulo de IA-IA' adiantado em relação ao ângulo de V_{AN}-Neutro, a saída não terá significado.

Os conversores RMS-CC das fases são composto de um amplificador de alto ganho (LM 741), um CI conversor RMS-CC de precisão (AD 536) para o sinal de corrente, atenuador de tensão composto por uma malha resistiva, e um CI conversor RMS-CC de precisão (AD 536) para o sinal de tensão proveniente dos atenuadores de tensão. As malhas resistivas trifásicas que compõem estes conversores foram isoladas da placa, de modo a proporcionar uma alta isolação entre os conectores de entrada e a placa principal. O sinal de saída é ligado à entrada VAN [V1] que alimenta o conversor RMS-CC (CI 21) gerando o sinal equivalente VA vide ANEXO 2.3.

O sinal correspondente a VAN também é ligado à entrada V do conversor de defasagem [CONV DEF 1]. Este circuito gera o sinal DEF DC 1, que é o sinal equivalente ao ângulo de defasagem entre o sinal VAN atenuado e o sinal IA amplificado.

O segundo conversor (CONV 2) transforma as entradas do MCS ligadas à fase B do quadro de comando e aquisição em sinais equivalentes CC para a fase B do transformador de corrente conectado à mesma. Igualmente, além dos sinais de corrente não se pode inverter os sinais V_{BN} e neutro sob pena de provocar um curto-circuito entre fase-neutro e entre fases, através do terra do MCS danificando-o.

A tabela 4.2 mostra as grandezas e suas entradas e saídas no módulo conversor de sinais para a fase B e o ANEXO 2.4 ilustra o seu esquema eletrônico.

Variáveis	Entradas	Saídas	conexões	
			Local: MAD	Remota: MTX
tensão	$V_{BN}, Neutro - 0 \longleftrightarrow 80[V_{RMS}]$	$V_B, Terra - 0 \longleftrightarrow 5[Vcc]$	AD1	I2
corrente	$IB, IB' - 0 \longleftrightarrow 10[A_{RMS}]$	$IB, Terra - 0 \longleftrightarrow 5[Vcc]$	AD4	I5
defasagem angular	$V_{BN}, Neutro, IB, IB' - 0 \longleftrightarrow 90[\circ]$	$DEFDC2 - 0 \longleftrightarrow 5[Vcc]$	AD9	I10

Tabela 4.2 - Sinais com respectivas faixas de magnitude no MCS para a fase B;

O terceiro conversor, (CONV 3), ANEXO 2.5, transforma as entradas de valores alternados do MCS ligadas à fase C do quadro de comando e aquisição do transformador de corrente conectado na mesma, tal como nos conversores das outras fases. A tabela 4.3 ilustra todos as variáveis da fase C que são aquisitadas, bem como suas faixas, pinos de entrada do MCS e pontos do equipamento:

Variáveis	Entradas	Saídas	conexões	
			Local: MAD	Remota: MTX
tensão	V_{CN}, Neutro $-0 \longleftrightarrow 80[V_{RMS}]$	V_C, Terra $-0 \longleftrightarrow 5$[Vcc]	AD2	I3
corrente	IC, IC' $-0 \longleftrightarrow 10[A_{RMS}]$	IC, Terra $-0 \longleftrightarrow 5$[Vcc]	AD5	I6
defasagem angular	V_{CN}, Neutro, IC, IC' $-0 \longleftrightarrow 90[\circ]$	DEFDC3 $-0 \longleftrightarrow 5$[Vcc]	AD10	I11

Tabela 4.3 - Variáveis, sinais, pontos e faixas de conversão no MCS para fase C;

4.3.3 - Conversores das tensões alternadas em tensão corrente contínua

Estes circuitos fazem a conversão de uma onda senoidal de até 5 [VRMS] no seu valor equivalente expresso num sinal analógico 0 e +5 [V].

Cada circuito consiste em um divisor de tensão para abaixar os níveis de tensão de 0 a 160[V] "RMS" para 0 a 7[V] de pico aproximadamente, de modo que o conversor AD536 em seguida possa fornecer o sinal analógico de 0 à +5 [V] proporcional à tensão original de 0 a 160 [V].

4.3.4 - Conversor de corrente senoidal a 60 [Hz] em tensão contínua equivalente

Estes circuitos fazem a conversão dos valores de corrente que passam pelo seu respectivo "shunt" e convertem para um valor analógico equivalente em nível contínuo para que possa ser lido pela placa de aquisição de dados;

O "shunt" fornece valores entre 0 e 120[mVca] para correntes entre 0 e 10 [ARMS]. Um circuito amplificador diferenciador eleva o nível do sinal para valores entre 0 e 7[V] aproximadamente e o conversor AD536 o transforma para RMS entre 0 e +5 [V].

4.3.5 - Circuitos conversores de defasagens angulares para tensões contínuas equivalentes

Estes circuitos consistem em transformar a defasagem angular de dois sinais em correntes alternadas em um nível de tensão contínua equivalente.

A medição da defasagem entre dois sinais de amplitudes diferentes é feito multiplicando-se tais grandezas por um valor muito grande (amplificador operacional em ganho infinito) e ao mesmo tempo limitando-o nos lados superiores e inferiores.

Percebe-se que devido transição dos níveis saturados serem feitos em tempo muito curto, o sinal resultante corresponde a uma onda quadrada. Estas ondas são subtraídas e limitadas (amplificador diferencial). A largura dos pulsos, positivos ou negativos, é igual a defasagem angular das ondas anteriores, e consequentemente das ondas senoidais medidas.

A parte negativa desta onda é então eliminada criando-se uma nova onda que apresenta um pulso de largura igual a α, acontecendo uma vez a cada período da onda senoidal. O valor eficaz desta onda representará uma relação da defasagem angular, em módulo, para um valor contínuo equivalente.

O sinal da defasagem é feito por um circuito que detecta a fase das ondas e chaveia a tensão convenientemente. Como o MIT é uma carga indutiva, esta tensão equivalente sempre será positiva.

Os três esquemas apresentados nos ANEXOS 2.6, 2.7 e 2.8 ilustram os esquemas eletrônicos dos conversores de defasagem angular para tensão CC equivalente para as fases A, B e C respectivamente.

4.3.6 -Tacômetro

Para o tacômetro utilizou-se uma placa circular com diversos orifícios. Cada orifício produzirá um pulso que por sua vez alimentará o circuito do tacômetro interno ao MCS. O circuito converterá a freqüência dos pulsos em sinal CC equivalente. A freqüência destes pulsos é proporcional às rotações por minuto do eixo do motor amostrado.

O circuito conversor da velocidade do eixo [RPM] em sinal equivalente CC é mostrado na figura 4.3:

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
Biblioteca
MAUÁ
B.M

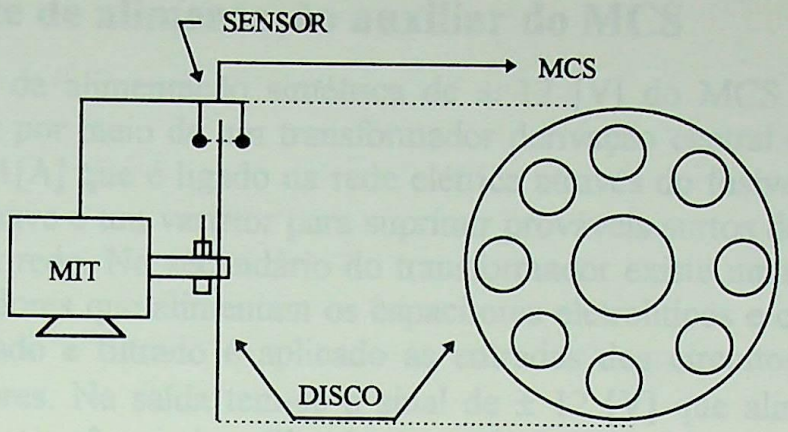


Figura 4.3 - Detalhe do disco com orifício e sensor optoeletrônico em "U' para o tacômetro;

Conforme mostra o ANEXO 2.9, o sinal do detector do sensor fornece pulsos saturados no valor da tensão de alimentação para a entrada inversora do comparador, sendo que este sinal também é aterrado através de um resistor para evitar flutuações do pulso devido à alta impedância de entrada do amplificador operacional. Na entrada não inversora deste CI tem-se um divisor resistivo.

Desta forma, a tensão na entrada não-inversora é a metade da tensão de alimentação do sensor, proporcionando um bom nível do sinal do detector para comparação com o nível da entrada inversora.

Na saída do amplificador operacional usado como comparador, tem-se um resistor de carga onde o sinal da velocidade detectado pelo sensor, está saturado em ± 12[V]. Este sinal é amplificado e conduzido ao CI LM 2907- N8 que converte a freqüência dos pulsos em um sinal CC equivalente. O nível do sinal equivalente na saída CI (pino 4) é proporcional à constante RC, que é alimentada por um circuito que fornece carga constante no tempo (bomba de carga constante Vide ANEXO 2.9). Isto se traduz em uma corrente constante no tempo que é proporcional à freqüência dos pulsos do sensor. A corrente provoca uma queda de tensão num capacitor que é linear com a freqüência dos pulsos. Esta tensão é limitada em 5,1 [V] para que não sature o MUX do MTX ou o conversor A/D da placa de aquisição.

O disco de orifícios conectada ao eixo possui 8 furos sendo que a cada orifício gera-se uma transição do sinal. Assim a freqüência de saída do sensor em "U" é gerada através da seguinte expressão:

$$F = 8 \cdot \frac{N}{60} \qquad (4.7)$$

Onde na expressão (4.7) tem-se:
F = freqüência correspondente a velocidade em [Hz];
N = velocidade no eixo do motor em [RPM].

4.3.7 - Fonte de alimentação auxiliar do MCS

A fonte de alimentação simétrica de ± 12 [V] do MCS (ANEXO 2.10), é obtida por meio de um transformador derivação central de 12 [V] cada um para 1[A] que é ligado na rede elétrica através do fusível F1 de 1 [A], de uma chave e um varistor para suprimir prováveis surtos de tensão e sobretensão da rede. No secundário do transformador existe uma ponte de diodos retificadores que alimentam os capacitores eletrolíticos e cerâmicos. O sinal retificado e filtrado é aplicado às entradas dos circuitos internos (CI's) reguladores. Na saída tem-se o sinal de ± 12 [V] que alimentará o MCS. Estes sinais são ainda refiltrados através dos capacitores cerâmicos conforme recomenda o manual do fabricante do CI regulador da fonte [34].

O esquema eletrônico apresentado no ANEXO 2.10 ilustra maiores detalhes deste circuito.

4.3.8 - Monitoramento da fonte auxiliar

A fonte de alimentação do MCS, fonte simétrica de ± 12 [V], é sensoriada por um circuito que gera o sinal de estado do MCS tal como ilustra o ANEXO 2.9. Este circuito tem a sua entrada ligada ao polo + 12 [V] através do regulador LM 7805 fornecendo na sua saída um sinal padrão "TTL" para ser analisado pelo equipamento. Caso este sinal esteja em nível lógico "1"(+ 5 [V]) o equipamento entenderá que a fonte de alimentação do MCS está energizada, ou melhor, que o módulo funciona adequadamente. Caso contrário o equipamento exibirá uma mensagem padrão indicando que o MCS está com falha (ou desligada).

Este sinal de estado é lido pelo equipamento em função dos tipos de supervisão do motor os quais podem ser local ou remota.

A - Supervisão local

O sinal de estado está ligado para terra através de um resistor para a porta de entrada DI∅ do MAD. Este sinal é conduzido através de saída "OUT" do diagrama em blocos do MCS para ser lido pelo DI∅ da MAD. O ANEXO 2.9 ilustra a geração deste sinal enquanto que o ANEXO 2.20 ilustra a recepção deste sinal pela MAD.

B - Supervisão remota

Na supervisão remota este sinal é lido pelo canal 10 [I 10] do MUX do MTX Vide ANEXOS 2.9 e 2.12. Quando o sinal multiplexado enviado pela fibra óptica é recebido pelo MRX, existe, no programa uma janela do sinal multiplexado demodulado destinada a carregar a informação do sinal de estado do MCS. Depois que o programa aquisitou o valor de tensão da janela, destinada ao diagnóstico do energizamento da fonte auxiliar do MCS, ele compara seu nível lógico para exibir a mensagem padrão mal funcionamento do MCS em caso de falhas.

4.4 - Módulo transmissor de sinais (MTX)

4.4.1 - Descrição e diagrama em blocos

Este módulo é composto de dois multiplexadores, um isolador do sinal multiplexado, um somador de tensão, um oscilador controlado por tensão (VCO), um amplificador de sinal de saída para o transmissor/acoplador da fibra óptica de aquisição e diagnóstico, uma fonte auxiliar, um oscilador de onda quadrada, um contador binário, e um inversor cuja responsabilidade é a habilitação alternada do CI1 (4051) ou do CI3.

Este módulo é capaz da transmissão de até quatorze sinais analógicos na faixa de 0 [V] à + 5 [V], já que das dezesseis chaves analógicas proporcionadas pelos CI's 1 e 3 uma é usada para o sinal de - 5 [V] de sincronismo, uma para o monitoramento do estado do MCS, e a outra para o sinal de diagnóstico dos contatos do relé auxiliar do acionamento remoto. Seu diagrama em blocos esta ilustrado no ANEXO 2.11 com respectivo esquema eletrônico no ANEXO 2.12.

O circuito de multiplexação por divisão de tempo consiste na transmissão de vários sinais por um determinado meio de transmissão.

Os sinais de interesse são listados a seguir:

- Três sinais de tensão contínua;
- Três sinais de corrente contínua equivalente;
- Três sinais de defasagem entre tensão e corrente equivalentes;
- Um sinal do tacômetro acoplado ao eixo do motor;
- Um sinal de sincronismo de -5 [Vcc];
- Um sinal de estado do MCS.

Um sinal interno é gerado a partir da selagem dos contatos do relé auxiliar remoto que aciona o contator. Este sinal é realimentado para um dos canais do MUX, e será lido pelo programa. Assim quando o relé atraca, ele coloca o nível lógico "1" no canal 12 do MUX. Este sinal é usado para um autodiagnóstico a ser efetuado pelo equipamento no circuito auxiliar de acionamento remoto.

Estes sinais serão amostrados seqüencialmente num tempo determinado pelo oscilador do contador digital ligado ao multiplexador.

No sistema de multiplexação de sinais por divisão de tempo, TDM, é necessário que o transmissor e o receptor estejam sincronizados. Isto é feito com o envio de um sinal de característica diferente dos demais sinais a serem transmitidos. Este sinal é denominado **sinal de sincronismo**, que é um sinal de -5[V] localizado no canal 0. Após a multiplexação dos sinais é feita a modulação em freqüência do sinal multiplexado resultante.

4.4.2 - Circuito de recepção do acionamento remoto

O módulo contém um receptor óptico que acopla a fibra de proteção e comando a um circuito comparador por histerese. A entrada inversora do CI comparador é ligada do sinal recebido pela fibra de proteção e comando que é comparada com o nível de saída dividido resistivamente, que é então aplicado à entrada não-inversora.

O sinal de saída do comparador é conduzido à bobina do relé auxiliar remoto através de um amplificador de corrente formado por um transistor. Um diodo foi colocado em paralelo com a bobina para curto-circuitar tensões reversas geradas na bobina do relé a fim de proteger o transistor na fase de comutação. No primeiro contato tipo normal aberto (NA) foi conectado um LED no painel do MTX para indicar que seus contatos estão atracados. O segundo contato (NA) foi ligado ao + 5 [V] e ao canal de diagnóstico do acionamento remoto (I12). Neste ponto existe um resistor aterrando o canal do MUX quando o contato está aberto.

Os contatos restantes foram ligados em paralelo para aumentar a capacidade de interrupção e suportar uma maior corrente da bobina do contator. Estes contatos são conduzidos ao painel frontal do MTX para ligação em série com a bobina do contator. No ANEXO 2.17 pode-se observar este circuito.

4.4.3 - Circuito multiplexador dos sinais analógicos

O teorema da amostragem de Nyquist [15] estabelece que a freqüência de varredura dos sinais deve ser de no mínimo duas vezes maior do que a maior freqüência dos sinais de entrada do circuito multiplexado.

A freqüência do oscilador de onda quadrada é suficiente para varrer os canais do MUX que contém os sinais equivalentes CC provenientes do MCS numa taxa de amostragem, tal, que a freqüência máxima do espectro dos sinais equivalentes possa ser de até 156 [Hz], ou seja, os sinais equivalentes CC podem ser sinais com freqüência máxima de 156 [Hz] que o sistema será capaz de responder. Isto introduz um atraso de 6,4 [ms] devido a transmissão multiplexada na fibra óptica de aquisição e diagnóstico. O sinal do oscilador é aplicado ao contador binário cujas saídas estão ligadas às entradas de seleção dos CI's do MUX. A saída QD (INH 0) é aplicada a um inversor, para gerar o sinal $\overline{QD}$ (INH 1) que são usados para habilitação alternada dos CI's de oito entradas que compõem o MUX, gerando um MUX de dezesseis entradas conforme ilustra os canais da tabela 4.4:

CANAL	PARÂMETRO
0	sincronismo = 5 [Vcc]
1	corrente fase A
2	tensão fase A
3	diferença de fase A
4	corrente fase B
5	tensão fase B
6	diferença de fase B
7	corrente fase C
8	tensão fase C
9	diferença de fase C
10	estado do MCS
11	velocidade
12	diagnóstico
13	não usado (NC)
14	não usado (NC)
15	não usado (NC)

Tabela 4.4 - Correspondência entre os canais do MUX/TDM e os sinais equivalentes do motor e sinais internos do equipamento;

Para se fazer o multiplexador foi utilizado o circuito integrado CMOS 4051 [26], que funciona como uma chave analógica bidirecional. Este circuito possui oito entradas de sinais analógicos a multiplexar, uma saída de sinal analógico multiplexado, quatro entradas de seleção através de um contador uma habilitação e alimentação assimétrica de ± 5[V]. Os sinais de entrada poderam variar dentro da faixa simétrica de alimentação. Para fazer a seleção das saídas do circuito foi utilizado um contador binário.

O circuito do transmissor é capaz de transmitir os sinais analógicos do módulo de conversão de sinais com o auxílio de um canal de sincronismo.

As faixas de tensão permitidas dos sinais analógicos no MTX são as mesmas faixas do MCS para que haja compatibilidade entre seus circuitos.

O oscilador controlado por tensão, VCO, tem a resposta de 1 [kHz/V] com freqüência central arbitrada ([1] e [2]) em 250 [kHz] que corresponde a 0 [V] de sinal de modulação. Esta freqüência é logicamente menor que a maior taxa de "bits" 1 [Mbits/s] que os acopladores suportam. Sua entrada moduladora está ligada ao sinal multiplexado modulante.

O sinal quadrado de saída do VCO modulado em freqüência é então aplicado ao acoplador de transmissão da fibra óptica de aquisição que é conduzido ao receptor por meio deste enlace.

Estes sinais são então multiplexados através dos CI's 1 e 3 . Estes CI's estão ligados em cascata paralela de modo a formar um multiplexador de 16 entradas para uma saída.

A escolha do canal do MUX é determinada por um contador binário que fornece uma contagem em BCD 8421 através das saídas QA, QB, QC e QD, possuindo também um inversor para gerar $\overline{QD}$ para alternância dos CI's multiplexadores tal como no ANEXO 2.12.

4.4.4 - Técnica de modulação e demodulação em freqüência

O princípio de operação de um circuito demodulador de freqüência em malha fechada ("Phase Locked Loop" PLL) consiste na sincronização entre um sinal de saída (gerado por um oscilador) e um sinal de referência. Quando estiverem em sincronismo, o erro de fase entre o sinal de saída do oscilador e o sinal de referência é zero (na prática é um valor muito pequeno). Se o erro de fase aumenta, o seu sistema de controle atua no oscilador de modo que o erro seja reduzido para um mínimo de modo que a freqüência do oscilador tende a acompanhar a freqüência do sinal recebido. O controle atua para que a fase do sinal de entrada seja igual a fase do sinal de referência.

Basicamente o "PLL" pode ser subdividido em três equipamentos básicos a saber:

- Oscilador controlado por tensão que fornece um sinal que é determinado pelo sinal de entrada do filtro passa baixas;
- Comparador de fase (PD) que compara a fase do sinal de referência gerado por um "VCO" interno com o sinal recebido pela fibra óptica;

- Filtro de Laço utilizado com característica passa baixas na recepção para recuperar o sinal modulante, ou seja, a informação de interesse.

O circuito do "PLL" pode ser analógico ou digital sendo que a diferença entre eles está na construção dos circuitos de detecção de fase e no oscilador controlado por tensão. O circuito integrado utilizado no equipamento desenvolvido foi o "PLL" digital/analógico da família CMOS 4046. Este consiste de um "VCO", uma fonte seguidora, um diodo zener e dois comparadores de fase com entradas comuns. O comparador da fase I, detector de fase digital é feito com a porta lógica enquanto que o comparador da fase II, detector de fase analógico, é feito com uma rede de memória digital controlada conforme [12].

A especificação dos componentes externos determina o ponto de operação do "PLL". Os valores típicos destes componentes foram obtidos através de tabelas e condições determinadas pelo manual do fabricante [26]. Estes blocos são geralmente em função da freqüência, amplitude do sinal modulante, e índice de modulação utilizado. O filtro de laço é construído externamente, sendo dimensionado pelas tabelas do manual com base nos dados anteriores e na freqüência do sinal modulante. O sistema de modulação em freqüência do circuito de transmissão de dados do MTX utiliza apenas o "VCO" do conjunto "PLL". Na demodulação utiliza-se o circuito completo "PLL" e, neste caso, o comparador de fase utilizado será o de fase II, ou comparador de fase analógico conforme recomenda [12 e 26].

Os ANEXOS 2.12 (MTX) e 2.16 (MRX) ilustram respectivamente os circuitos eletrônicos baseados na técnica "PLL"

4.4.5 - Circuito modulador de freqüência

A modulação consiste na variação de parâmetros de sinal de alta freqüência, denominado sinal portador, por um sinal de menor freqüência, o sinal multiplexado modulante. A modulação utilizada é a modulação de freqüência "FM". Existem diversos métodos de se implementar a modulação em freqüência, sendo que o utilizado baseia-se na técnica "Phase-Locked Loop-PLL" descrita no item 4.4.4 anterior.

O sinal multiplexado a ser aplicado no "VCO" isolado é aplicado a um atenuador resistivo que controla o índice de modulação do "VCO". Este sinal é somado a um sinal CC constante, para que as variações atenuadas do sinal multiplexado fiquem dentro da faixa de tensão permitida do "VCO". Isto é feito para que a magnitude do sinal demodulante não sature o modulador.

Desta forma temos um modulador em freqüência com freqüência central, f∅, determinada pela capacitância e por resistores cujos valores foram obtidos através do manual do fabricante [26]. A freqüência central, 250 [kHz], é desviada pelo deslocamento do sinal multiplexado em relação ao zero. O desvio de freqüência do modulador é função do nível do sinal neste ponto. Ajustando-se o nível máximo do sinal ajusta-se o desvio máximo de freqüência.

Se diminuirmos o sinal multiplexado modulante, a faixa de variação da tensão do sinal multiplexado modulante é diminuída. A informação é preservada, pois a atenuação do divisor resistivo é igual para todos os sinais que compõem o sinal original.

Pela característica do "VCO" do CI 4046, o sinal modulante do "VCO" que atua na freqüência gerada pelo mesmo não deve ultrapassar a metade da alimentação, portanto 6 [V]. Então a faixa de tensão permitida para a modulação do "VCO" vai de 0 a 6 [V]. Para compatibilizar a faixa de tensão de modulação do "VCO" foi incluso um circuito somador com a finalidade de deslocar a faixa do sinal multiplexado para dentro da faixa aceitável pelo "VCO". O sinal modulante atenuado é somado com um nível CC constante ajustável no divisor resistivo. O somador além de adequar a faixa do sinal multiplexado modulante para o "VCO" também calibra a freqüência central do "VCO".

O sinal resultante do somador é aplicado no "VCO" provocando um desvio de freqüência. Assim o POT 1 atua no índice de modulação e o POT 2 na freqüência central da portadora. A figura 3.19 ilustrou estes controles atuando no diagrama em blocos reduzido do MTX..

A saída do "VCO" é aplicada a um amplificador de corrente, que amplifica o sinal modulado em freqüência pelo sinal multiplexado. Sua saída é então aplicada ao acoplador de transmissão da fibra óptica (CI11:T-1521), que é aterrado por um resistor cuja função é limitar a corrente.

O ANEXO 2.12 ilustra o modulador de freqüência "FM" através da técnica "PLL" enquanto que o ANEXO 2.16 ilustra a demodulação do sinal muiltiplexado modulado em freqüência.

4.4.6 - Fonte de alimentação do MTX

A fonte de alimentação do MTX é similar à fonte do MCS. A diferença é que a fonte do MTX contém ligado na saída simétrica de ± 12 [V] um conjunto de reguladores e filtros adicional para fornecer alimentação simétrica de ± 5 [V]. Existe LED exposto no painel frontal do MTX para indicar que a energia da rede elétrica está presente e a chave de alimentação ligada. Seu esquema eletrônico encontra-se no ANEXO 2.13, sendo idêntico ao ANEXO 2.18, fonte de alimentação do MRX.

4.5. - Módulo de recepção de sinais (MRX)

4.5.1- Descrição e diagrama em blocos

Este módulo é responsável pela recepção dos dados de aquisição e sinais de controle oriundos dos elos de fibras ópticas conforme ilustra o ANEXO 2.14. Assim o módulo MRX está eletricamente isolado do módulo MTX.

As fibras ópticas utilizadas permitem uma distância de no máximo 40 metros entre os módulos MTX e MRX e portanto os sinais de referência (terras) ficam isolados entre si, o que é muito interessante, visto ocorrer um perfeito isolamento elétrico entre as partes de sensoriamento e processamento das informações.

A fibra de aquisição e diagnóstico contém o sinal "TDM" modulado em freqüência correspondente aos sinais equivalentes do MCS. O receptor (CI1: R-2521) do sinal luminoso transforma-o em sinal elétrico pulsado o qual é idêntico ao sinal de saída do "VCO" do MTX. O sinal multiplexado modulante é recuperado no receptor após sua demodulação. Além disso, recebe os sinais necessários a definição das grandezas -5[V] em CC o qual corresponde ao sinal de sincronismo.

O ANEXO 2.15 ilustra o diagrama em blocos do MRX. A configuração interna do circuito interno CI2 vide ANEXO 2.16, foi montada de modo a perfazer um demodulador de freqüência, para recuperação do sinal multiplexado.

Os componentes externos do CI2 foram calculados de tal forma a demodular esta onda quadrada de freqüência central de 250 [kHz]. O potenciômetro (POT2) efetua o ajuste grosso da freqüência f∅, enquanto que o potenciômetro (POT3) efetua o ajuste fino desta freqüência. Para a recuperação do sinal foi necessário a inserção de filtros passa baixas RC em cascata, além de amplificadores operacionais para igualar o nível do sinal multiplexado demodulado recebido no MRX com o nível do sinal multiplexado modulante do MTX.

A saída do detector de fase analógico é realimentada através de um filtro passa-baixas na entrada de controle do "VCO". A freqüência de corte deste filtro é determinada pela freqüência máxima do sinal multiplexado/ demodulado. A freqüência de corte do filtro de entrada do demodulador é calculada em função da freqüência do sinal multiplexado 156 [Hz].

4.5.2 - Circuitos de conformação do sinal demodulado multiplexado

Os ANEXOS 2.12, 2.14 e 2.16 ilustram respectivamente a geração, transmissão e recepção dos sinais analógicos equivalentes do motor efetuados pelo equipamento. Na recepção, ANEXO 2.16, o sinal demodulado do CI 2 além de conter ruídos de alta freqüência está fora da faixa dos sinais aquisitados, visto que o mesmo vai de +2,5 à 7,5 [V] em CC. Este sinal deveria estar na mesma faixa dos sinais do MCS transmitidos pelo MTX. que é de 0 a 5 [V] em CC. Para resolver este problema foi adicionado um nível CC negativo de -5 [V] em CC. Isto é feito através dos amplificadores operacionais. O sinal demodulado do "PLL" é passado por um filtro. O sinal do ponto PM4, sinal multiplexado demodulado, é então reaplicado a um filtro passa-baixas para conformar os transitórios de tensão do sinal multiplexado demodulado, levando-o a um aspecto melhor.

Este sinal semi-filtrado proveniente do acoplador de recepção da fibra de aquisição é isolado com um amplificador de ganho unitário de alta impedância de entrada. Com isso, estabilizamos e aumentamos a fidelidade da demodulação. Logo após, refiltrando novamente, obtém-se o sinal demodulado filtrado e isolado do demodulador de freqüência modulado "PLL". O sinal ainda está fora da faixa de tensão real do sinal multiplexado modulante que varia entre ±5 [V]. O sinal isolado é passado por outro filtro passa-baixas ajustado experimentalmente, para correção das imperfeições do sinal demodulado, em relação ao sinal modulante. Na saída do filtro, o sinal demodulado tem o mesmo aspecto do sinal modulado, porém atenuado e somado a um nível de + 5 [V].

Para que o sinal do circuito de recepção de dados (MRX), seja igual ao sinal do circuito do módulo transmissor (MTX), o sinal da saída do filtro é aplicado a um somador de ganho ajustável. Na outra entrada do somador tem-se um sinal de - 5 [V] responsável pela eliminação do nível CC presente no sinal demodulado. Primeiro, o sinal demodulado é somado à -5 [V] modificando a sua faixa que é amplificada por aproximadamente dois, adequando a faixa do sinal demodulado do MRX à real faixa do sinal multiplexado modulante transmitido pelo MTX. Na calibração dos circuitos dos módulos a fidelidade do sinal demodulado com o sinal multiplexado modulante é verificada usando os dois canais do osciloscópio. Um canal recebe o sinal multiplexado modulante do MTX enquanto que o outro recebe o sinal multiplexado demodulado.

Por fim o MRX entrega à placa de aquisição de dados, via MAD, os sinais:

- Sinal multiplexado demodulado e filtrado;
- Terra isolado eletromagneticamente e galvânicamente do neutro da rede ou terra do MTX;
- Sinal de estado do MRX;
- Sinal de controle remoto do motor por meio da saída DO∅.

4.5.3 - Circuito transmissor do acionamento remoto

O transmissor da fibra de proteção e comando é ligado a um amplificador de corrente interno do MAD que é responsável pela saída digital (DO∅) da placa de aquisição de dados. O terra do transmissor, terra do MRX, é conectado ao terra do MAD para compor o equipamento. O ANEXO 2.17 ilustra o esquema eletrônico desenvolvido para executar esta função do equipamento.

4.6 - Módulo adaptador (MAD)

4.6.1 - Descrição e diagramas em blocos

O objetivo do módulo adaptador de sinais (MAD), ANEXO 2.20 é tornar acessíveis em um painel, todas as entradas e saídas da placa de aquisição de dados do PCL812 PG. Os conectores da placa PCL812 PG são dispostos no painel da MAD, conforme ilustra o ANEXO 2.19.

Os conectores CN1 e CN2 já estão dispostos no painel traseiro do PC e os demais conectores CN3, CN4 e CN5 foram trazidos a este painel por intermédio de cabos multiveias, recebendo a mesma pinagem original da placa PCL812 PG.

Ele possui amplificadores de corrente a transistor em suas portas de saída e resistores "pull-up" nas entradas digitais. O ANEXO 2.20 ilustra estes circuitos internos do MAD.

4.6.2 - O circuito de acionamento local

O circuito de acionamento local da MAD contém um comparador por histerese que é usado para o acionamento de um elemento de maior potência no caso transistor o qual energiza o relé auxiliar do acionamento local do contator principal que liga ou desliga o MIT.

O ANEXO 2.21 ilustra o circuito de acionamento local, juntamente com o sensor de diagnóstico de funcionamento.

4. 7 - Placa de aquisição de dados (PCL-812 PG)

4.7.1 - Descrição e funcionamento para o equipamento

As principais funções da placa de aquisição de dados [36] e seus ajustes são os seguintes:

1- Conversão A/D com resolução de 12 bits e velocidade de conversão máxima de 30 [kHz] para um precisão de 0,015% na leitura de ±1 bit. A conversão é feita por aproximações sucessivas. O multiplexador de entrada do conversor possui 16 canais com faixas de tensão de entradas programáveis. Estas faixas podem ser escolhidas através de uma chave ("jumper" 9) que selecionam dois conjuntos de faixas:
Conjunto 1: ±10, ±5, ±2,5, ±1,25, ±0,625 [V] em CC
Conjunto 2: ±5, ±2,5, 1,25, ±0,0625, ±0,3125 [V] em CC

Como os sinais fornecidos pela placa de tratamento de sinais MCS foram limitados em ±5 [V] em CC, escolheu-se as faixas de tensões analógicas entre ±0,3125 à ±5 [V] em CC para o equipamento desenvolvido.

2 - Conversão D/A com resolução de 12 bits, tempo de resposta de 30 [μs] e linearidade de ±1/2 bits. Possui dois canais com isoladores de saída de ±5 [mA] no máximo e faixas de tensão que podem ser escolhidas através do "jumper" 3 para o primeiro canal, e "jumper" 4 para o segundo canal. A referência de tensão do conversor D/A pode ser gerada internamente pela placa -5 ou -10 [V]em CC ou pode-se usar uma referência externa de tensão CA ou CC vinda do conector CN2 (pino 17 ou 19). A referência interna de tensão -5 ou -10 [V] em CC pode ser selecionada pelo "jumper" 8. Se a referência escolhida for de -5[V]em CC, a faixa de tensão de saída será de 0 à 10 [V] em CC. Esta função da placa não é usada no equipamento desenvolvido.

3 - Escrita ou leitura digital de 16 bits de entradas digitais e 16 saídas digitais todas compatíveis com circuitos integrados das famílias TTL/DTL. A tensão de entrada em nível zero é, no máximo de 0,8 [V] em CC, e em nível "1" de no mínimo +2,0[V] em CC. As correntes de carga típicas das entradas são de 0,4 [mA] em nível baixo e 50 [mA] em nível alto. Para as saídas digitais estas correntes são de 8 [mA] em nível baixo e -0,4 [mA] em nível alto. Esta função é usada parcialmente no equipamento desenvolvido.

4 - Temporização e contagem programáveis efetuadas com o CI 8253 da INTEL que contém 3 canais contadores de 16 bits, sendo dois deles permanentemente conectados ao "clock" interno de 2 [MHz]. Estes dois canais são configurados para formar o gatilho interno que pode fornecer pulsos precisos a uma taxa desde 500 [kHz] (:2 :2) até 35 [min/pulso] (:256 :256). Este sinal é ligado ao conversor A/D de modo a promover uma aquisição em intervalos de tempo iguais. Isso pode ser feito no "jumper" 1 onde seleciona-se a fonte de início de aquisição de sinais (gatilho) do conversor A/D. Esta função é responsável pela forma de aquisição de dados, via elos de fibras ópticas, pelo equipamento. Os sinais de gatilho podem ser internos, vindos do temporizador programável, ou externos à placa PCL812 PG ou ainda por funções do programa. A entrada do CI é compatível com o padrão TTL/DTL/CMOS sendo que o controlador de número ∅ (zero) é deixado para aplicações do usuário. Este contador pode ser ligado a um "clock" externo, vindo do pino 8 do conector CN5, ou no oscilador interno de 2 [MHz] através do "jumper" 2.

5 - Acesso direto à memória DMA: A placa PCL812 PG dispõe da capacidade de transferência direta para a memória do microcomputador acoplado. A seleção do DMA em nível "1" ou nível "2" é controlada pelos "jumpers" 6 e 7. No equipamento desenvolvido esta função da placa não é utilizada.

6 - Seleção dos modos de gatilho do conversor A/D: As conversões A/D da PCL812 PG podem ser acionadas através de três fontes de gatilho relacionadas a seguir:

a - **Disparador "Software trigger":** é controlado pelo comando de software editado pelo programa da aplicação. Escrevendo-se no registrador do endereço (BASE+12), um valor qualquer causa um gatilho por programa. Este modo de gatilho normalmente não é usado em aplicações A/D de alta velocidade devido às limitações de tempo de execução do programa da aplicação;

b - **Disparador "Pace trigger":** os contadores 1 e 2 do 8253 são configurados para oferecer pulsos de trigger para o conversor A/D com períodos precisos num modo de gatilho de pulsos regulares. Estes pulsos podem situar-se entre 500 [kHz] (mínimo contagem) e 35 [min/pulsos] (máximo contagem). O modo de gatilho que gera pulsos regulares (pacer trigger) é ideal para interrupções e transferência de dados DMA que normalmente são utilizados em aplicações A/D requerendo uma velocidade de conversão maior;

c - **Disparador "External trigger"**: a placa PCL 812-PG aceita pulsos de "gatilhos" externos através do pino 1 do conector CN5. Este tipo de modo de gatilho é usado em aplicações A/D que requeiram conversões não periódicas mas, condicionais, tais como: transitórios, faltas, desligamentos, etc....

7 - Ganho programável que seleciona a faixa de tensão analógica do conversor A/D: As faixas selecionáveis de entrada disponíveis na placa são ±5, ±2,5, ±1,25, ±0,625, ±0,3125 [V] em CC. O registrador no endereço (BASE+9) usado para calibrar o ganho do amplificador analógico programável de entrada do conversor A/D. O formato dos bits deste registrador e ganhos são definidos nas tabelas 4.5 e 4.6 a seguir:

BASE +9	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D0
GANHO	X	X	X	X	R_2	R_1	R_0

Tabela 4.5 - Endereço e formato da palavra digital que controla ganho;

A definição do ganho é:

R2	R1	R0	GANHO
0	0	0	1
0	0	1	2
0	1	0	4
0	1	1	8
1	0	0	16
1	0	1	inválido
1	1	0	inválido
1	1	1	inválido

Tabela 4.6 - Seleção do ganho do amplificador de entrada do conversor A/D;

As faixas das entradas analógica, e os ganho podem então ser relacionadas de modo a obter as tensões máximas de entrada para cada ganho conforme a expressão (4.8).

$$Faixa = \frac{U_{MÁX.}}{G} \qquad (4.8)$$

Onde, na equação (4.8) tem-se:

Faixa = Faixa de entrada analógica escolhida no equipamento;
$U_{MÁX}$ = Tensão máxima de entrada da faixa escolhida;

G = Ganho do amplificador de entrada definido pelo programa no endereço e formato da tabela 4.5 e de acordo com a tabela 4.6.

A tensão máxima de entrada para o equipamento foi ajustada pelo "jumper" 9 em ±5 V necessitando de ganho unitário (G = 1 ∴ R0 = R1 = R2 = 0).

8 - Com a multiplexação dos 16 canais analógicos de entrada pode-se ler 16 fontes analógicas diferentes na mesma referência. Um registrador de escrita somente no endereço (BASE+10) escolhe qual dos canais de entrada será conduzido ao amplificador de ganho programável e posteriormente ao conversor A/D. O multiplexador chaveia para um novo canal quando recebe a escrita do registrador do endereço (BASE+10) no formato:

BASE +10	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
CANAL	X	X	X	X	CL3	CL2	CL1	CL0

Tabela 4.7 - Endereço e formato da palavra digital de controle do canal digital a ser lido;

Onde:

CL3, CL2, CL1 e CL0 são as variáveis lógicas que escolhem o canal do multiplexador a ser lido.

9 - O canal de gerenciamento de interrupção microcomputador necessita saber o nível da interrupção causado quando a conversão A/D é completada. Estes níveis podem ser de 2 à 7. O nível é selecionado pelo "jumper" 5. O usuário deve estar a par dos níveis de interrupção das outras placas adicionais ao microcomputador, pois eles não podem compartilhar do mesmo nível de interrupção caso isto ocorra haverá conflito de endereçamento que poderá causar bloqueio do microcomputador.

No ANEXO 2.22 apresenta-se diagrama em blocos da placa PCL 812-PG Esta placa PCL 812-PG [36] é encaixada na placa principal "MOTHER BOARD" [30] do microcomputador padrão IBM/PC® e externamente à placa de conectores do MAD.

4.7.2 - Conexão da placa de aquisições de dados no microcomputador

Para a composição e união destas placas a fim de se montar o analisador, deve-se proceder da seguinte seqüência:

1 - Desligar o microcomputador e utilizar um conector vago para instalar a placa de aquisição de dados;
2 - Consultar internamente os níveis de interrupção das placas internas ao microcomputador;
3 - Verificar se o espaço interno do gabinete era suficiente para abrigar a placa PCL 812-PG com seus respectivos conectores que serão ligados na parte traseira do microcomputador;
4 - Efetuar o ajuste dos "jumpers" da placa PCL 812-PG. No equipamento, para atingir os objetivos propostos, os "jumpers" foram calibrados tais como em suas descrições no item 4.7.1. Eles podem ser verificados no desenho físico da placa fornecido no manual [36];
5 - Logo após, conectar os conectores da placa PCL 812-PG aos cabos multiveias na parte traseira do microcomputador fechando-se o gabinete do mesmo;
6 - Ligar os cabos dos conectores da parte traseira do micro para a MAD que são as continuações externas dos cabos multiveias que provem da placa PCL 812-PG;
7 - Em seguida, ligar as entradas analógicas da placa de conexão com os sinais da placa de tratamento dos sinais de tensão, corrente, fase, etc. Esta placa de tratamento possui alimentação independente do microcomputador e deve ser ligada;
8 - Conectar a rede de alimentação da amostra em série com os cabos de entrada da placa de tratamento dos sinais.

Em seguida acessa-se o diretório do DOS que contém o programa do equipamento desenvolvido executando-o da seguinte forma: C:\MIT\MIT. Isto é, na unidade de disco rígido do microcomputador, no subdiretório MIT está o programa objeto MIT gerado pela compilação do programa fonte feito nas linguagens de programação PASCAL e ASSEMBLER ([54], [55]).

4.8 - Sinais e conexões gerais através dos módulos do equipamento

A tabela 4.8 ilustra as conexões gerais dos sinais nos circuitos ao longo de todo o equipamento.

MAD	N e Cor do fio	Função	DB-25 do MAD	DB-25 do MTX	Canal TX	Esquema TX
-	1 Preto	NC	-	-	0	-5 Vcc (Sincronismo)
Marron	2 Marron	V_B	14	25	2	I 2
Verm.	3 Vermelho	V_C	15	24	3	I 3
Abob.	4 Abóbora	I_A	16	23	4	I 4
Amar.	5 Amarelo	I_B	17	22	5	I 5
Verde	6 Verde	I_C	18	21	6	I 6
Azul	7 Azul	D_A	19	20	7	I 7
Marron	8 Violeta	D_B	20	19	8	I 8
Verm.	9 Cinza	D_c	21	18	9	I 9
Abob.	10 Branco	estado	12	02	10	I 10
Amar.	11 Preto	Rotação	24	15	11	I 11
Verde	12 Marron	V_A	13	01	1	I 1
-	13 Vermelho	NC	11	03	12	-
-	14 Abóbora	NC	23	16	13	-
Azul	15 Amarelo	Terra	25	14	-	-
-	-	NC	-	04	14	-
-	-	NC	-	17	15	-

Tabela 4.8 - Sinais e conexões através dos módulos do equipamento desenvolvido;

Esta tabela resume todos os pontos de ligações e sinais através de todos os circuitos e dos elos de fibras ópticas do equipamento desenvolvido. Todos os pinos e pontos tem correspondência nos circuitos do ANEXO 2.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RESULTADOS DO EQUIPAMENTO

RESUMO

Este capítulo mostra os resultados obtidos pelo equipamento desenvolvido comprovando seu funcionamento e desempenho. As conclusões, recomendações, dificuldades na elaboração e futuras implementações do equipamento são apresentadas.

5.1 - Conclusões sobre o desempenho do equipamento

Esta dissertação teve por objetivo desenvolver um equipamento que desempenhasse diversas funções envolvendo potência superior a 75 [Hp]. O sistema desenvolvido permite obter curvas de relés para efetuar o controle e proteção bem como efetuar a aquisição de diversos dados de modo a permitir a análise dos motores de indução trifásicos.

Observando-se os resultados, relatórios e trabalhos obtidos na análise dos motores de indução trifásicos, do sistema elétrico industrial e do equipamento, em geral que utilizou-se de um sistema de aquisição de dados através de elos de fibras ópticas e microcomputadorizado, conclui-se que a filosofia de desenvolvimento e a sistemática utilizadas são eficientes, tanto nas aplicações nos laboratórios, como em instalações industriais, fornecendo uma ampla gama de informações e proteções com rapidez e precisão, atingindo-se os objetivos propostos neste trabalho.

A análise da eficiência das filosofias de proteções utilizadas, e das informações obtidas nos monitoramentos realizados, foram satisfatórios quando se considera as limitações impostas pelo caráter acadêmico e experimental com que foi desenvolvido este equipamento, embora o desenvolvimento tenha como objetivo oferecer uma ferramenta com aplicações industriais.

A utilização do equipamento aqui desenvolvido, para o monitoramento dos motores de indução trifásicos, permite o acompanhamento contínuo, ou seja, em tempo real do funcionamento desses motores, através da depuração e comparação dos parâmetros monitorados. Possibilita o desenvolvimento de ações, que visam a otimização ampla e proteção do seu desempenho operacional, promovendo o aumento da sua disponibilidade de utilização, com conseqüente redução dos custos de produção.

A supervisão das máquinas fornece, ainda, subsídios para a implantação das manutenções e proteções preventiva e preditiva, possibilitando o diagnóstico e a redução do número de defeitos e falhas, com a diminuição dos períodos de paralisação destes motores nos processos de produção.

Com a aplicação efetiva do monitoramento de motores, utilizando a sistemática desenvolvida neste trabalho, novos parâmetros, como temperatura, fases em falta, e tempo de operação instantâneo, poderão ser monitorados, aumentando o nível de informações sobre o funcionamento destas máquinas.

O equipamento desenvolvido permite efetuar leituras de sinais CC correspondentes aos parâmetros de um motor de indução trifásico. Estes parâmetros são transmitidos por intermédio de uma fibra óptica imune à ruído, e interpretados com a ajuda de uma placa de aquisição de dados e um microcomputador. Ele cumpriu os objetivos propostos, apresentando boa precisão na leitura dos parâmetros dinâmicos de um motor em uso. Demonstrou ser versátil, móvel e de fácil adaptabilidade a qualquer proposta de análise ou função especial de proteção de motores de indução trifásicos.

Conclui-se , de um modo geral, que a análise de funcionamento dos motores de indução trifásicos através de um sistema de aquisição de dados isolado galvanicamente de um microcomputador, representa uma evolução na qualidade da análise e proteção dos mesmos.

5.2 - Dificuldades encontradas no projeto durante o desenvolvimento do equipamento

A maior dificuldade do projeto foi a calibração para o modo polinominal dos circuitos que envolvem o equipamento desenvolvido, visto que as características dos componentes variam com a temperatura e tempo de uso do equipamento. Isto dificulta, de certa forma, a calibração polinominal, tornando a linear, portanto, mais prática

Outra dificuldade é a análise de atuação da combinação de duas ou mais proteções e relés auxiliares do equipamento. Pode ocorrer um erro na previsão do diagnóstico se o usuário não levar em conta todas as funções que estão desbloqueadas. A análise se torna complicada para várias proteções e relés auxiliares.

Escola Federal de Engenharia
Biblioteca
MAUÁ
BIM
de Itajubá - EFEI

5.3 - Resultados obtidos envolvendo faltas e atuação das proteções

Para se efetuar um teste de operação das proteções do equipamento deve-se levar em consideração a sua prioridade e atuação. Entende-se como prioridade a ordem ou hierarquia para as verificações das proteções implementares pelo programa. Após verificada a prioridade da função, o programa confere se a função está desbloqueada ou não e executa o algoritmo correspondente. Para teste de uma única proteção ou relé auxiliar deve-se bloquear todas as outras. Para teste de duas ou mais proteções ou relés auxiliares desbloqueadas deve-se analisar as suas combinações possíveis. Diferentes algoritmos com diferentes valores de atuação e hierarquia formarão um novo modelo que irá combinar de todas as proteções disponíveis do equipamento para aquela situação escolhida. Para perfeito diagnóstico da falta deve-se levar em conta todas as funções desbloqueadas com suas prioridades e valores de atuação. Recomenda-se desbloquear apenas uma proteção por vez para verificar se o diagnóstico da falta através da respectiva mensagem padrão está correto e, portanto, se a proteção ou relé auxiliar funciona corretamente.

5.4 - Montagem do sistema em análise em conjunto com o equipamento para ensaios de faltas

Existem três configurações básicas para testes das funções protetivas e auxiliares do equipamento:

1 - Sistema elétrico para testes de correntes trifásicas:

Nesta disposição pode-se efetuar as simulações das funções que envolvem a variável corrente. Tal disposição é ilustrada no ANEXO 2.25.

A cronometragem das funções temporizadas pode ser conferida com o auxílio de um cronômetro analógico. Sua contagem é iniciada no fechamento do contator. A contagem é interrompida quando a proteção do equipamento atuar. Com base nisso, pode-se obter curvas de atuação para as funções temporizadas.

2 - Sistema elétrico para testes de tensões trifásicas:

Para variar o valor de tensão a fim de testar as funções de tensão pode-se utilizar o esquema pronto. O transformador com tensão de baixa regulagem fornece as tensões de atuação para o relé em teste. O ANEXO 2.24 ilustra o sistema elétrico para estes testes.

3 - Disposição elétrica do sistema para testes com relé de sobrecarga:

Para tal inseriu-se um relé de sobrecarga térmica compatível com o motor tal como mostrado no ANEXO 2.23. De posse de sua curva de duração inversa em função da sobrecarga, compara-se a curva do relé externo eletromecânico com a curva de atuação calibrada na tela gráfica do programa do equipamento.

O teste é realizado colocando-se uma sobrecarga pré-ajustada nos resistores de potência com a proteção 49 habilitada. Conhecendo-se a curva de atuação do relé térmico externo pode-se comparar com aquela ajustada para relé de sobrecarga (proteção 49) nas telas gráficas do programa.

5.5 - Resultados e testes com o equipamento

O ANEXO 3 ilustra todas as telas do equipamento obtidas do mesmo quando em funcionamento. As telas são compostas pelas funções descritas no capítulo 3 com suas respectivas posições no monitor de vídeo do microcomputador.

O ANEXO 3.1 mostra a tela onde são fornecidos os dados do motor além de parâmetros do equipamento teclas e mensagem padrão tal como descrito nos itens 3.2 e 3.5.

No ANEXO 3.2 tem-se a tela de calibração com suas respectivas funções e resultados além das outras funções descritas no item 3.4.

O ANEXO 3.3 ilustra a tela dos circuitos. Esta tela tem suas funções de configuração da placa de dados e do equipamento além das funções especiais de funcionamento já descritas no item 3.3.

O ANEXO 3.4 é a tela das proteções e relés auxiliares com os respectivos ajustes usados no instante de impressão dos limites descritos no item 3.6.

No ANEXO 3.5 tem-se a tela das aquisições onde são apresentados ao usuário as funções de aquisição de fase explicadas no item 3.7 além dos parâmetros do equipamento, mensagem padrão e teclas.

O ANEXO 3.6 ilustra a última tela de tempo real do equipamento desenvolvido. As funções de temperatura estimada do MIT no tempo calculada pelo equipamento é apresentada com o fluxo de carga do MIT. Demais funções complementam esta tela descrita nos itens 3.9 e 3.10.

5.6 - Futuras expansões e opções para o equipamento

5.6.1 - Relé lógico programável (RLP)

É um relé lógico baseado num microcontrolador dedicado de 32 bits programável na linguagem C + + via modem por um microcomputador remoto.

Através deste podemos programar o conjunto de proteções e funções de relés auxiliares. Pode-se também monitorar constantemente os valores aquisitados no tempo pelo RLP. Uma vez calibrada as proteções e relés auxiliares via modem, o RLP pode funcionar independente do microcomputador e atuar de acordo com a calibração. O diagrama em blocos do sistema é apresentado a seguir:

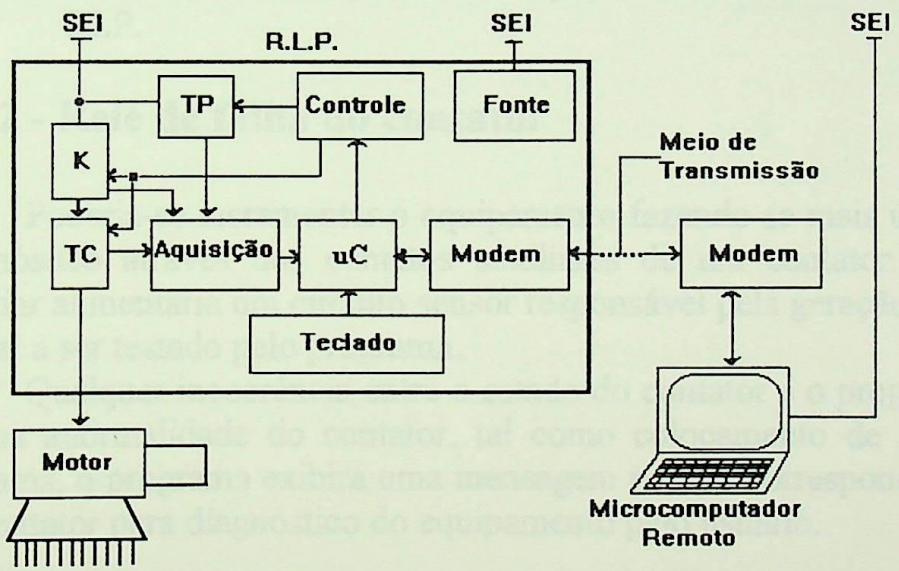


Figura 5.1 - Outro sistema alternativo para análise e proteção de motores de indução trifásicos;

Onde, na figura 5.1 tem-se:

SEI = Sistema elétrico industrial;
K= Contator principal;
TP = Transformadores de potencial;
TC = Transformadores de corrente;
Controle = Porta de saída do microcontrolador, que comanda as mudanças de hardware;
Aquisição = Porta de entrada do microcontrolador, que aquisita dados do motor e estado atual do hardware;
Teclado = Somente a chave geral do "hardware" e comando local prioritário liga/desliga do motor;
μC = Microcomputador de 32 bits com placas auxiliares, tais como:
- Disco rígido;
- Placa mãe: 486;
- Placa controladora;
- Placa modem;
- Placa de aquisição de dados;

Fonte = Fonte de alimentação auxiliar que alimenta todo o "hardware" de RLP.

5.6.2 - Relé de falha do contator

Poderia-se incrementar o equipamento fazendo-se mais um sensor de diagnóstico através dos contatos auxiliares de um contator. O contator auxiliar alimentaria um circuito sensor responsável pela geração de um sinal digital a ser testado pelo programa.

Qualquer incoerência entre o estado do contator e o programa devido a uma anormalidade do contator, tal como colocamento de abertura dos contatos, o programa exibirá uma mensagem padrão correspondente a falha do contator para diagnóstico do equipamento pelo usuário.

5.6.3 - Sensores extras no MIT

Usando-se sensores extras no MIT e no ambiente tais como:

- Termostato no estator do MIT;
- Verificação da ventoinha de refrigeração;
- Sensor de vibração;
- Sensor de temperatura ambiente;

Estes sensores ampliariam os campos eletromecânicos e térmicos de verificação do funcionamento geral do MIT pelo equipamento.

Através de um termostato no estator, poder-se-ia fazer mais uma proteção contra sobretemperatura com mais uma curva complementar de temperatura do termostato no tempo. Com isso efetua-se uma comparação entre o valor estimado de temperatura com base nos dados e valores V, I e do MIT e o valor de temperatura lido no termostato do MIT.

Com o sensor de quebra de ventoinha, ou falta de ventilação poder-se-ia alterar a taxa de correção da temperatura estimada no tempo pelo programa. Pode-se construir também um relé contra falta de refrigeração do rotor.

O sensor de vibração permite através de um espectro de freqüência um diagnóstico do MIT. Com este diagnóstico, pode detectar as barras quebrados de um rotor, ou eixo de transmissão emperrado e outros problemas especialmente de origem mecânica.

5.6.4 - Mudança automática das derivações dos transformadores de corrente ou potencial

A idéia é uma proteção contra má-relação dos transformadores de potencial e corrente externos do equipamento. O programa então compararia os dados do motor com as relações dos TP's e TC's percebendo se há ou não uma compatibilidade entre os níveis a serem medidos e entregues ao MCS.

No quadro das relações dos transformadores de potencial, tem-se na segunda coluna a tensão nominal da derivação primária. Na próxima coluna, coloca-se a tensão nominal da derivação escolhida no secundário do TP. Imediatamente após isto, o programa fornece na última coluna, a relação entre, a tensão da derivação primária e a tensão da derivação secundária. Neste ponto, ele conferirá se a maior tensão das derivações secundárias calibradas, vezes o máximo em p.u. de sobretensão a ser calibrado (1 a 1,3), é maior que a máxima tensão permitida no MCS, sem que este sature seus conversores (Vmax = 80 Vca).

Em geral, as derivações primárias e secundárias das três fases tem o mesmo valor, e, portanto, apresentam a mesma relação de transformação. Estas relações transformações de potencial para cada fase, são levadas em conta tanto na calibração linear quanto na polinomial.

Abaixo do quadro de calibração dos TP's, está o quadro de calibração dos transformadores de corrente usados em cada fase. A primeira coluna indica a fase do respectivo TC, na segunda coluna, entra-se com o valor da corrente nominal da derivação primária selecionada no TC, o valor inicial é de 5 [A], na coluna seguinte, entra-se com a corrente nominal da derivação secundária do TC, normalmente este valor é de 1 ou 5 [A].

Imediatamente após, o programa calcula a relação entre os valores das derivações primária e secundária mostrando na última coluna. Neste ponto, existiria uma comparação entre a corrente de curto-circuito a ser medida e a corrente máxima mensurável pelo MCS .Se o valor em p.u. da sobrecorrente instantânea calibrada 1,1 a 1,7 vezes o valor da corrente nominal do motor no relé, for maior que a máxima corrente mensurável pelo MCS (Imax = 10 [A]), o programa informaria que a menor relação dos TC's deve ser aumentada. Caso contrário, se o valor da máxima corrente calibrada a ser medida pelo MCS, estivesse abaixo de Imax/2 (5 [A]), o programa informaria ao usuário que a maior das três relações dos TC's deve ser diminuída. Caso as relações sejam iguais, todas devem ser diminuídas. Esta seria uma filosofia de operação da proteção essencial intrínseca contra mal dimensionamento dos transformadores de potencial e corrente. Ela é reverificada toda vez que um que um dos parâmetros de comparação é alterado.

Assim, estas proteções contra mal dimensionamento das relações de transformação de potencial e corrente seriam verificadas nas seguintes telas do equipamento:

A - Tela de calibrações

As verificações seriam feitas após a entrada dos valores das derivações primária e secundária e do cálculo das relações. O programa importaria dados internos da tela do motor e da tela das proteções para a verificação da proteção contra mal dimensionamento dos TP's, feitas primeiramente. Logo após a entrada de dados dos TC's, seria feita a verificação da proteção contra mal dimensionamento dos TC's com base nos dados importados das outras telas.

B - Tela de dados do motor

A verificação do dimensionamento dos TP's seria feita após a entrada da tensão nominal do motor, importando os demais dados para cálculo da proteção contra mal dimensionamento das tela de calibração e da tela das proteções.

A verificação do dimensionamento dos TC's seria realizada após a entrada da relação entre a corrente de partida, e a corrente nominal do motor. Esta verificação importaria dados das relações dos TC's da tela de calibração e dados da máxima corrente a ser medida. A máxima corrente a ser medida é a corrente de partida do MIT se a proteção de sobrecorrente instantânea na tela de proteções estiver bloqueada.

Caso sua atuação estivesse habilitada, a máxima corrente a ser medida pelo MCS, seria a sobrecorrente instantânea calibrada.

C - Tela das proteções

A maior tensão a ser medida é na proteção de sobretensão. Após calibrada, o programa verifica com base em dados importados das duas telas anteriores se a máxima tensão a ser medida é menor que a máxima tensão mensurável do MCS. Caso contrário, a proteção envia uma mensagem de proteção à tela. Os dados importados de outras telas são: a menor das relações dos TP's da tela de calibração e a tensão nominal do motor.

Para a verificação de corrente temos que desbloquear sobrecorrente instantânea. O programa importa dados da tela do motor e da tela de calibração para efetuar os cálculos e verificar a condição de mal-dimensionamento.

5.6.5 - Diagnóstico interno de todas as fontes auxiliares dos módulos

O equipamento poderia fazer um usufruto maior da placa de aquisição de dados. Isto implicaria também alterações de circuitos, cabos e das rotinas de aquisição do programa. Todas as saídas de tensão da fonte auxiliar dos módulos poderiam ser testados com o auxílio de circuitos sensores de estado. Na dissertação, cada módulo possui um sensor de estado para verificação da energização do módulo, mas somente do funcionamento de uma saída de tensão da fonte + 5 [Vcc]. Estas saídas alimentam os sensores de estado dos módulos para um diagnóstico mais completo do equipamento.

5.6.6 - Subtensão e sobretensão a tempo inverso e definido

Poderia-se desenvolver ainda mais o programa para a geração de mais uma tela gráfica para funções temporizadas de tensões. As curvas de calibração seriam geradas pelo programa através de dados da tela de proteções tal como ilustra a figura 5.2:

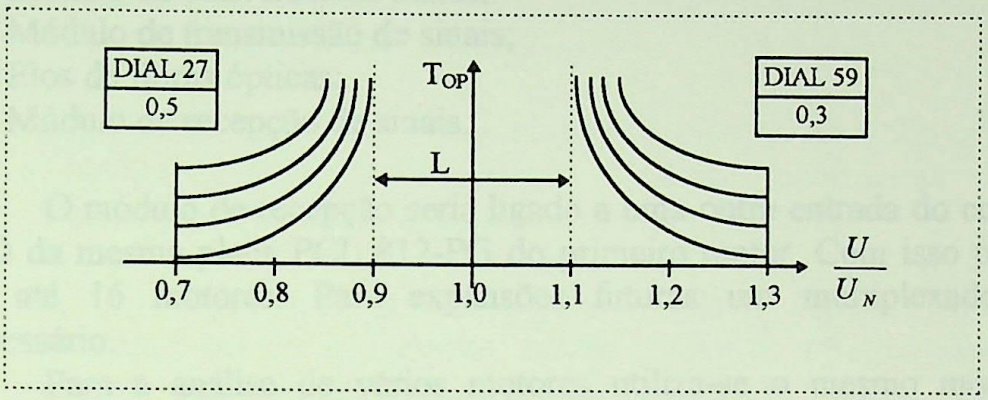


Figura 5.2 - Tela gráfica para ajuste das proteções contra sub e sobretensão temporizada;

Onde na figura 5.2 tem-se:

T_{OP} = tempo de operação da proteção;
U = tensão medida pelo equipamento;
U_N = tensão nominal do MIT;
L = limites máximo e mínimo da norma [65] para MIT's.

As funções temporizadas atuam mais rapidamente em função da intensidade da anomalia. Isto é uma vantagem com relação as funções de tempo instantâneo que desligariam o equipamento com mais freqüência do que quando temporizados. Surtos de baixa ou alta tensão atuam as funções instantâneas, enquanto que somente surtos longos atuariam as funções temporizadas.

5.6.7 - Leitura de dados de mais de um motor

Para a leitura de parâmetros de um segundo motor em outro ponto qualquer do estabelecimento as implementações requeridas são:

A - Quadro de controle (contador), proteção (disjuntor) e medição [3 TP's (transformadores de potencial) e 3 TC's (transformadores de corrente)];
B - Módulo de conversão de sinais;
C - Módulo de transmissão de sinais;
D - Elos de fibras ópticas;
E - Módulo de recepção de sinais.

O módulo de recepção seria ligado a uma outra entrada do conversor A/D da mesma placa PCL 812-PG do primeiro motor. Com isso podemos ler até 16 motores. Para expansões futuras um multiplexador seria necessário.

Para a análise de vários motores utiliza-se o mesmo módulo de adaptação de sinais da placa de aquisição PCL 812- PG. No entanto, para cada motor gerenciado e protegido, são necessários transformadores de potencial e de corrente, bem como dos módulos conversor, transmissor e receptor de sinais. Além disto, são necessários também a aquisição de cabos multiveias e de recepção e, obviamente, das fibras ópticas de aquisição, controle e proteção.

Para as ligações referentes a um sistema com "N" máquinas, observa-se que, para a e-nézima máquina, as conexões efetuadas com o cabo de recepção, devem ser nos terminais ADN, DIN, DON e terra da MAD. Isto não é muito vantajoso, visto que o tempo de operação das proteções crescerá muito.

5.6.8 - Análise espectral das grandezas do motor

Uma impossibilidade do equipamento é a de se obter o espectro de corrente e tensão através de amostras no tempo, já que o sinal é convertido para uma tensão contínua equivalente.

Isto pode ser resolvido pela mudança da MCS pelo módulo de aquisição trifásico para a Transformada Rápida de Fourier. Este módulo já foi usado em pesquisas anteriores. Seus sinais seriam transmitidos pelo MTX.

Bibliografia

[1] Cogo, J.R. e outros - "Desenvolvimento de Equipamento Inteligente para Supervisão, Proteção e Medição de Motores de Indução - spm - me" CNPq/PADC T II/SINST Processo n° 62.0180/91 - 9 - Itajubá, EFEI, 1994;

[2] Cogo, J.R. e outros - "Sistemas de Transmissão de Dados por Meio de Elos de Fibra Óptica"- CNPq/RHAE - Processo n° 61.0016/92 - 0 - Santa Rita do Sapucaí, INATEL, 1993;

[3] SÁ, Jocélio Souza de - "Contribuição à Análise do Comportamento Térmico de Motores de Indução Trifásicos com Rotor do Tipo Gaiola.- Tese de doutorado na UNICAMP, Abril/89;

[4] P. H, Mellor and D. R, Turner - "Real Time Prediction of Temperatures in a Inductor Motor Using a Microprocessor". - Eletrical machines and power systems, 15:333-352, 1988;

[5] Ayello, Fernando P. - "Relés Numéricos: Aplicações em Sistemas de Distribuição e Industriais" - ABB - Revista Eletricidade Moderna - Fevereiro, 1994;

[6] Assunção, José Tarcísio; SÁ, Jocélio S. ; Policarpo, J. G. de Abreu - "Especificação de Motores de Indução Trifásicos para Acionamentos de Velocidade Controlada Através da Variação da Tensão e Freqüência da Rede"

[7] Costa, P. Fernandes - "Características e Evolução dos Sistemas de Aterramento para Equipamentos Eletrônicos" - UFMG - Revista Eletricidade Moderna, Maio, 1992;

[8] "Subsídios para Planos de Manutenção de Motores de Indução Trifásicos" - Revista Eletricidade e Eletrônica - Setembro, 1993;

[9] Dib, Wanderley M. - "Aplicação e Ajustes dos Relés Térmicos de Sobrecarga" - Revista Mundo Elétrico, Agosto, 1989;

[10] Spitzer, Manfred. - "Additional Pictures For Signal Theory, Data Acquisiton And Processing" - Abende, São Paulo, 1980;

[11] Fawcett, D.V. "Protection of three - Phase Motors". IEEE Transactions on Industry and General Applications, Vol I GA - 3 Jan/Fev 1967, pp 52-55;

[12] BEST, Roland E. - "Phase Locked Loops" - New York, McGraw-Hill, 1984;

[13] Cogo, J.R.; Oliveira, J.C.; Abreu, J.P.G. - Transformadores - Teoria e Ensaios. São Paulo, Editora Bücher Ltda., 1984;

[14] Kosow, I.L. Máquinas Elétricas e Transformadores. 1° edição, Porto Alegre: Editora Globo, 1977;

[15] Lathi, B.P.- Sistemas de Comunicação, - Rio de Janeiro, Guanabara Dois S/A, 1979;

[16] Arango, H e Sá, Jocélio S., Cogo, J.R. - "Especificação de Motores Elétricos" - FUPAI, Itajubá/MG, 1984

[17] Rossi, Ronaldo - "Seletividade e Coordenação da Proteção em Sistemas Industriais" - FUPAI, 1989;

[18] Divita, P. and Rossi, U. - "Light Propagation Theory in Optical Fiber", Fibre Comunication, New York, McGraw- Hill, 1980;

[19] Ribeiro, J. A. Justino - "Sistemas de Comunicações Ópticas" - Santa Rita do Sapucaí, Cedetec - INATEL, Segunda Edição, 1986;

[20] Caminha, Amadeu C. - "Introdução à Proteção de Sistemas Elétricos" São Paulo, Edgard Blucher, 1977;

[21] Lobosco, O. S. ; Dias, J.L.P.C. - "Seleção e Aplicação de Motores Elétricos" - Volume 1 e 2, 1° edição, São Paulo, Editora McGraw-Hill, - Siemens S.A. , 1988;

[22] Mello, F.P. - "Proteção de Sistemas Elétricos de Potência" - Impressa Universitária - UFSM/RS;

[23] IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems; I3E Std 242 - 1975;

[24] IEEE - ANSI - American Standard - C37.2 - 1970;

[25] TTL DATA BOOK - Texas Instruments- 1988;

[26] CMOS DATA BOOK- Texas Intruments- 1988;

[27] Lancaster, Don - CMOS COOK BOOK, Indianápolis, Howard W. Saurus & CO. Inc, Second Printed, 1977;

[28] VL 400 GG Gold Star Prime 2, IDE CARD - Placa controladora dos periféricos do microcomputador;

[29] VL 36 VGA VL-Bus ACCELERATOR, Trident inc - Placa de vídeo do microcomputador;

[30] DX - 6600VESA 486/DX2 - Placa mãe do microcomputador padrão IBM PC® com microprocessador 80486/DX2/66 Mhz;

[31] 6K 168 e618, Display &Cable Assembly Instruction Cache System S/DX board - Memória "cache" do microcomputador;

[32] D359T3, Mutsumi 1.2 Mbyte Floppy D.Drive - "Driver" de disco flexível de 5 1/4";

[33] D509V3, Mutsumi 1.44 Mbyte Floppy D.Drive - "Driver" de disco flexível de 3 1/2";

[34] LINEAR DATA BOOK- National, 1978;

[35] HFBR-0501 Series-Versatile Link: The Versatile Fiber Optical Connection, Hewlett - Packard CO. Cupertino, 1991;

[36] PCL-812 PG Enhanced Multi-Lab Card User's Manual-Advantech Co., Ltda. Taiwan, 1990;

[37] ASEA BROWN BOVERI®, "Proteção de Motor Tipo Randa" CATÁLOGO RK 64-50 E, Edição 1- Outubro 1978;

[38] ABB® Relays: Type SPAM 150C;

[39] ABB® Motor Protection Relays SPEM 010;

[40] Eletromotores WEG S/A® - Catálogo 511143/1092 PE - Manual de Motores elétricos;

[41] Eletromotores WEG S/A® - Informações Técnicas D.T. - 8 e 9;

[42] Eletromotores WEG S/A® - Catálogo 951.05/023 PE - Manual de Contadores e Relés de Sobrecarga;

[43] IC 7160 - LIMITAMP® CONTROLLER;

[44] Westinghouse® - Proteção de sobrecorrente tipo CO;

[45] Westinghouse® Digitrips RMS 800;

[46] Westinghouse - Disjuntor tripolar a seco tipo DS;

[47] INEPAR® relés de proteção de motores de estado sólido tipo PM;

[48] Relés de subtensão e sobretensão Engro® modelos: VGA 11,12 ,21 e VDG 13;

[49] Engro® - Relé de religamento automático;

[50] Schlumberger® - "Proteção para motores de Indução Trifásico" - Série PMS 3000;

[51] Siemens® - Relés bimetálicos de sobrecarga 3UA 41 a 46;

[52] Siemens® - Chaves de partida direta GSP para motores;

[53] Windows 3.1® - Sistema operacional;

[54] Turbo Pascal 6.0. Borland® - Compilador da linguagem de programação Pascal;

[55] TASM versão 2.51 Borland ® - Montador assembler 8086;

[56] PTANGO versão 1.16 ® - Programa auxiliar para a elaboração de "Lay-out" de placas de circuito impresso;

[57] ORCAD® Draft V3.11 - Construtor de esquemas elétricos;

[58] Arj 2.21® - Compactador de arquivos;

[59] GRAPHER® versão 1.75 - Aproximador estatístico polinomial;

[60] Windows for Workgroups 3.11® - Sistema operacional gráfico;

[61] Word for Windows 6.0® - Editor de textos, gráficos, desenhos, tabelas, etc...;

[62] DOS 6.22® - Sistema operacional de disco para microcomputadores;

[63] CHECKIT® - Programa para diagnóstico do microcomputador;

[64] BENCH 1.0® - Programa para diagnóstico dos periféricos do microcomputador;

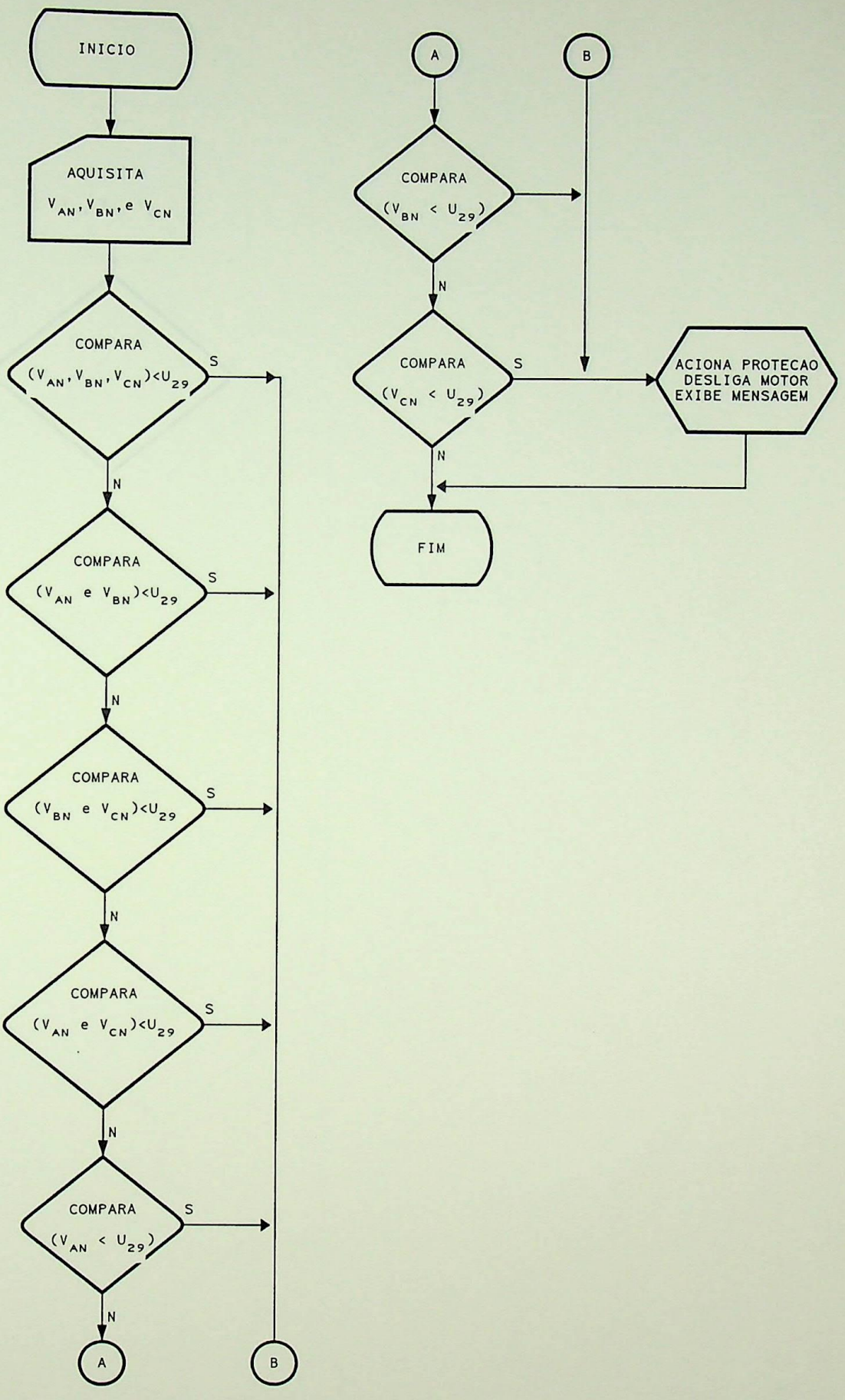
[65] NBR 7094 - ABNT - Máquinas Elétricas Girantes - Motores de Indução. Dez./1981.

ANEXO 1

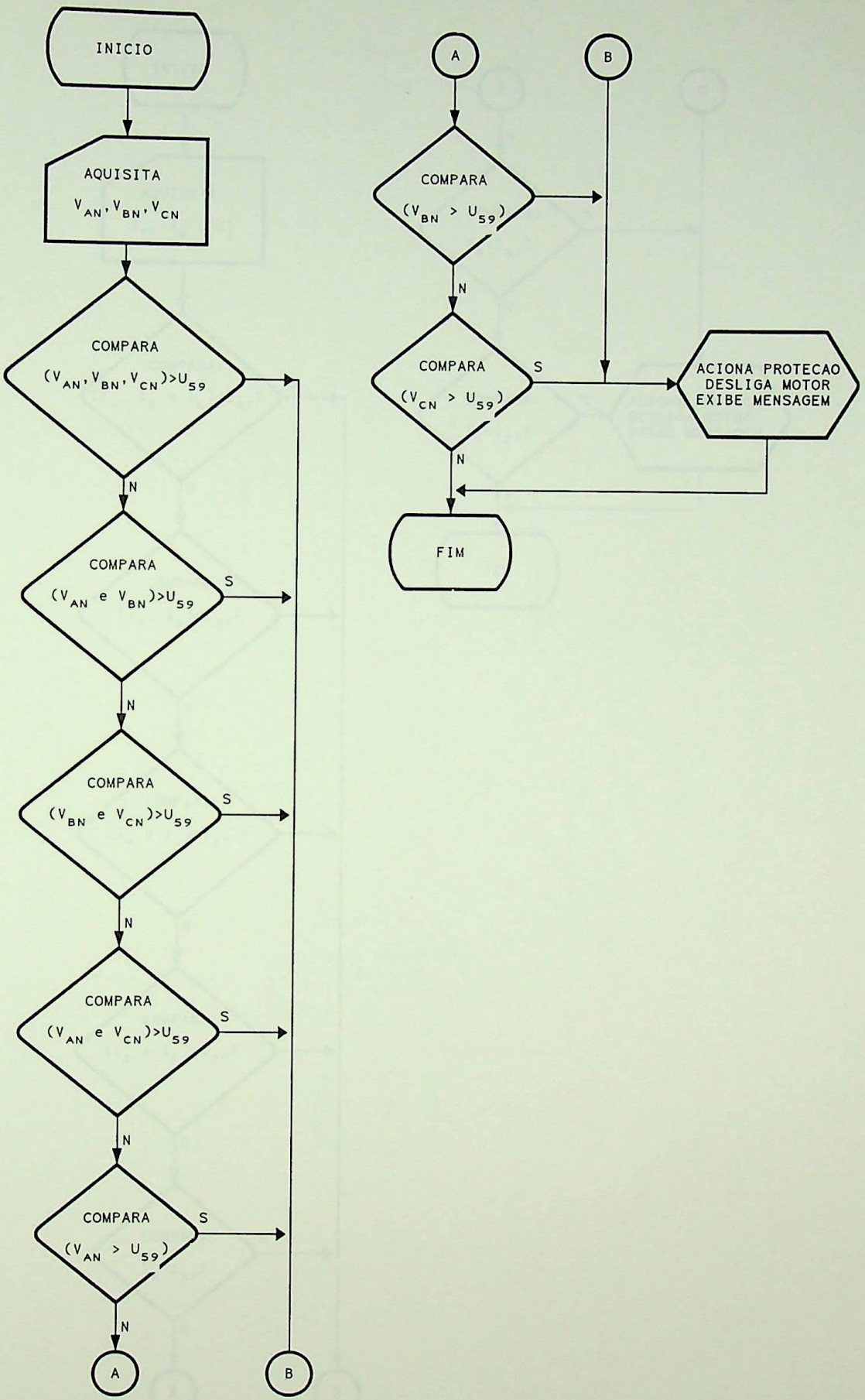
1.1 - Proteção de subtensão (29);
1.2 - Proteção de sobretensão (59);
1.3 - Proteção de subcorrente (37);
1.4 - Proteção de sobrecorrente de neutro (50N);
1.5 - Proteção de rotor bloqueado (86);
1.6 - Proteção de sobrecorrente (50);
1.7 - Proteção de desequilíbrio de corrente (46);
1.8 - Proteção de subvelocidade (14);
1.9 - Proteção de sobrevelocidade (12);
1.10 - Proteção de temperatura admissível (26);
1.11 - Relé auxiliar de partida programada (02);
1.12 - Relé auxiliar de parada programada (94);
1.13 - Proteção de partida longa (48);
1.14 - Proteção de partidas seqüenciais (44);
1.15 - Religamento por tempo (79);
1.16 - Religamento por temperatura (90T);
1.17 - Relé anunciador (30);
1.18 - Proteção associada: sobrecorrente temporizada (51) e sobrecarga térmica (49);
1.19 - Busca da melhor taxa de aquisição;
1.20 a e b- Verificação em cascata dos módulos MRX, MTX e MCS para a supervisão local e remota;
1.21 - Autodiagnóstico dos relés de acionamento local e remoto quando são acionados;
1.22 - Autodiagnóstico dos relés de acionamento local e remoto quando são desacionados;

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
Biblioteca MAUÁ B.M

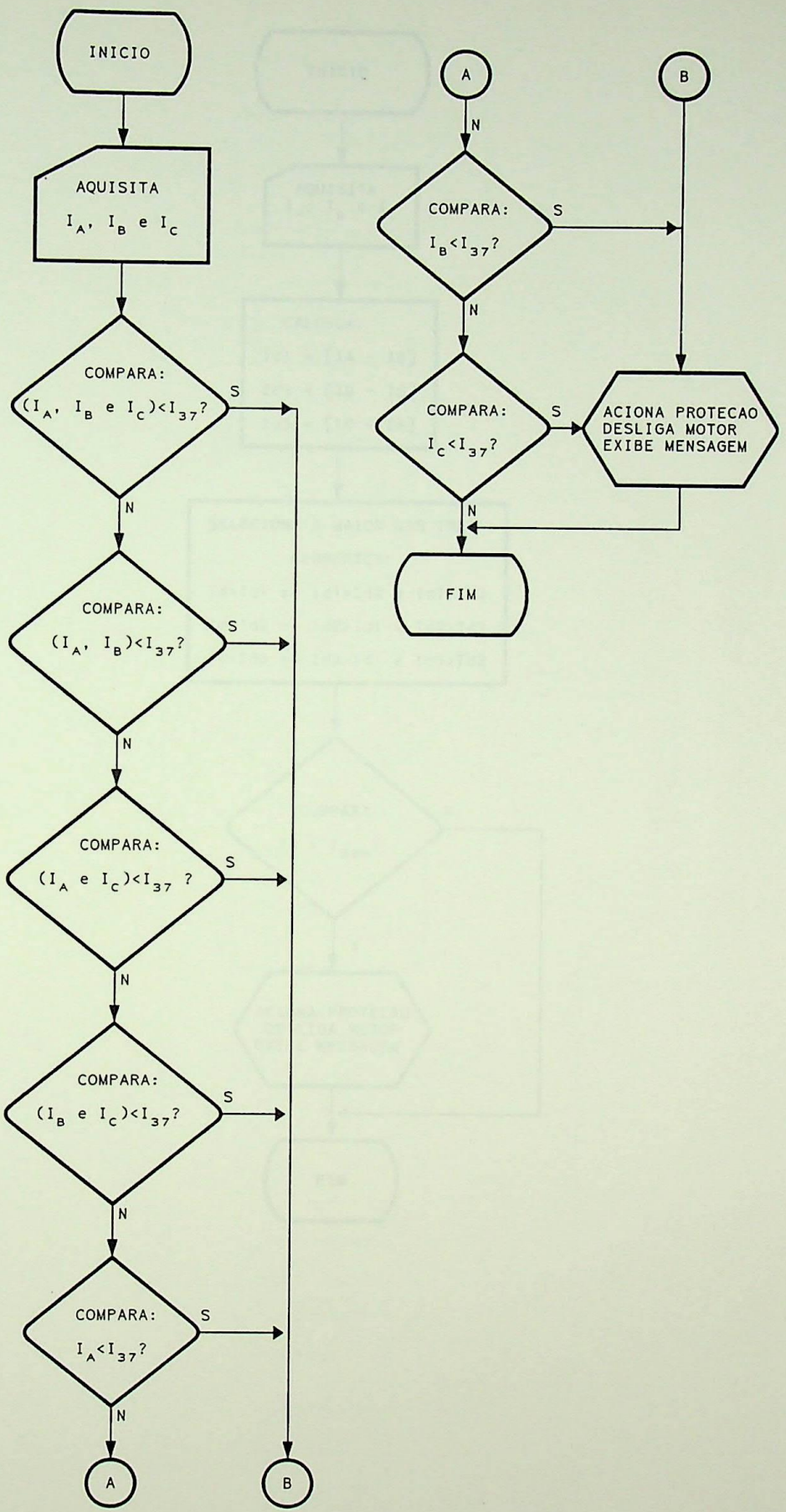
PROTECAO DE SUBTENSAO (29):



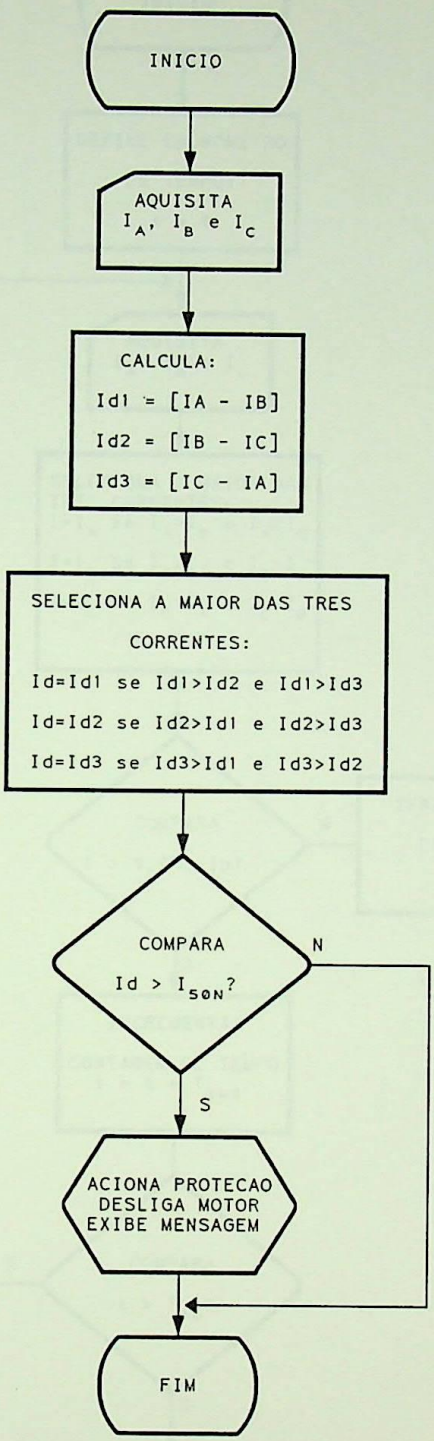
PROTECAO DE SOBRETENSAO (59):



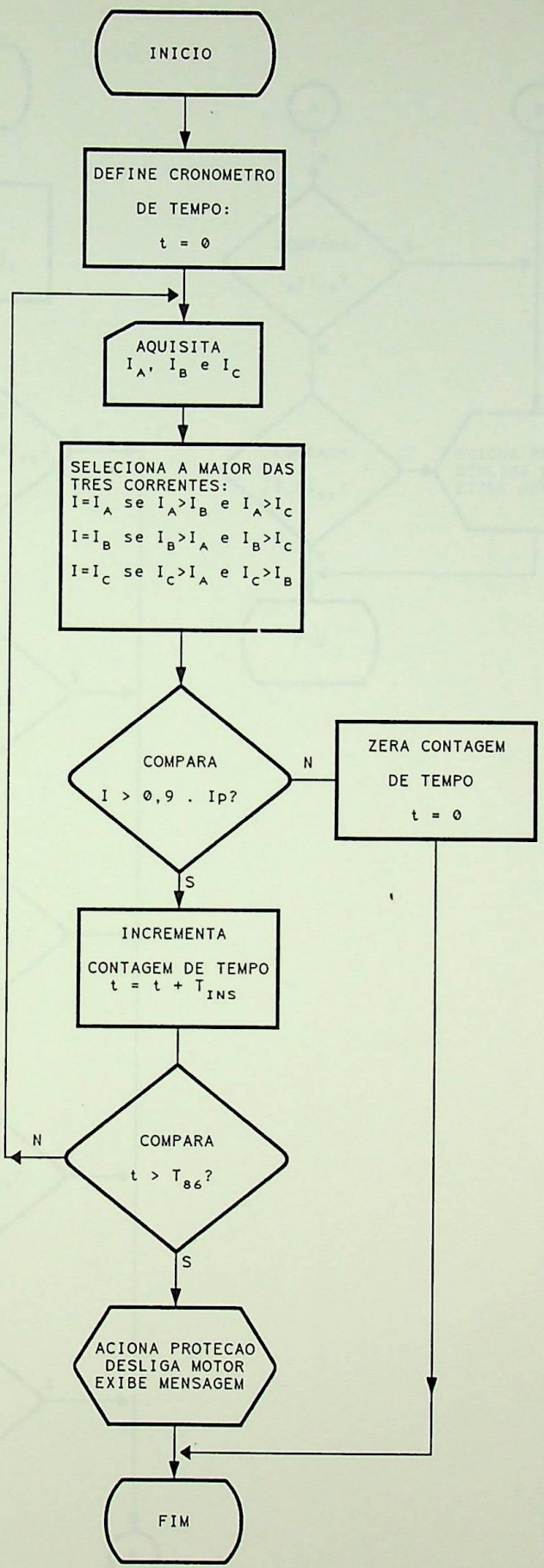
PROTECAO DE SUBCORRENTE (37):



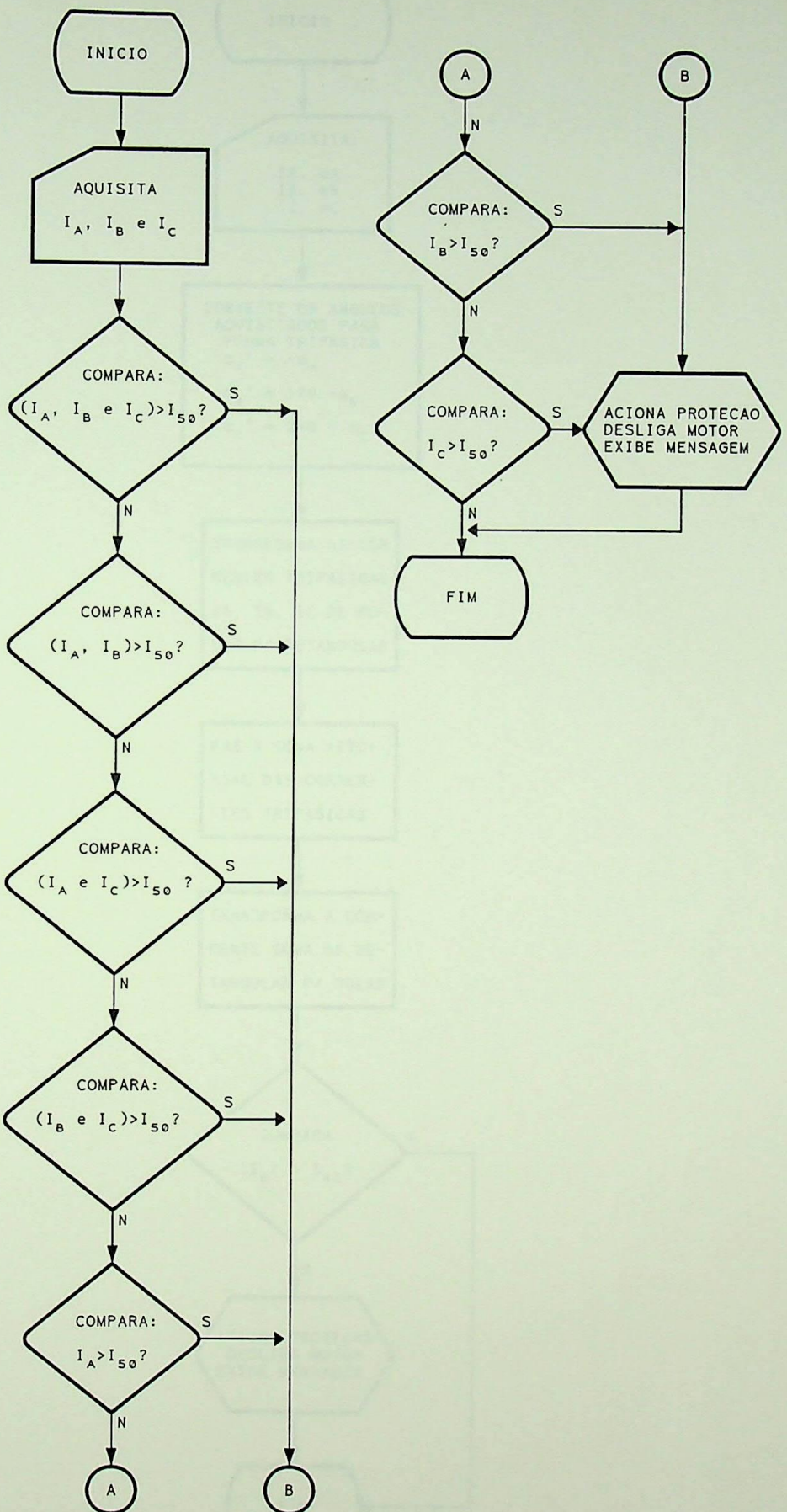
PROTECAO DE SOBRECORRENTE DE NEUTRO (50N):



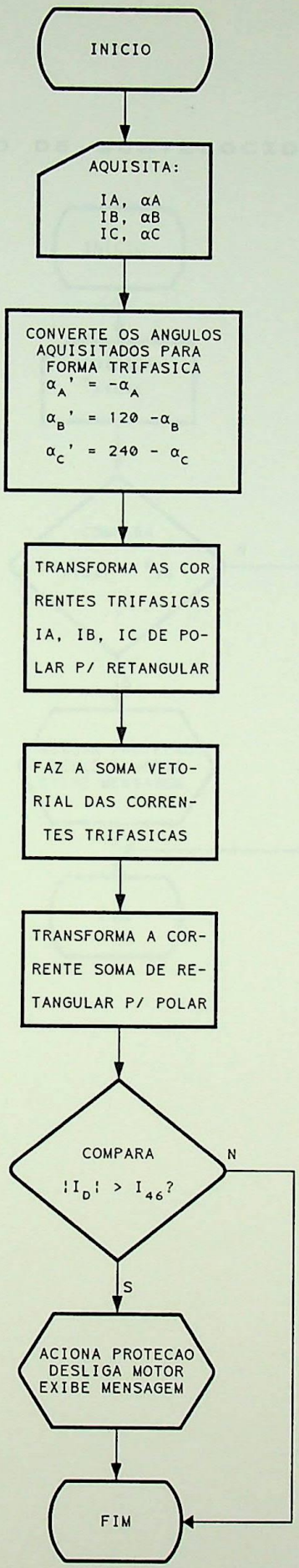
PROTECAO DE ROTOR BLOQUEADO (86):



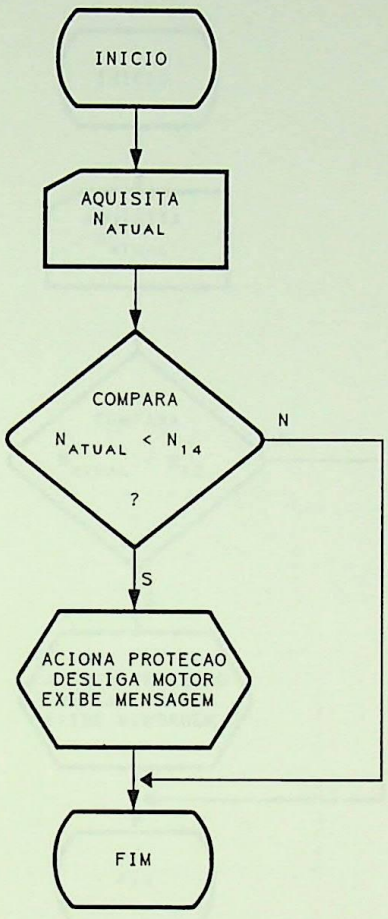
PROTECAO DE SOBRECORRENTE INSTANTANEA (50)



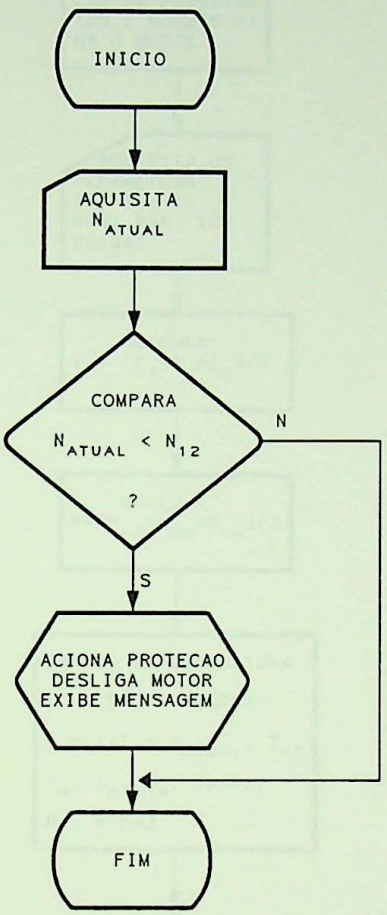
PROTECAO DE DESEQUILIBRIO DE CORRENTE (46):



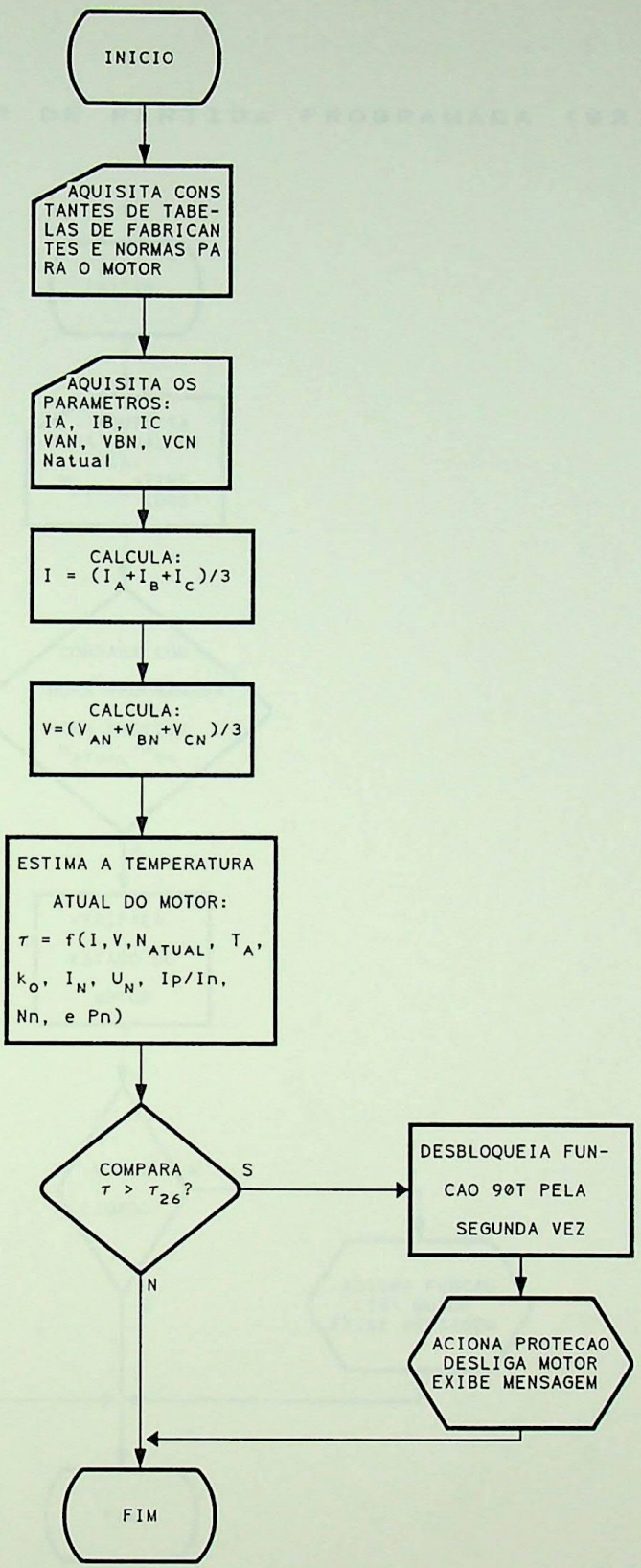
PROTECAO DE SUBVELOCIDADE (14):



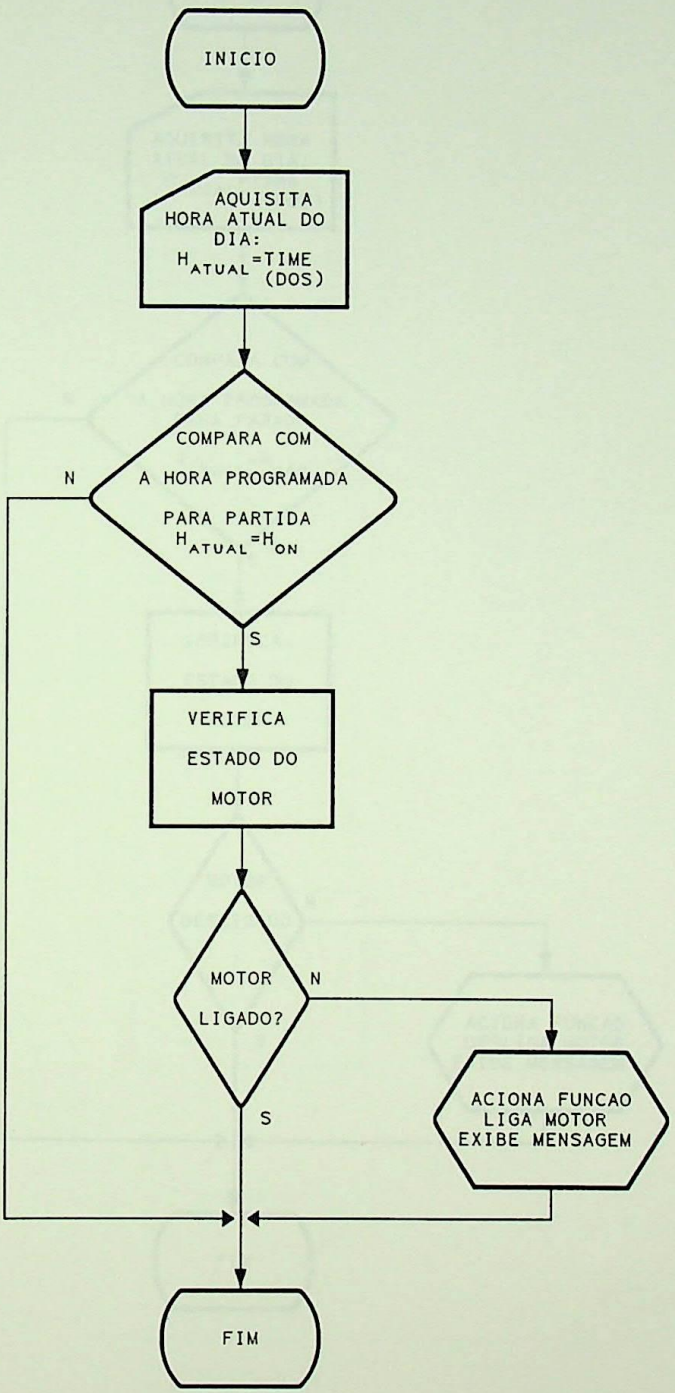
PROTECAO DE SOBREVELOCIDADE (12):



PROTECAO DE TEMPERATURA ADMISSIVEL (26):

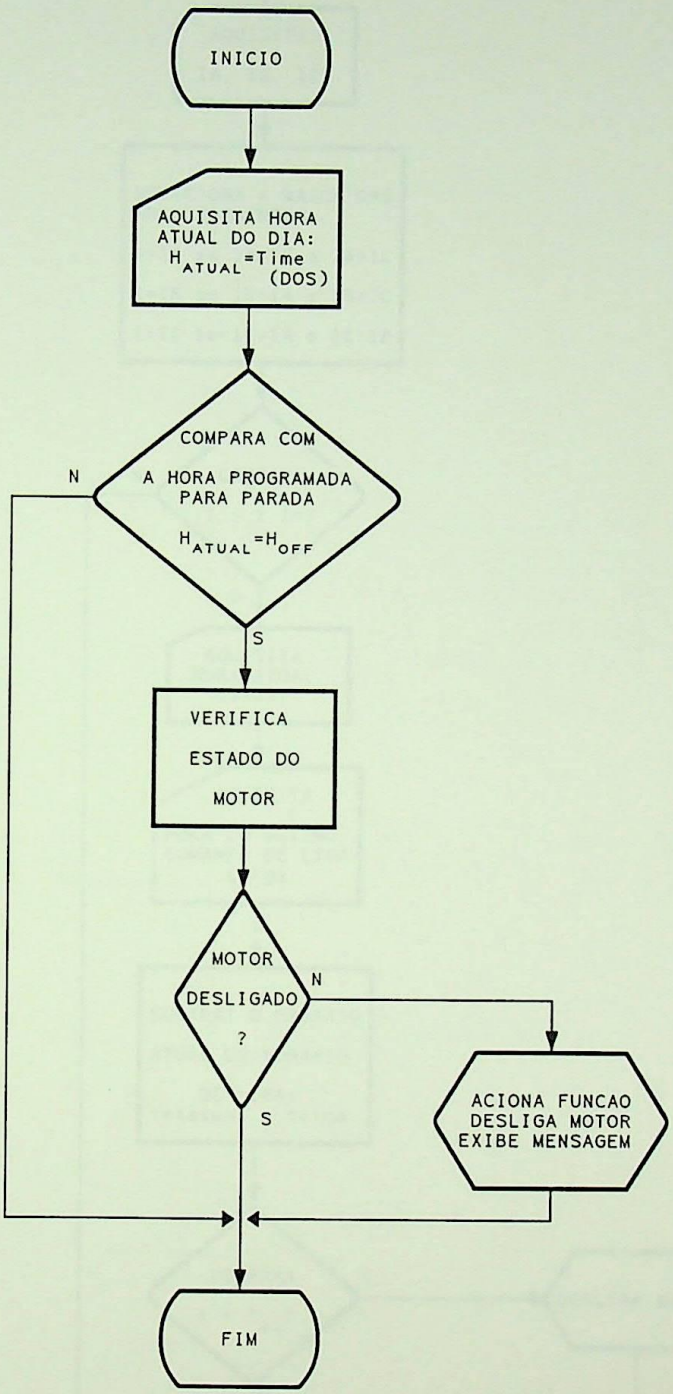


RELE AUXILIAR DE PARTIDA PROGRAMADA (02):

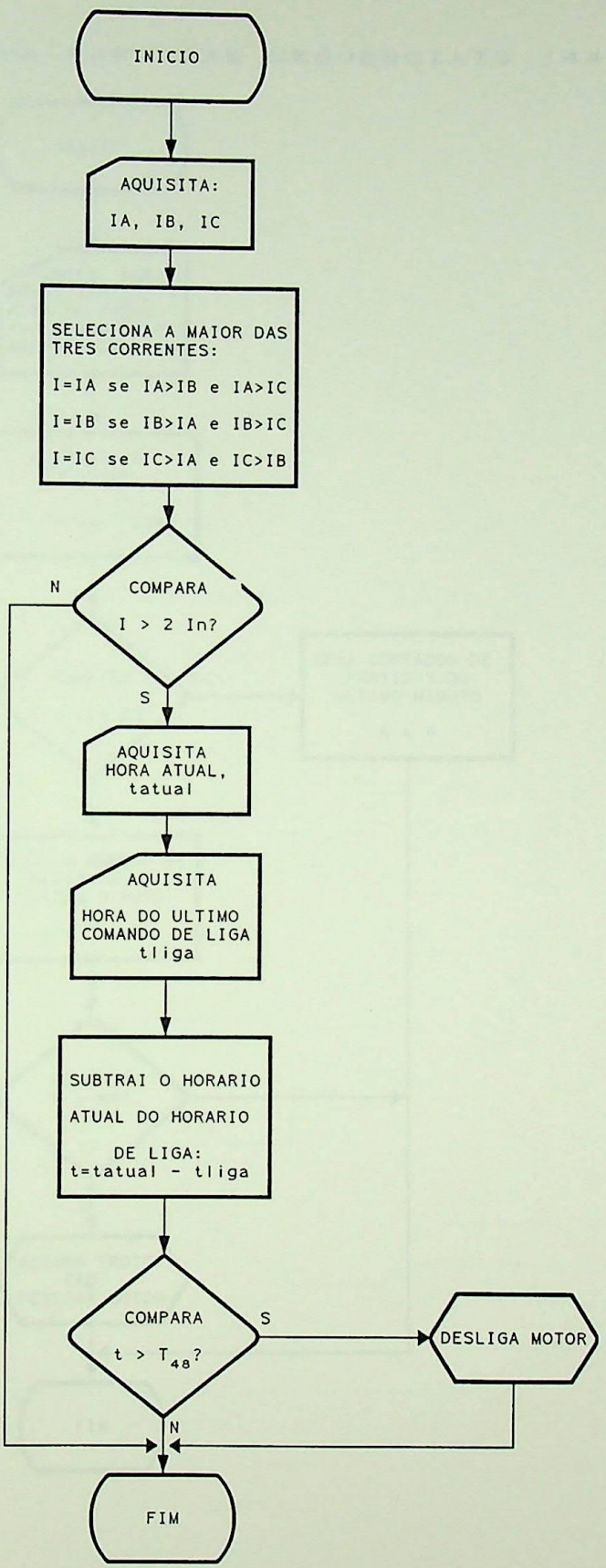


Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
Biblioteca MACÁ BM

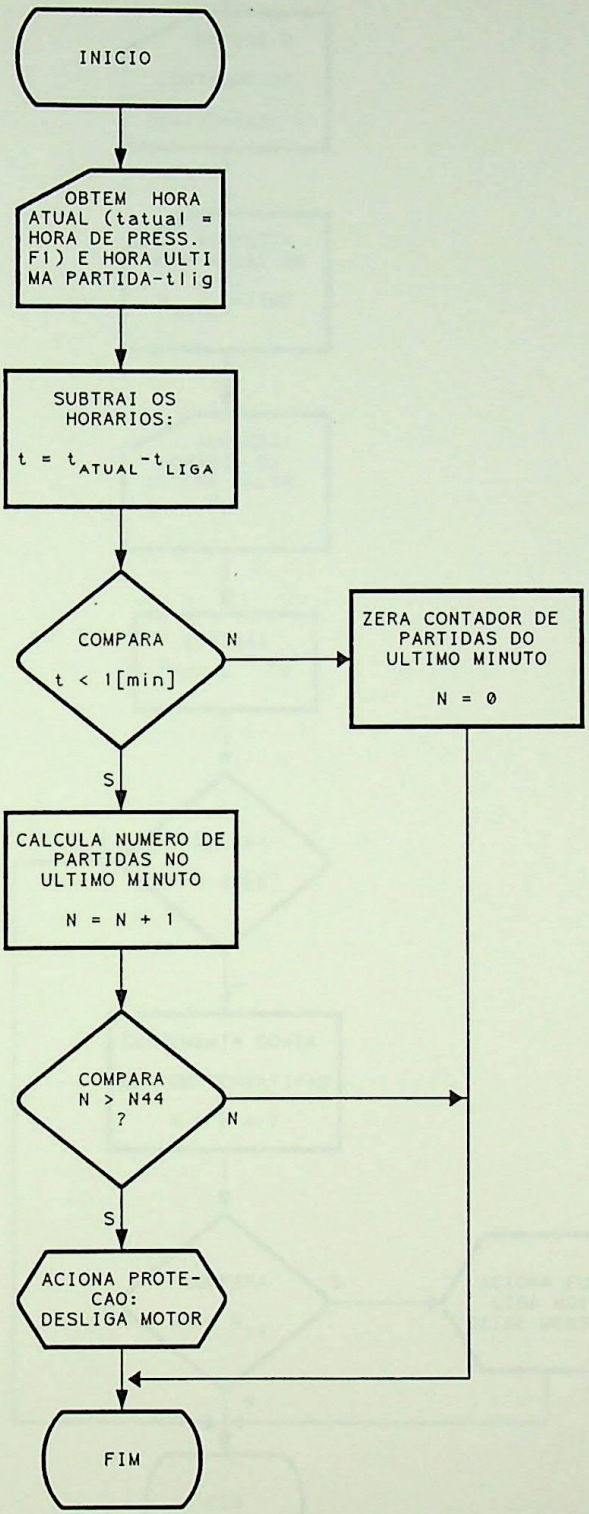
RELE AUXILIAR DE PARADA PROGRAMADA (94):



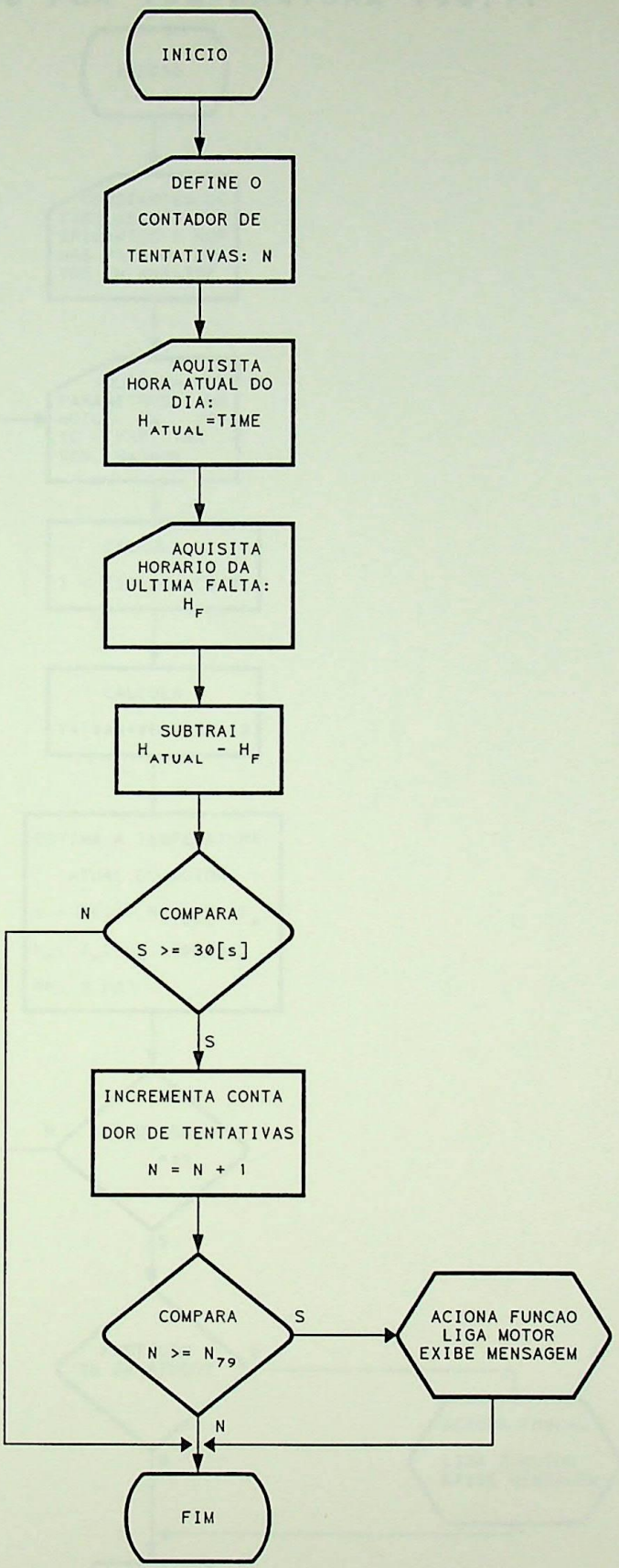
PROTECAO DE PARTIDA LONGA (48):



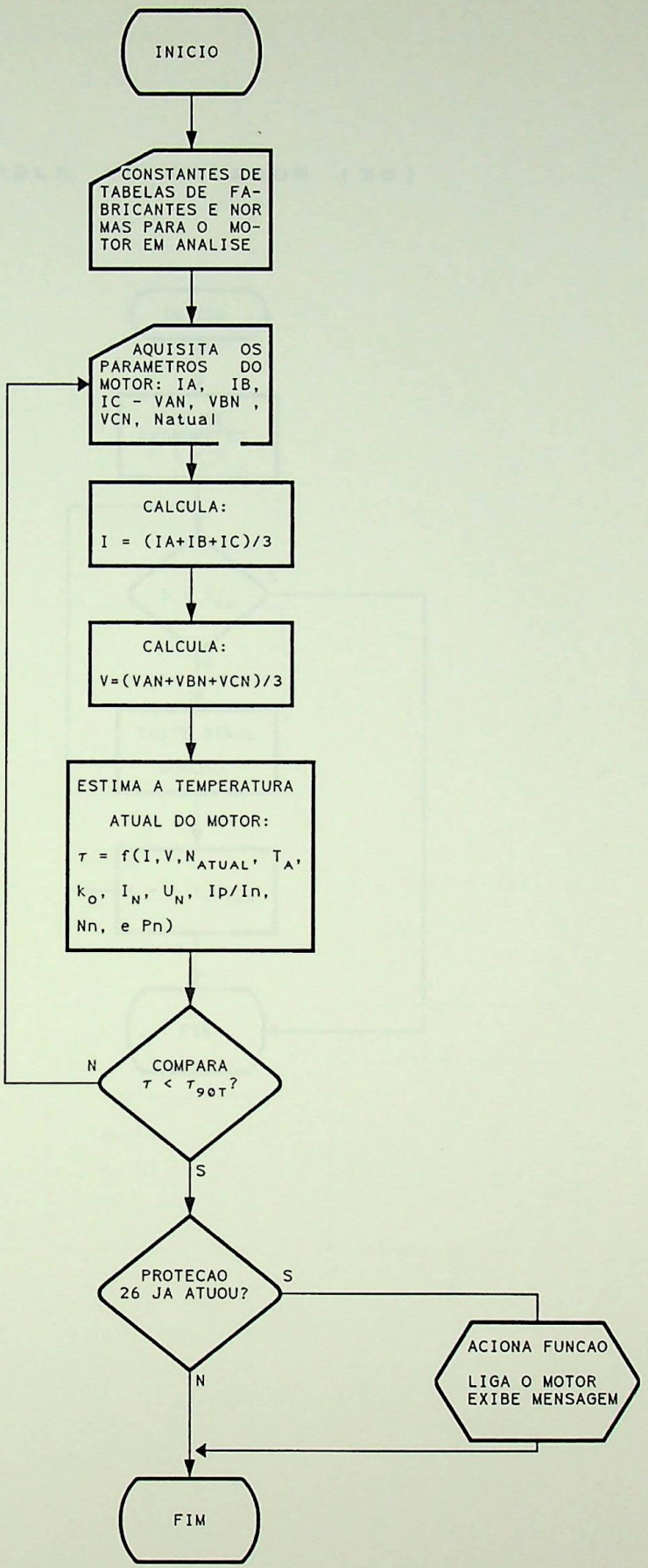
PROTECAO DE PARTIDAS SEQUENCIAIS (44):



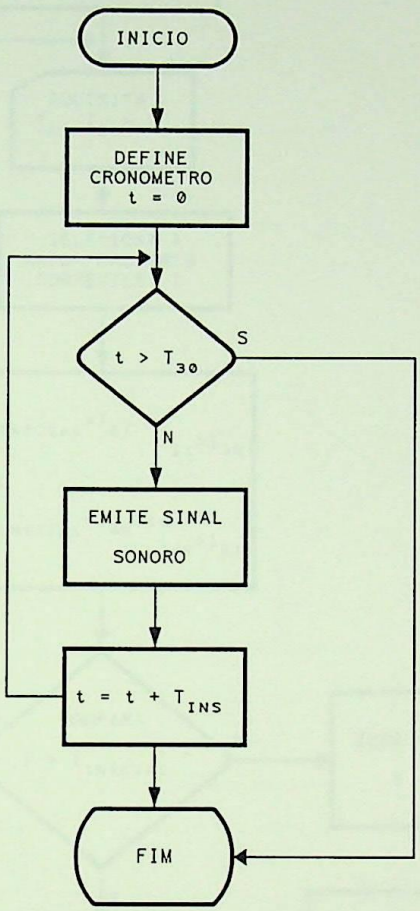
RELIGAMENTO POR TEMPO (79):



RELIGAMENTO POR TEMPERATURA (90T):

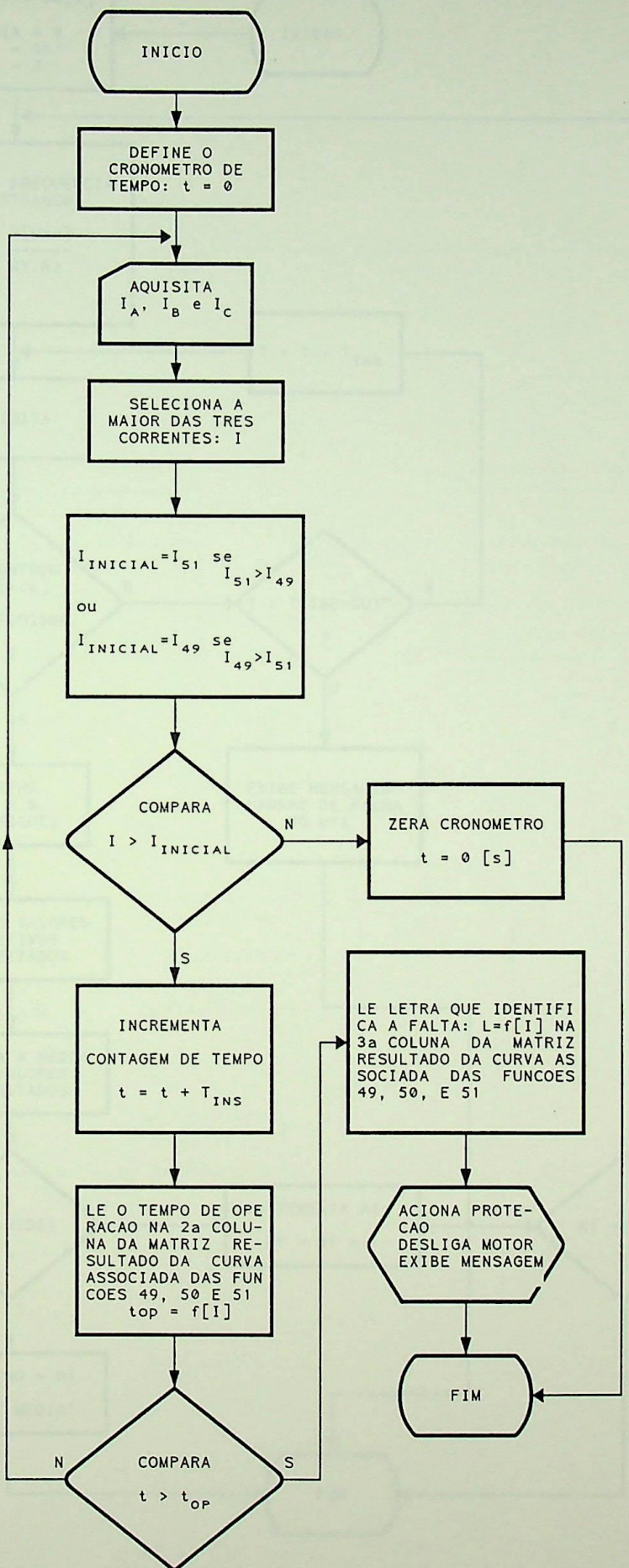


RELE ANUNCIADOR (30)

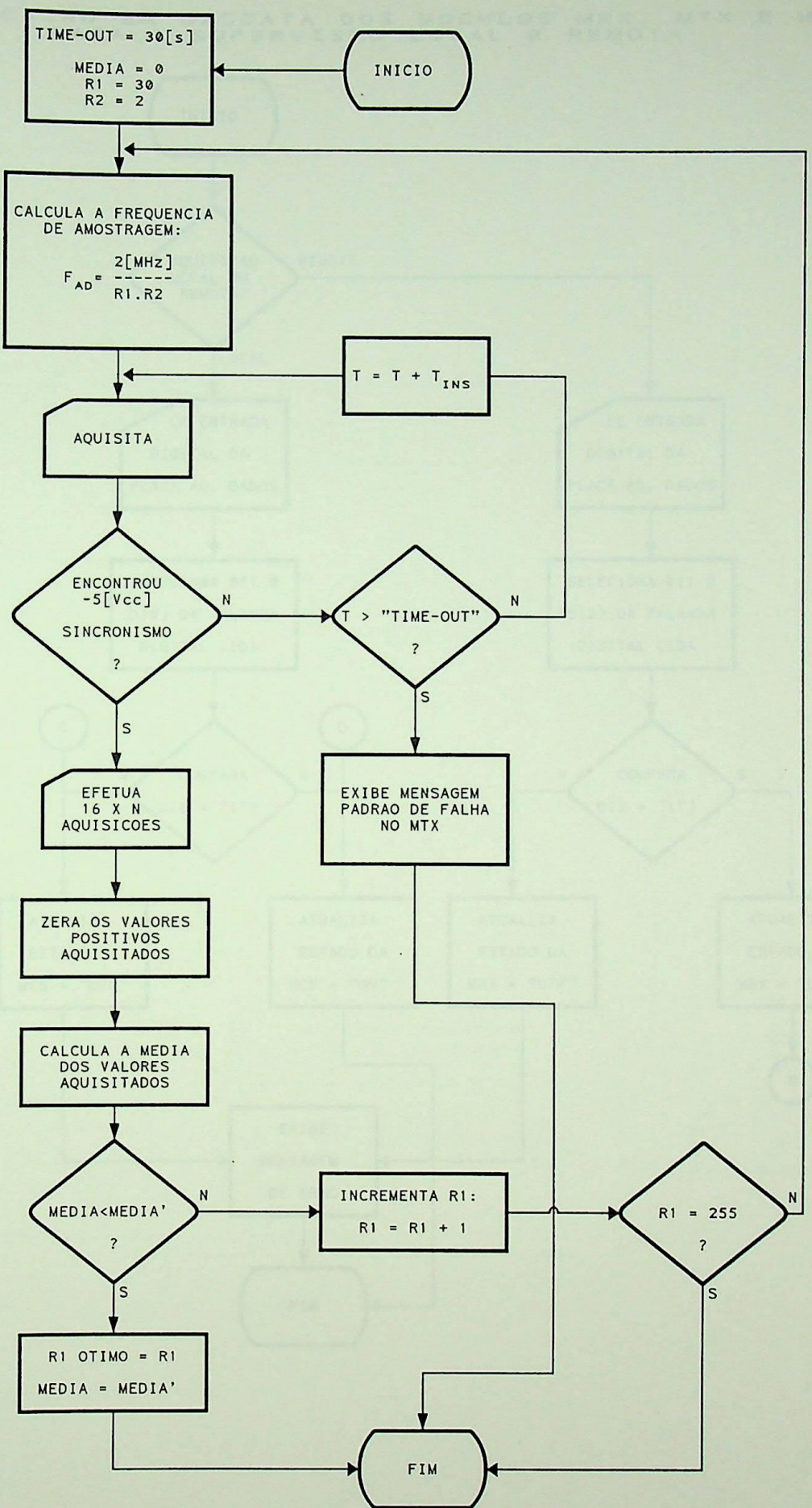


PROTECAO ASSOCIADA:

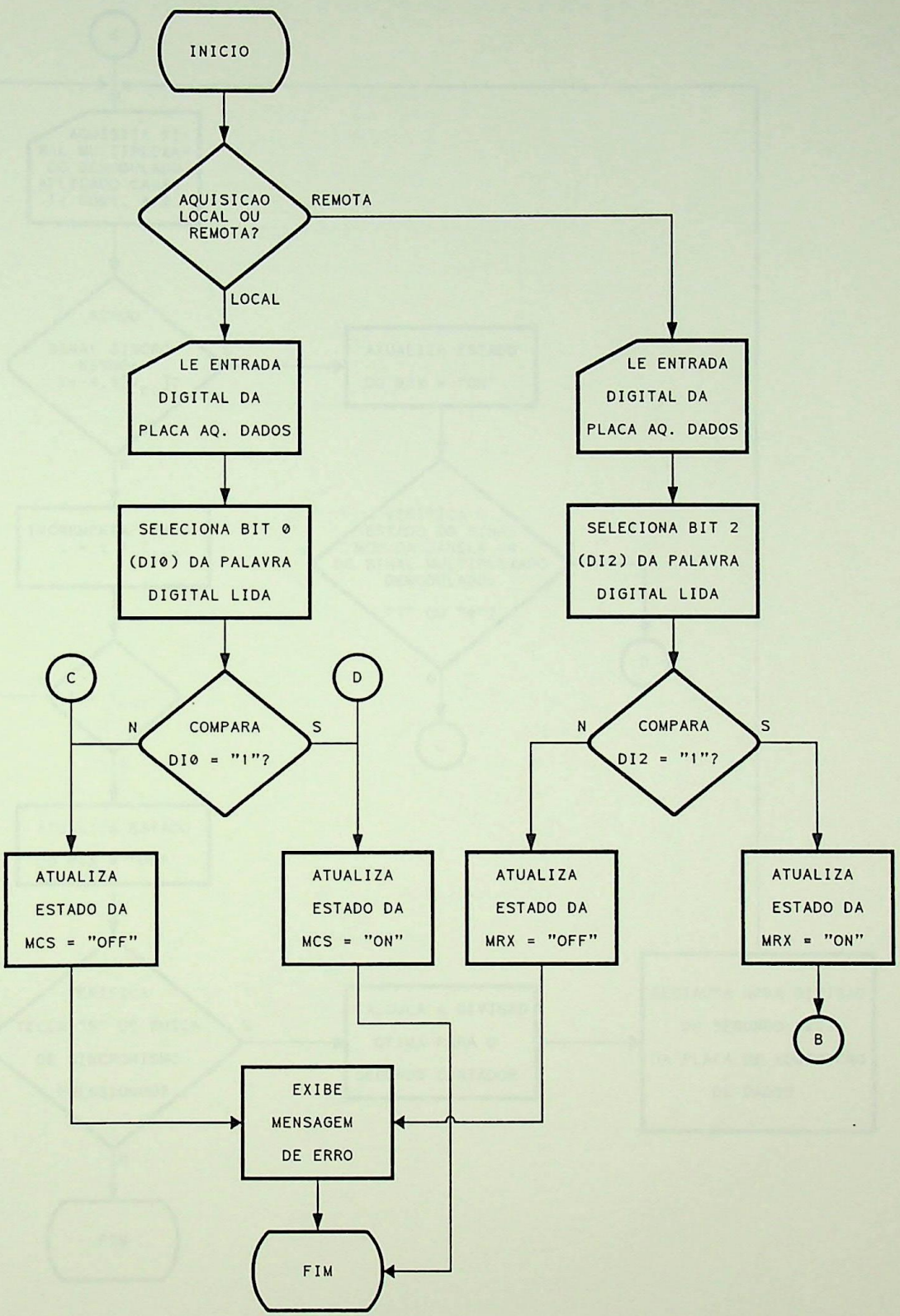
SOBRECORRENTE TEMPORIZADA (51) e SOBRECARGA TERMICA (49)

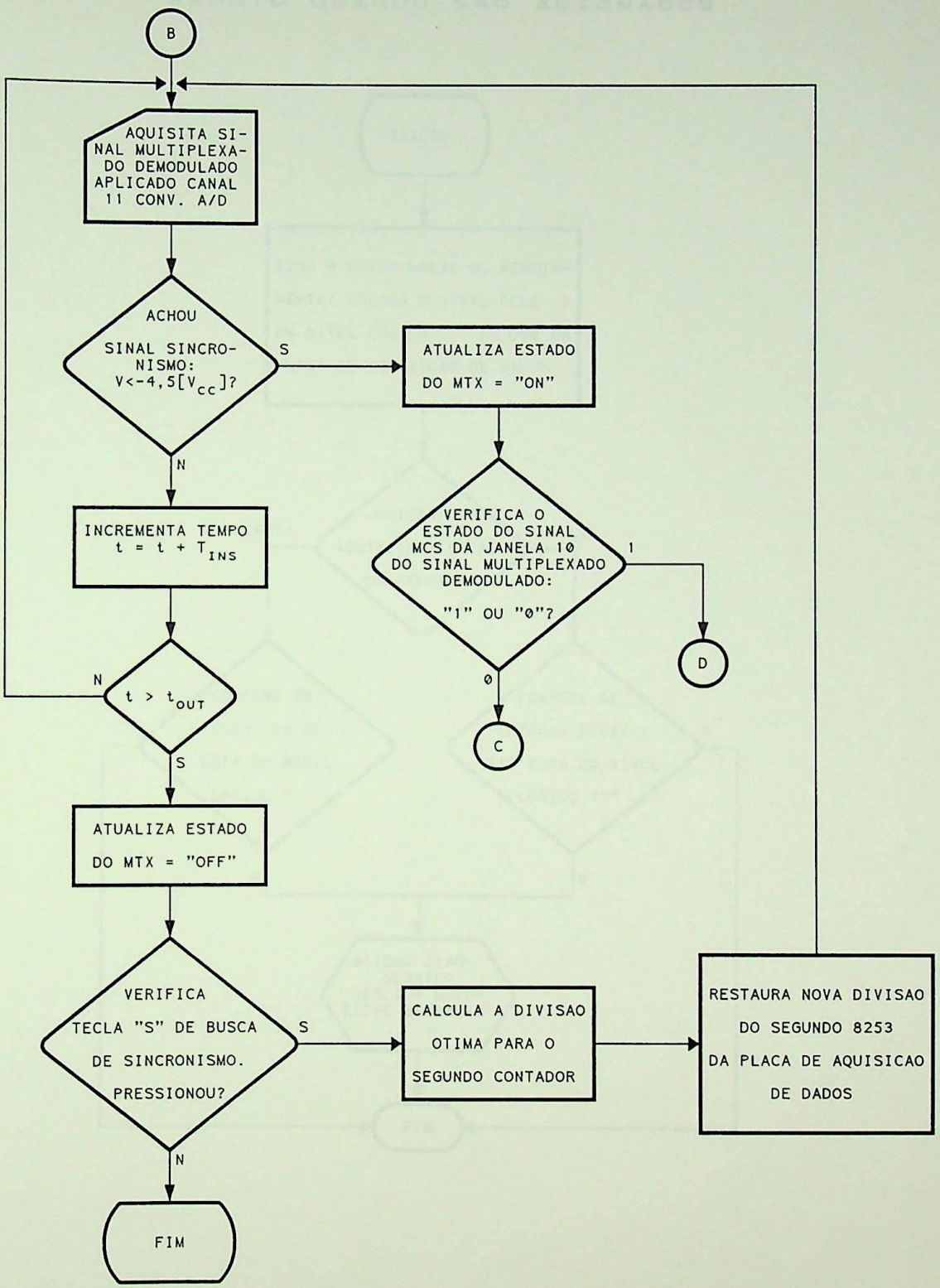


BUSCA DA MELHOR TAXA DE AQUISICAO

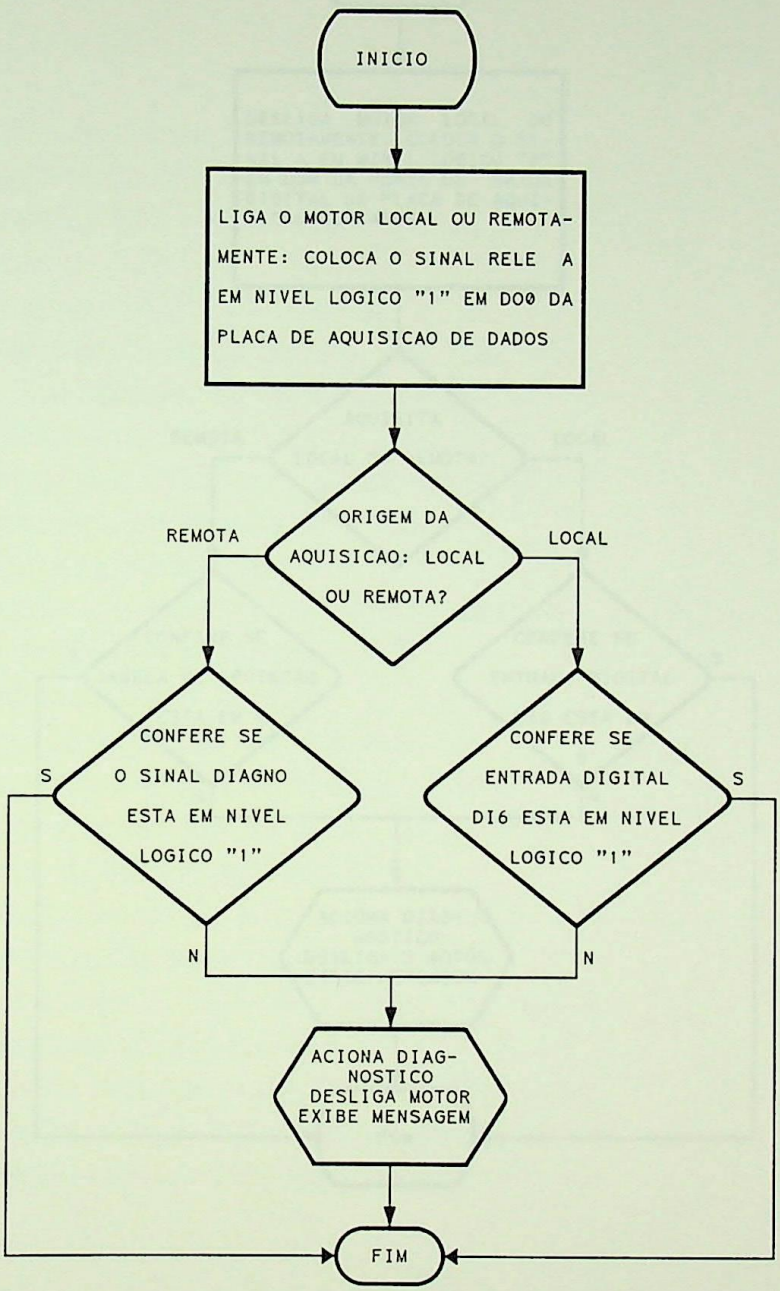


VERIFICACAO EM CASCATA DOS MODULOS MRX, MTX E MCS
PARA A SUPERVISAO LOCAL E REMOTA

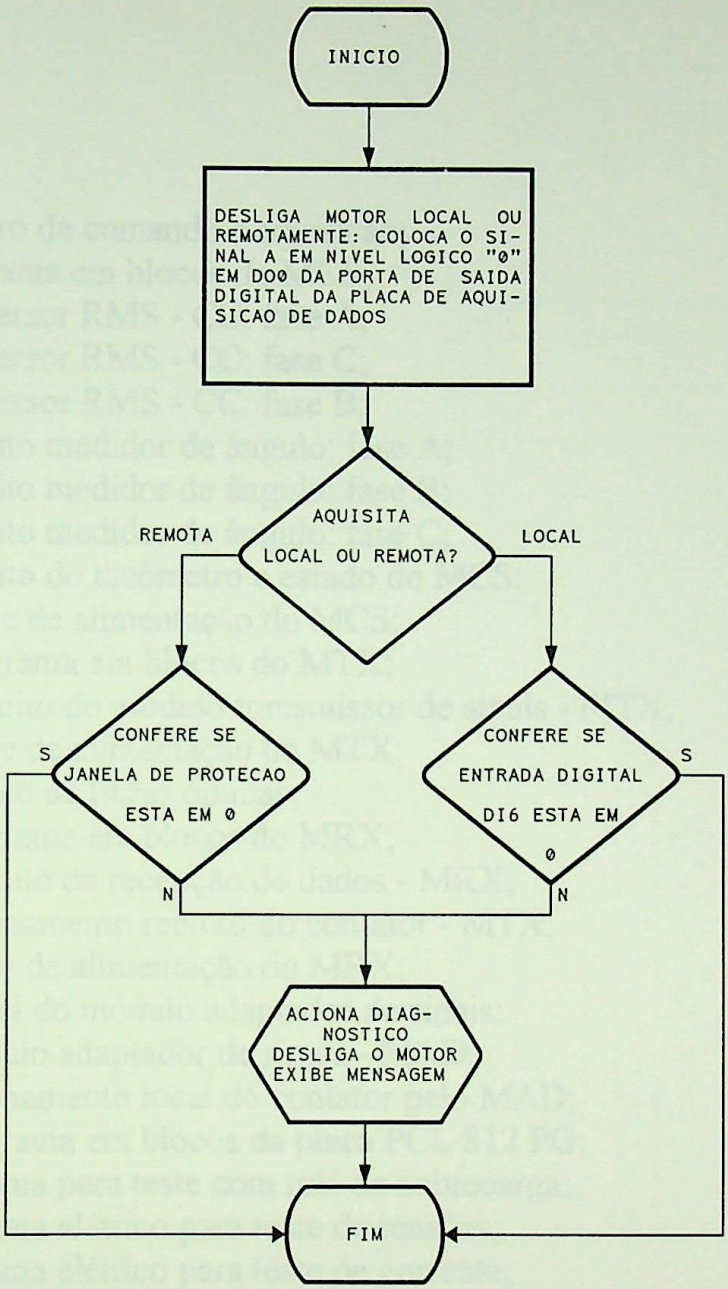



B
AQUISITA SINAL MULTIPLEXADO DEMODULADO APLICADO CANAL 11 CONV. A/D
ACHOU SINAL SINCRONISMO: V<-4,5[Vcc]?
S
N
ATUALIZA ESTADO DO MTX = "ON"
INCREMENTA TEMPO t = t + TINS
VERIFICA O ESTADO DO SINAL MCS DA JANELA 10 DO SINAL MULTIPLEXADO DEMODULADO: "1" OU "0"?
1
0
D
C
N
t > tOUT
S
ATUALIZA ESTADO DO MTX = "OFF"
VERIFICA TECLA "S" DE BUSCA DE SINCRONISMO. PRESSIONOU?
S
N
CALCULA A DIVISAO OTIMA PARA O SEGUNDO CONTADOR
RESTAURA NOVA DIVISAO DO SEGUNDO 8253 DA PLACA DE AQUISICAO DE DADOS
FIM

AUTODIAGNOSTICO DOS RELES DE ACIONAMENTO LOCAL E REMOTO QUANDO SAO ACIONADOS

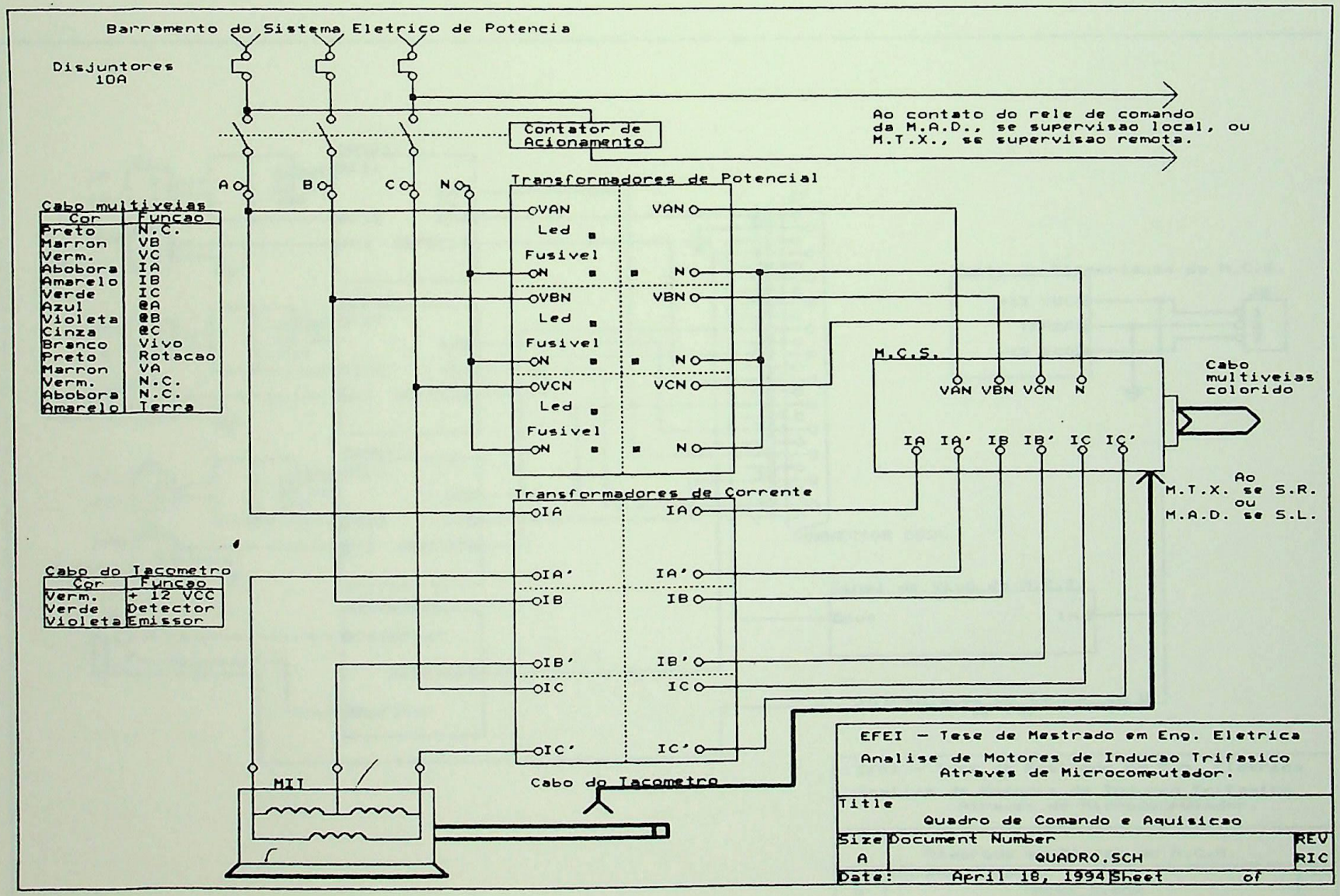


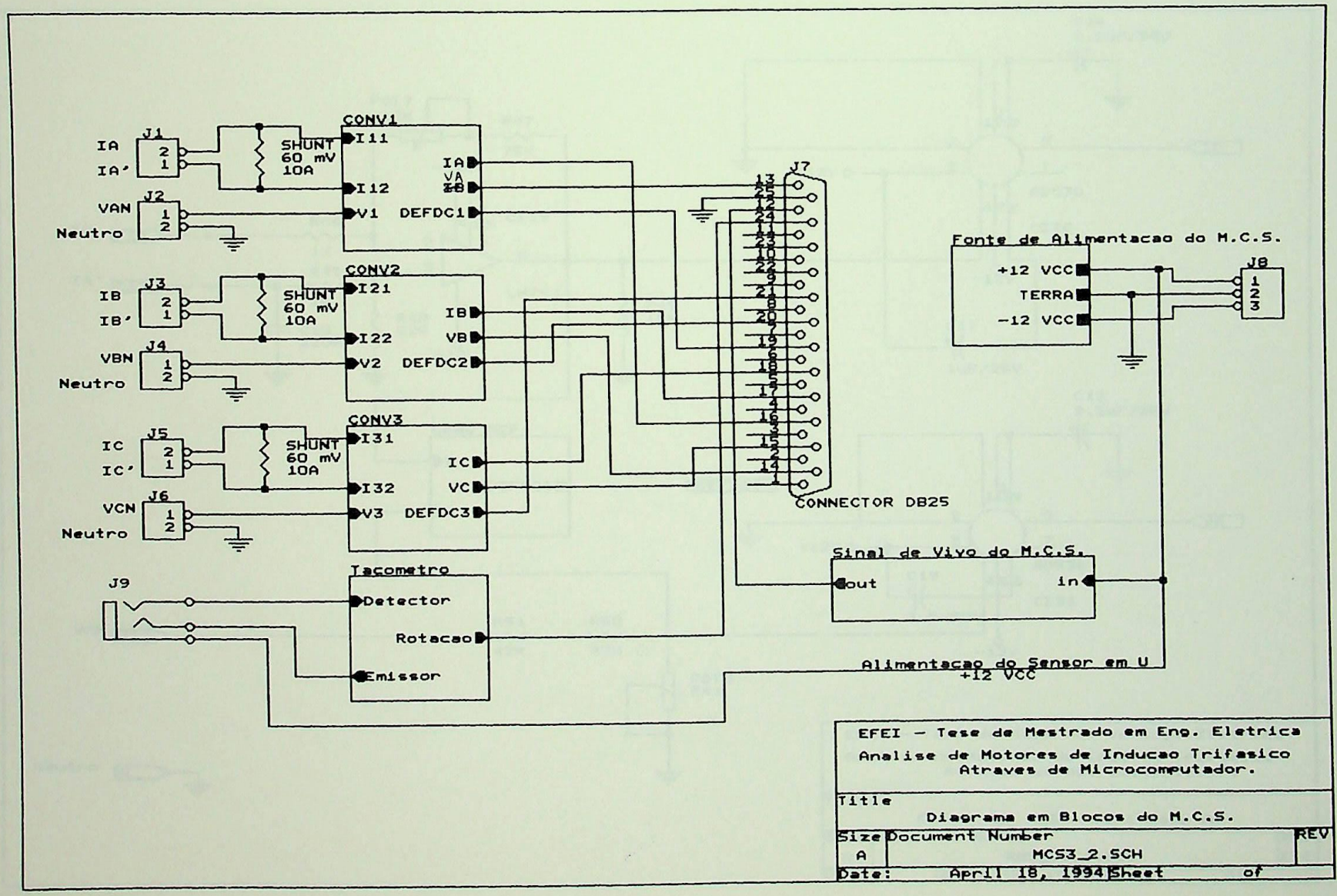
AUTODIAGNOSTICO DOS RELES DE ACIONAMENTO LOCAL E REMOTO QUANDO SAO DESACIONADOS

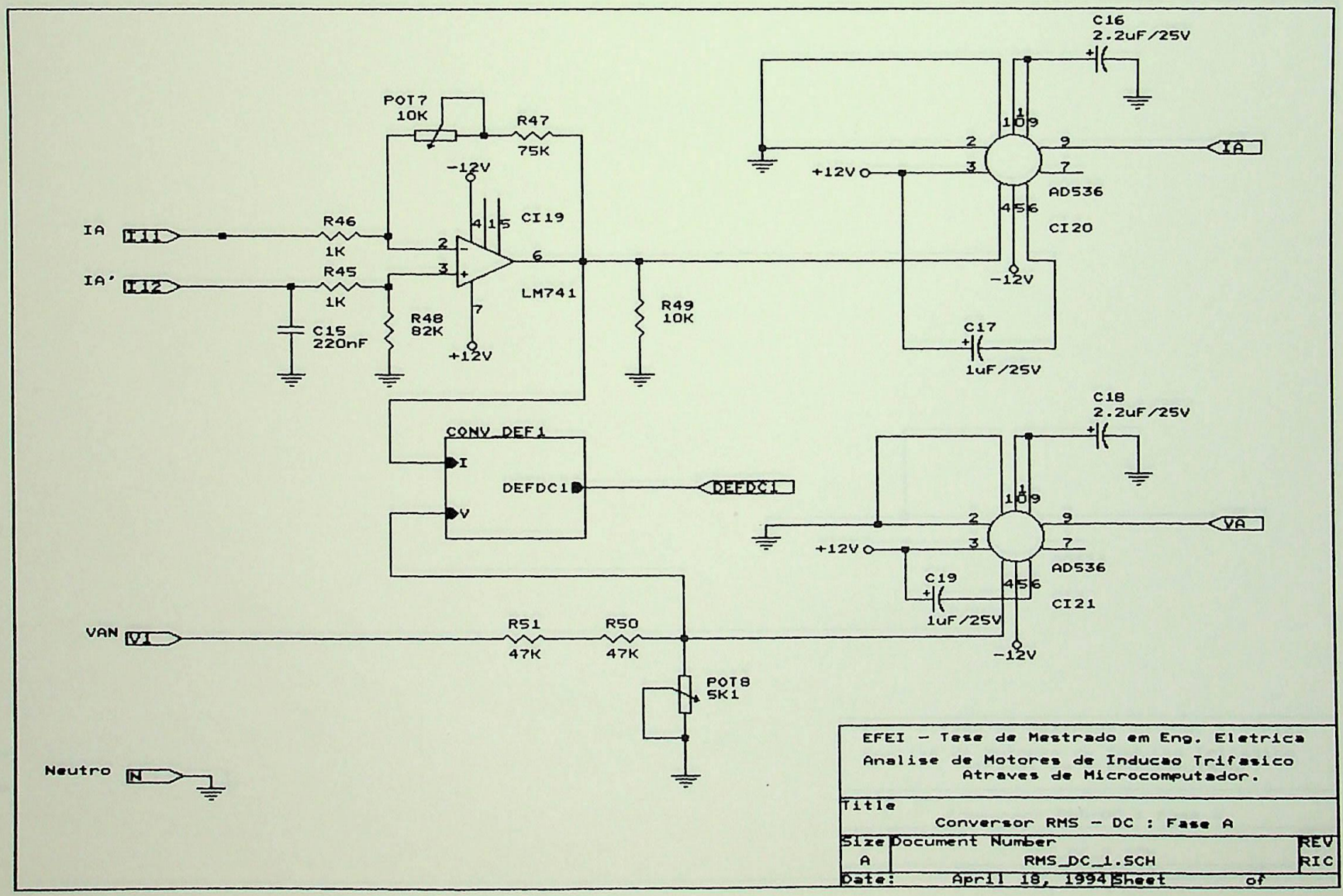


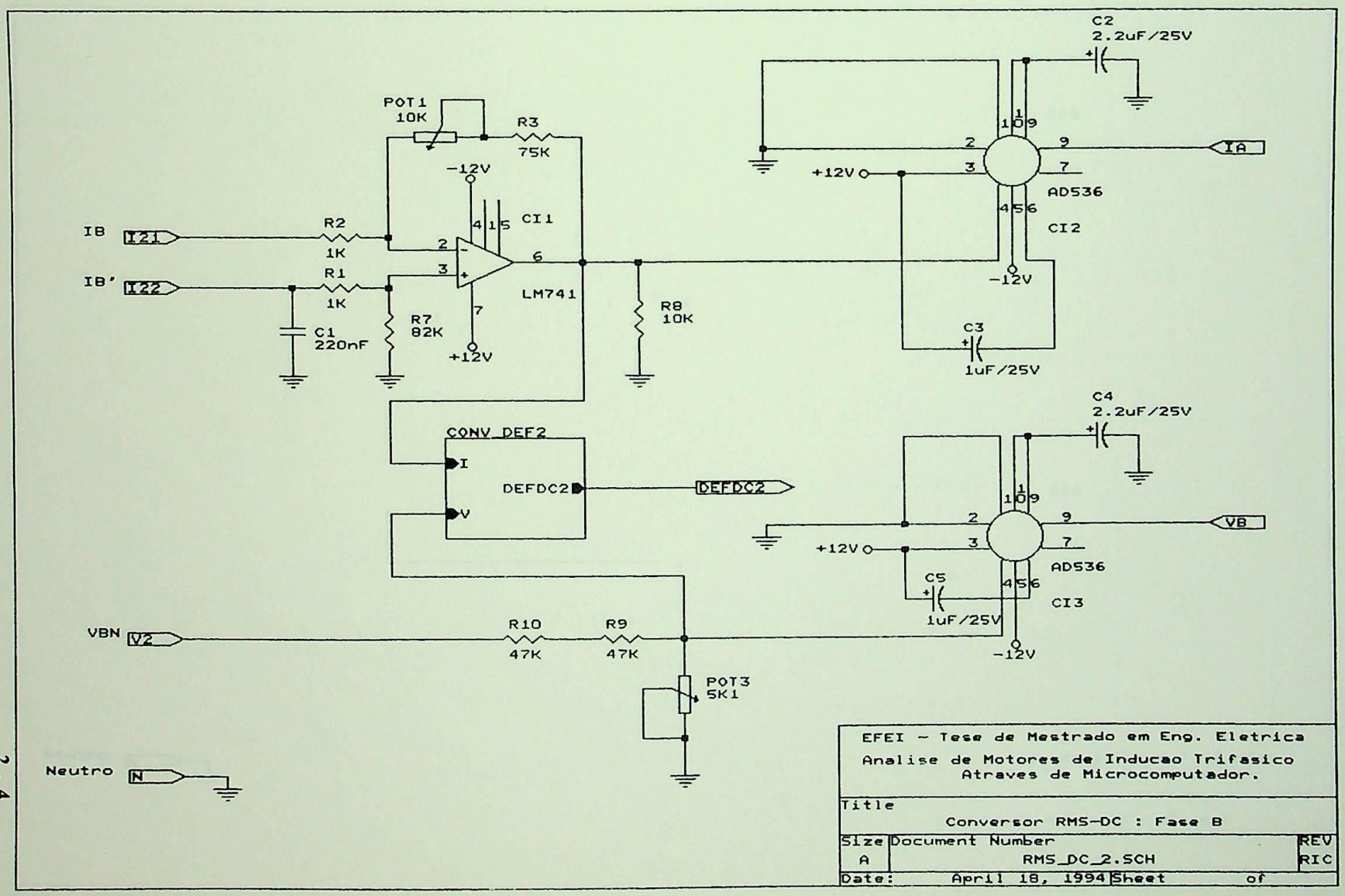
ANEXO 2

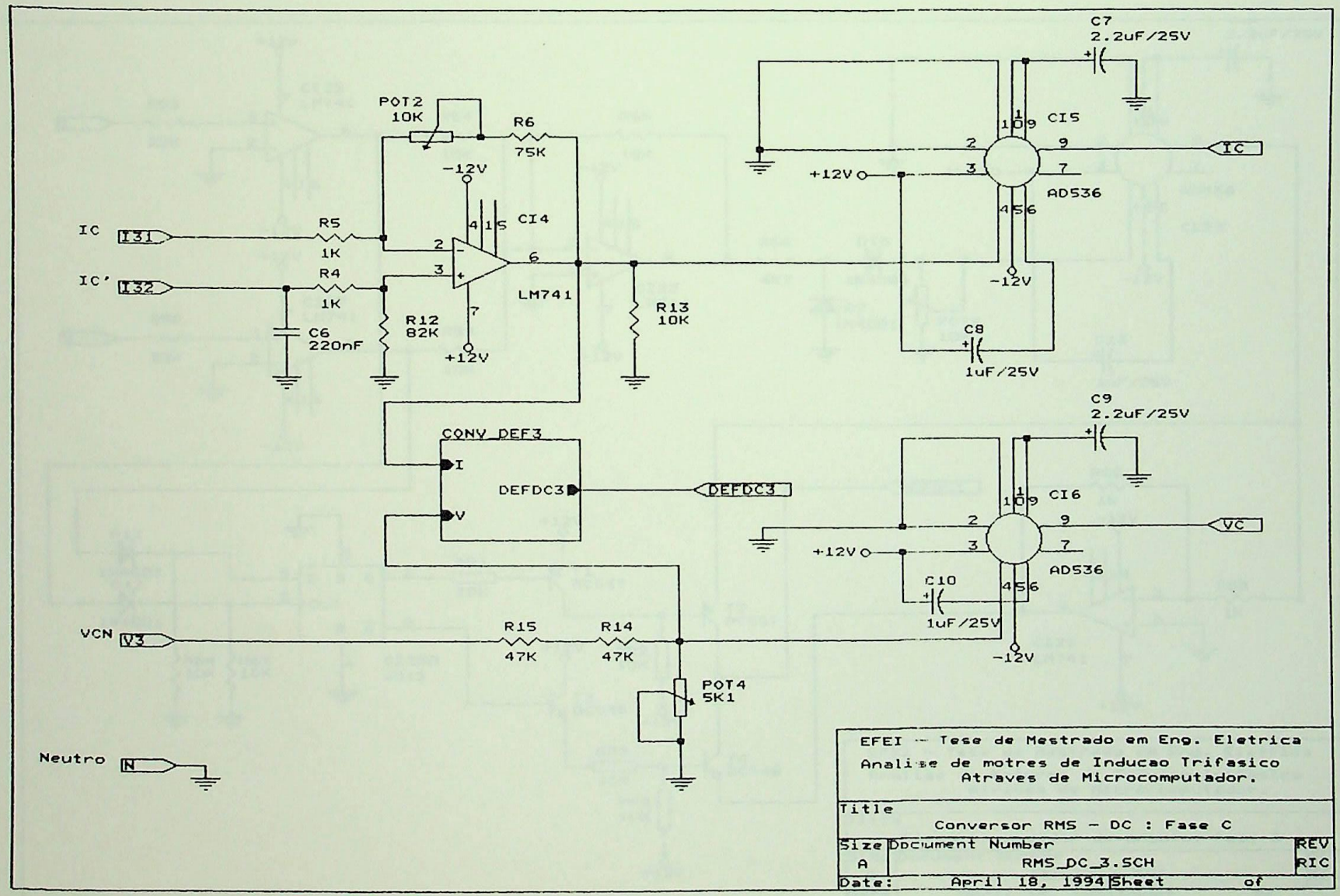
2.1 - Quadro de comando e aquisição;
2.2 - Diagrama em blocos do MCS;
2.3 - Conversor RMS - CC: fase A;
2.4 - Conversor RMS - CC: fase C;
2.5 - Conversor RMS - CC: fase B;
2.6 - Circuito medidor de ângulo: fase A;
2.7 - Circuito medidor de ângulo: fase B;
2.8 - Circuito medidor de ângulo: fase C;
2.9 - Circuito do tacômetro e estado do MCS;
2.10 - Fonte de alimentação do MCS;
2.11 - Diagrama em blocos do MTX;
2.12 - Circuito do módulo transmissor de sinais - MTX;
2.13 - Fonte de alimentação do MTX;
2.14 - Enlace de fibras ópticas;
2.15 - Diagrama em blocos do MRX;
2.16 - Circuito de recepção de dados - MRX;
2.17 - Acionamento remoto do contator - MTX;
2.18 - Fonte de alimentação do MRX;
2.19 - Painel do módulo adaptador de sinais;
2.20 - Módulo adaptador de sinais - MAD;
2.21 - Acionamento local do contator pelo MAD;
2.22 - Diagrama em blocos da placa PCL 812 PG;
2.23 - Sistema para teste com relé de sobrecarga;
2.24 - Sistema elétrico para teste de tensões;
2.25 - Sistema elétrico para teste de corrente;

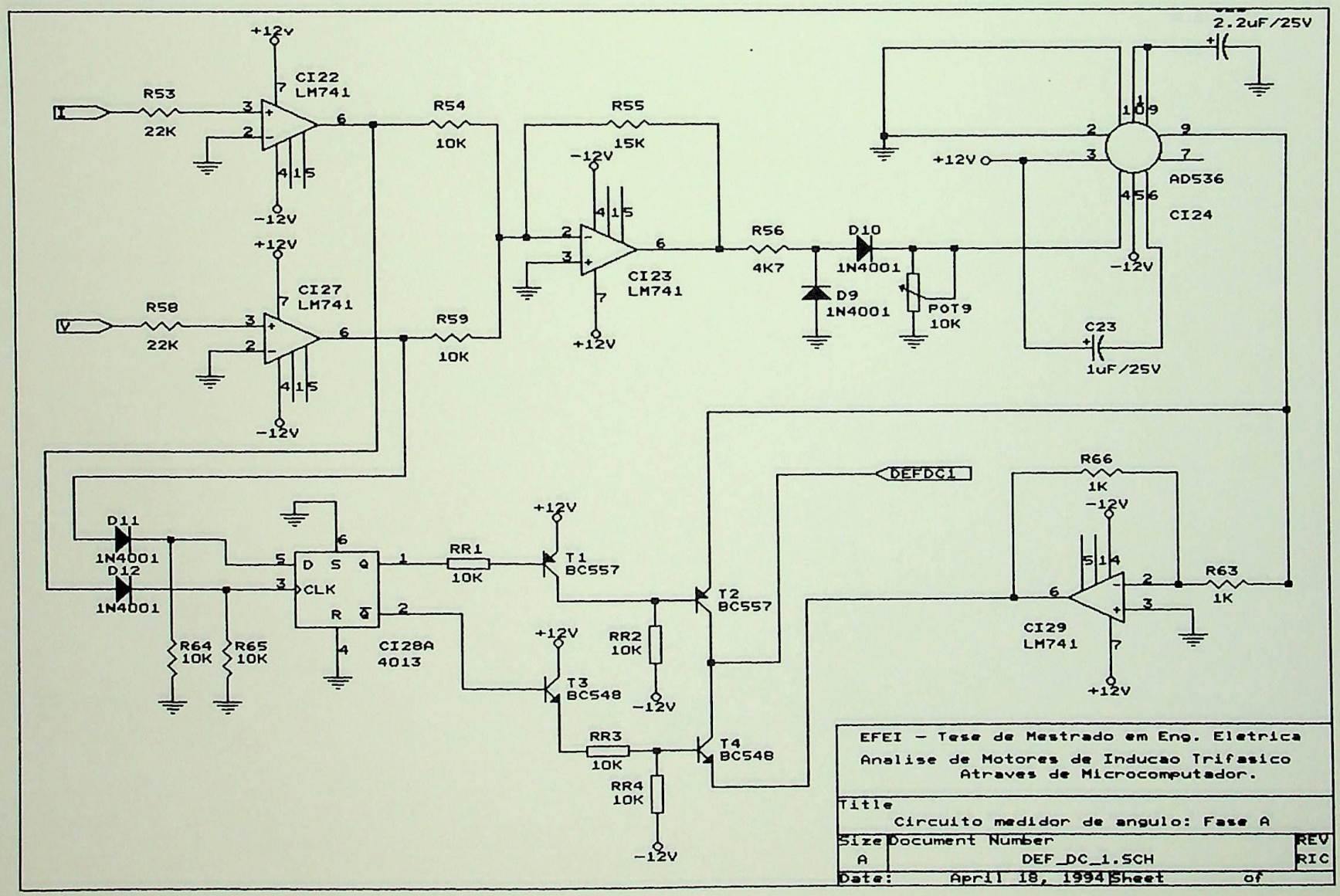

Barramento do Sistema Eletrico de Potencia
Disjuntores 10A
Contator de Acionamento
Ao contato do rele de comando da M.A.D., se supervisao local, ou M.T.X., se supervisao remota.
A
B
C
N
Transformadores de Potencial
VAN
Led
Fusivel
N
VBN
VCN
M.C.S.
VAN VBN VCN N
IA IA' IB IB' IC IC'
Cabo multiveias colorido
Ao M.T.X. se S.R. ou M.A.D. se S.L.
Transformadores de Corrente
IA
IA'
IB
IB'
IC
IC'
Cabo multiveias
Cor | Funcao
Preto | N.C.
Marron | VB
Verm. | VC
Abobora | IA
Amarelo | IB
Verde | IC
Azul | @A
Violeta | @B
Cinza | @C
Branco | Vivo
Preto | Rotacao
Marron | VA
Verm. | N.C.
Abobora | N.C.
Amarelo | Terra
Cabo do Tacometro
Cor | Funcao
Verm. | + 12 VCC
Verde | Detector
Violeta | Emissor
MII
Cabo do Tacometro
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico Atraves de Microcomputador.
Title
Quadro de Comando e Aquisicao
Size A
Document Number
QUADRO.SCH
REV RIC
Date: April 18, 1994
Sheet of

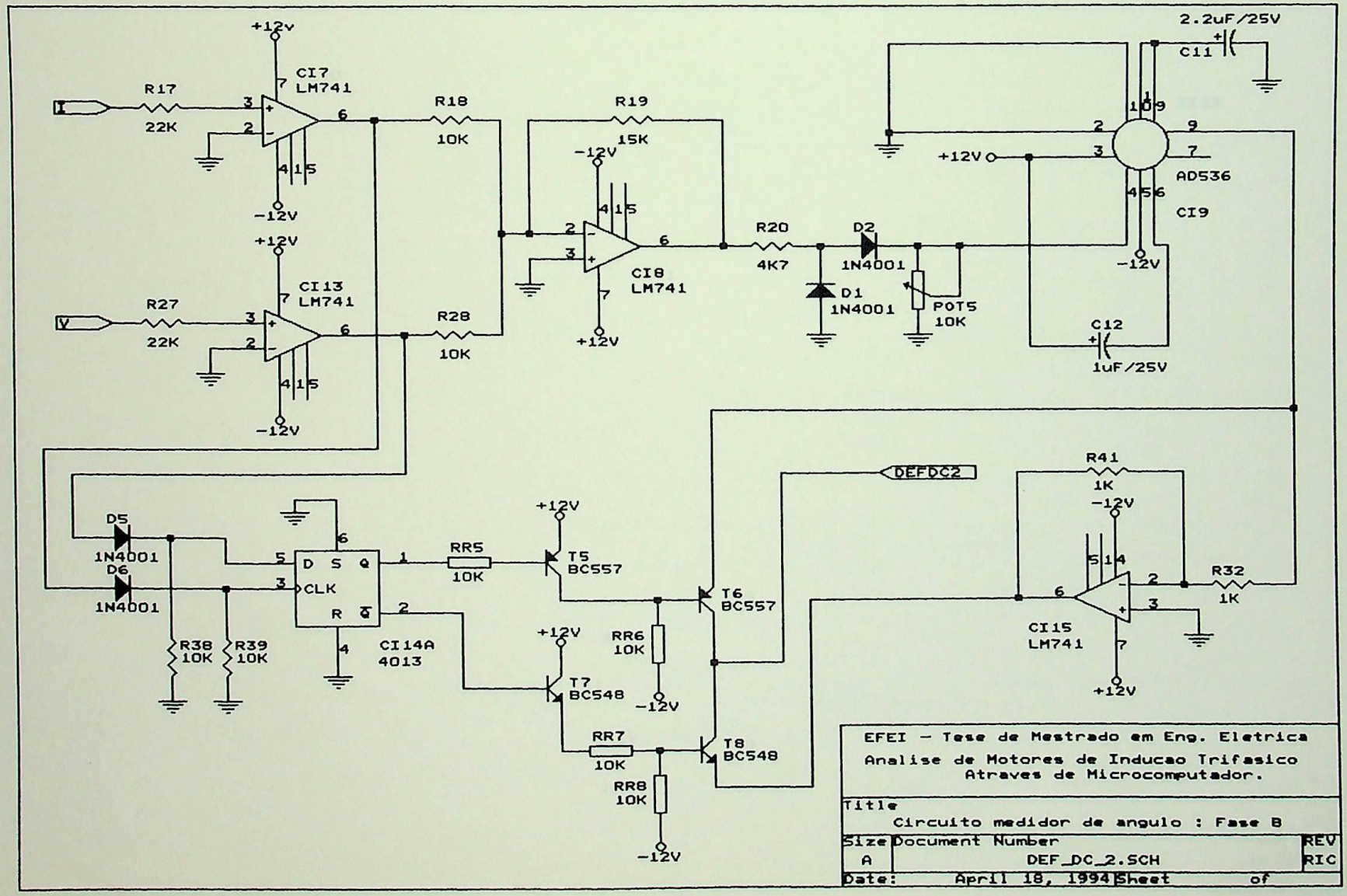

CONV1
CONV2
CONV3
SHUNT 60 mV 10A
IA
IA'
VAN
Neutro
IB
IB'
VBN
IC
IC'
VCN
J1
J2
J3
J4
J5
J6
J7
J8
J9
DEFDC1
DEFDC2
DEFDC3
CONNECTOR DB25
Fonte de Alimentacao do M.C.S.
+12 VCC
TERRA
-12 VCC
Sinal de Vivo do M.C.S.
out
in
Tacometro
Detector
Rotacao
Emissor
Alimentacao do Sensor em U
+12 VCC
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico
Atraves de Microcomputador.
Title
Diagrama em Blocos do M.C.S.
Size
A
Document Number
MCS3_2.SCH
REV
Date:
April 18, 1994
Sheet
of

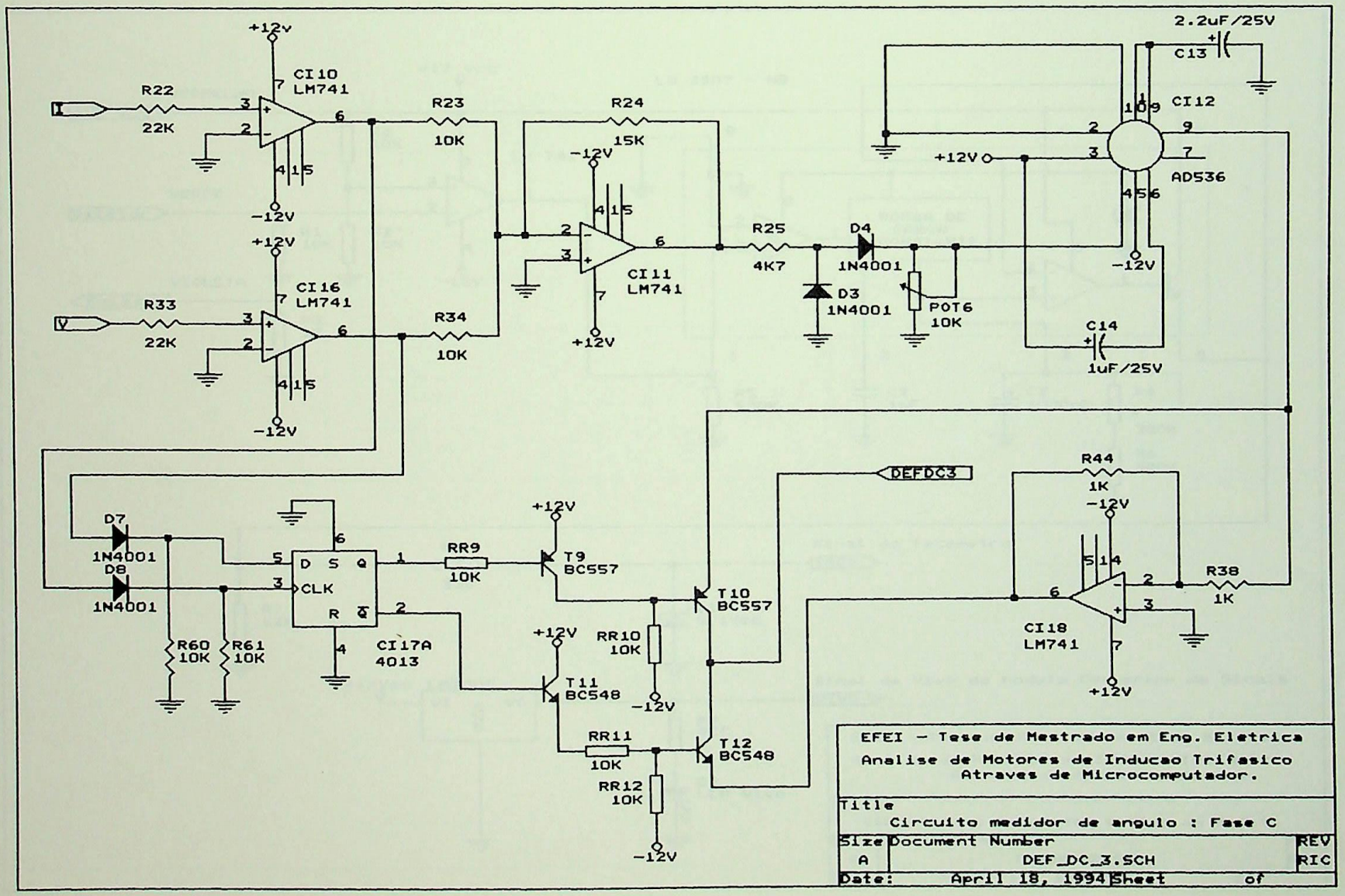

C16
2.2uF/25V
POT7
10K
R47
75K
-12V
IA
I11
R46
1K
CI19
LM741
IA'
I12
R45
1K
R48
82K
C15
220nF
+12V
R49
10K
+12V
AD536
CI20
-12V
C17
1uF/25V
IA
CONV_DEF1
I
V
DEFDC1
DEFDC1
C18
2.2uF/25V
+12V
AD536
CI21
C19
1uF/25V
-12V
VA
VAN
VI
R51
47K
R50
47K
POT8
5K1
Neutro
N
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico
Atraves de Microcomputador.
Title
Conversor RMS - DC : Fase A
Size
A
Document Number
RMS_DC_1.SCH
REV
RIC
Date:
April 18, 1994
Sheet
of


C2
2.2uF/25V
POT1
10K
R3
75K
-12V
IB
I21
R2
1K
IB'
I22
R1
1K
CI1
LM741
C1
220nF
R7
82K
+12V
R8
10K
+12V
AD536
CI2
-12V
C3
1uF/25V
IA
CONV_DEF2
I
V
DEFDC2
DEFDC2
C4
2.2uF/25V
+12V
AD536
CI3
C5
1uF/25V
-12V
VB
VBN
V2
R10
47K
R9
47K
POT3
5K1
Neutro
N
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico
Atraves de Microcomputador.
Title
Conversor RMS-DC : Fase B
Size
A
Document Number
RMS_DC_2.SCH
REV
RIC
Date:
April 18, 1994
Sheet
of


C7
2.2uF/25V
POT2
10K
R6
75K
-12V
CI5
IC
+12V
AD536
IC
I31
R5
1K
CI4
IC'
I32
R4
1K
LM741
R13
10K
C6
220nF
R12
82K
+12V
-12V
C8
1uF/25V
C9
2.2uF/25V
CONV_DEF3
I
DEFDC3
V
DEFDC3
CI6
VC
+12V
AD536
C10
1uF/25V
-12V
VCN
V3
R15
47K
R14
47K
POT4
5K1
Neutro
N
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de motres de Inducao Trifasico
Atraves de Microcomputador.
Title
Conversor RMS - DC : Fase C
Size
A
Document Number
RMS_DC_3.SCH
REV
RIC
Date:
April 18, 1994
Sheet
of


+12v
CI22
LM741
R53
22K
I
R54
10K
R55
15K
-12V
CI23
LM741
R56
4K7
D10
1N4001
D9
1N4001
POT9
10K
2.2uF/25V
AD536
CI24
C23
1uF/25V
CI27
LM741
R58
22K
V
R59
10K
D11
1N4001
D12
1N4001
R64
10K
R65
10K
CI28A
4013
RR1
10K
T1
BC557
T2
BC557
RR2
10K
T3
BC548
RR3
10K
T4
BC548
RR4
10K
DEFDC1
R66
1K
CI29
LM741
R63
1K
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico
Atraves de Microcomputador.
Title
Circuito medidor de angulo: Fase A
Size
A
Document Number
DEF_DC_1.SCH
REV
RIC
Date:
April 18, 1994
Sheet
of


+12v
CI7
LM741
R17
22K
I
R18
10K
R19
15K
-12v
CI8
LM741
R20
4K7
D2
1N4001
D1
1N4001
POTS
10K
2.2uF/25V
C11
AD536
CI9
C12
1uF/25V
CI13
LM741
R27
22K
V
R28
10K
DEFDC2
R41
1K
R32
1K
CI15
LM741
D5
1N4001
D6
1N4001
R38
10K
R39
10K
CI14A
4013
RR5
10K
T5
BC557
T6
BC557
RR6
10K
T7
BC548
T8
BC548
RR7
10K
RR8
10K
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico
Atraves de Microcomputador.
Title
Circuito medidor de angulo : Fase B
Size
A
Document Number
DEF_DC_2.SCH
REV
RIC
Date:
April 18, 1994
Sheet
of

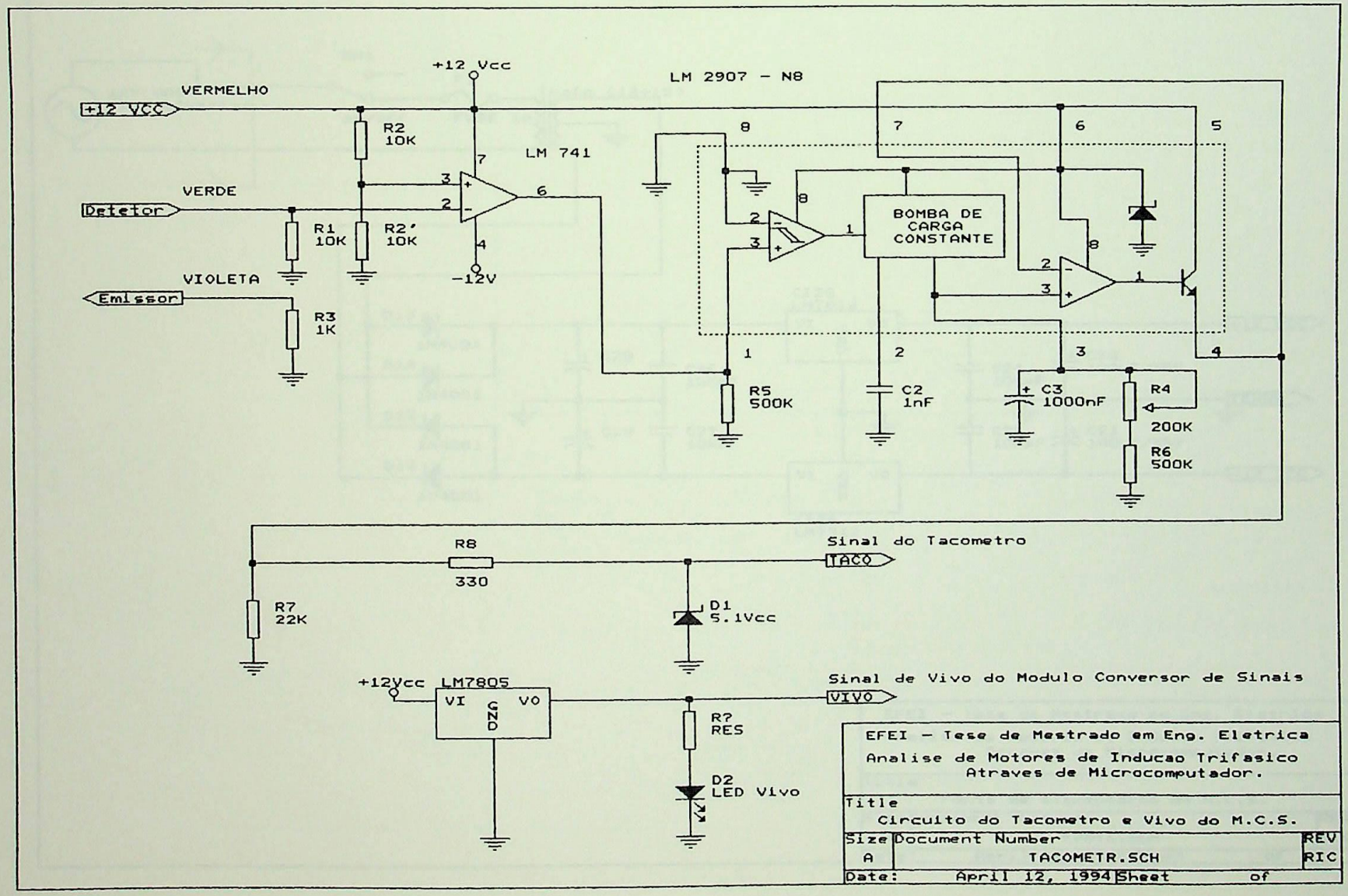


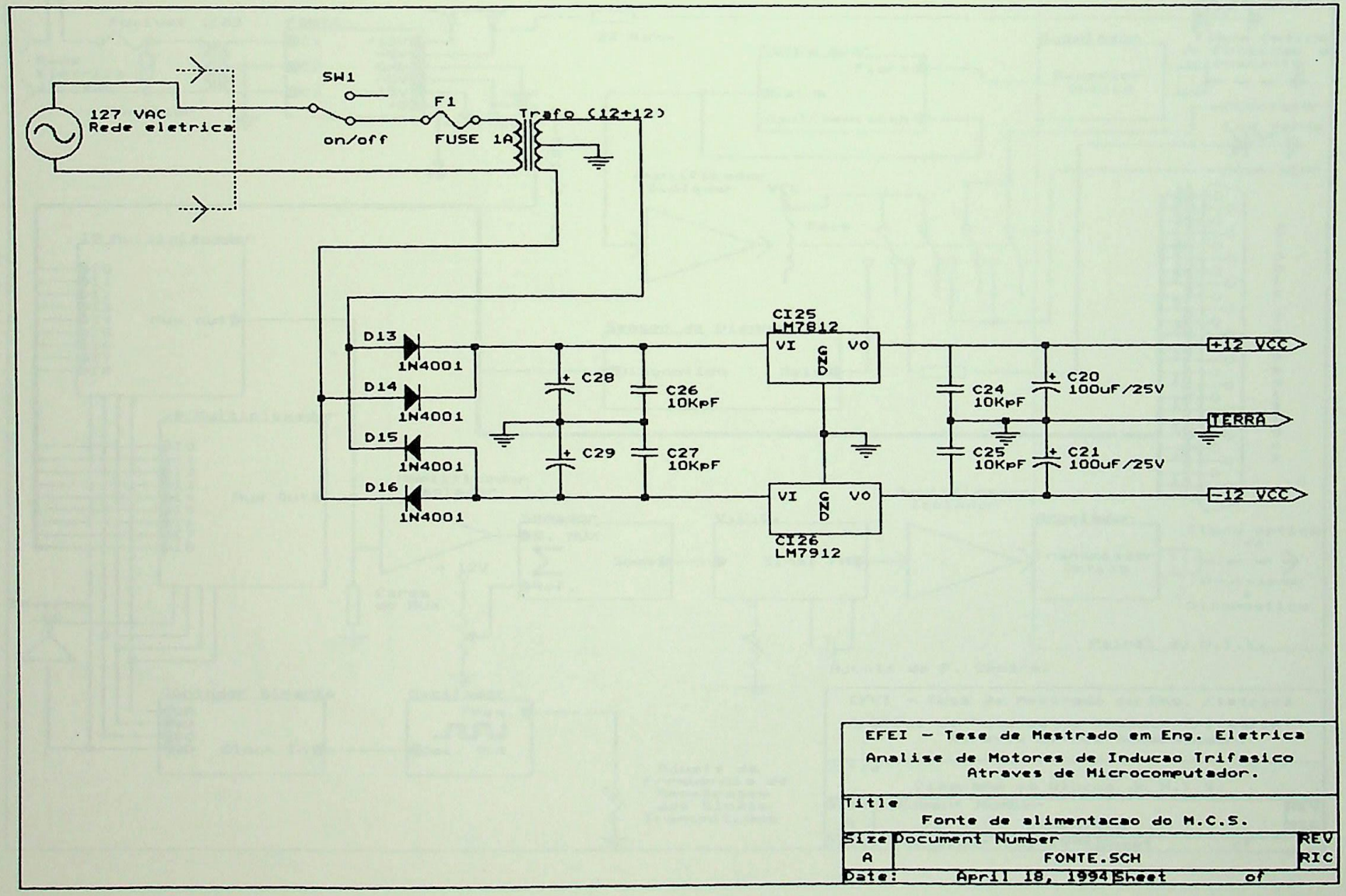
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico
Atraves de Microcomputador.

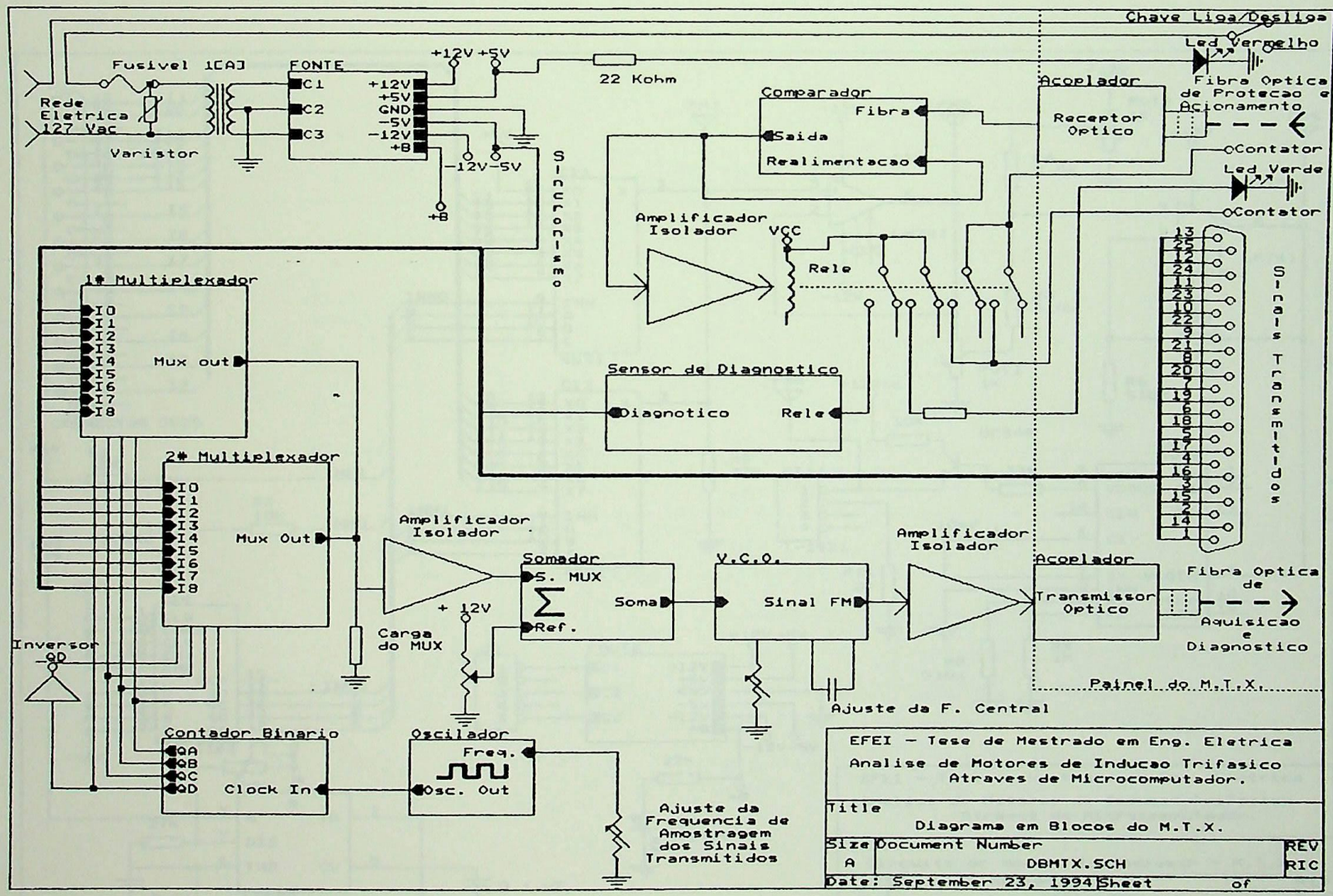
Title
Circuito medidor de angulo : Fase C

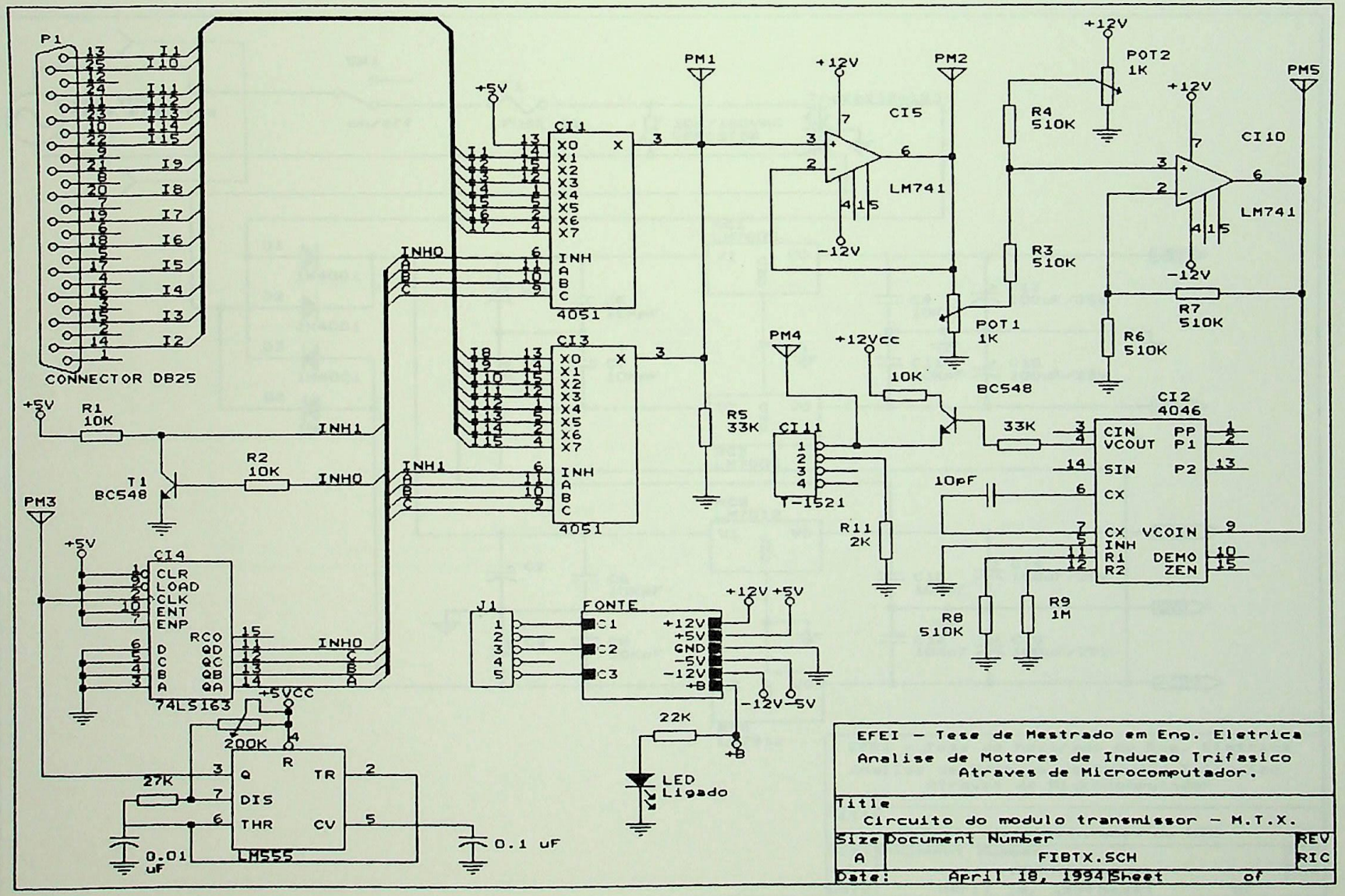
Size	Document Number	REV
A	DEF_DC_3.SCH	RIC

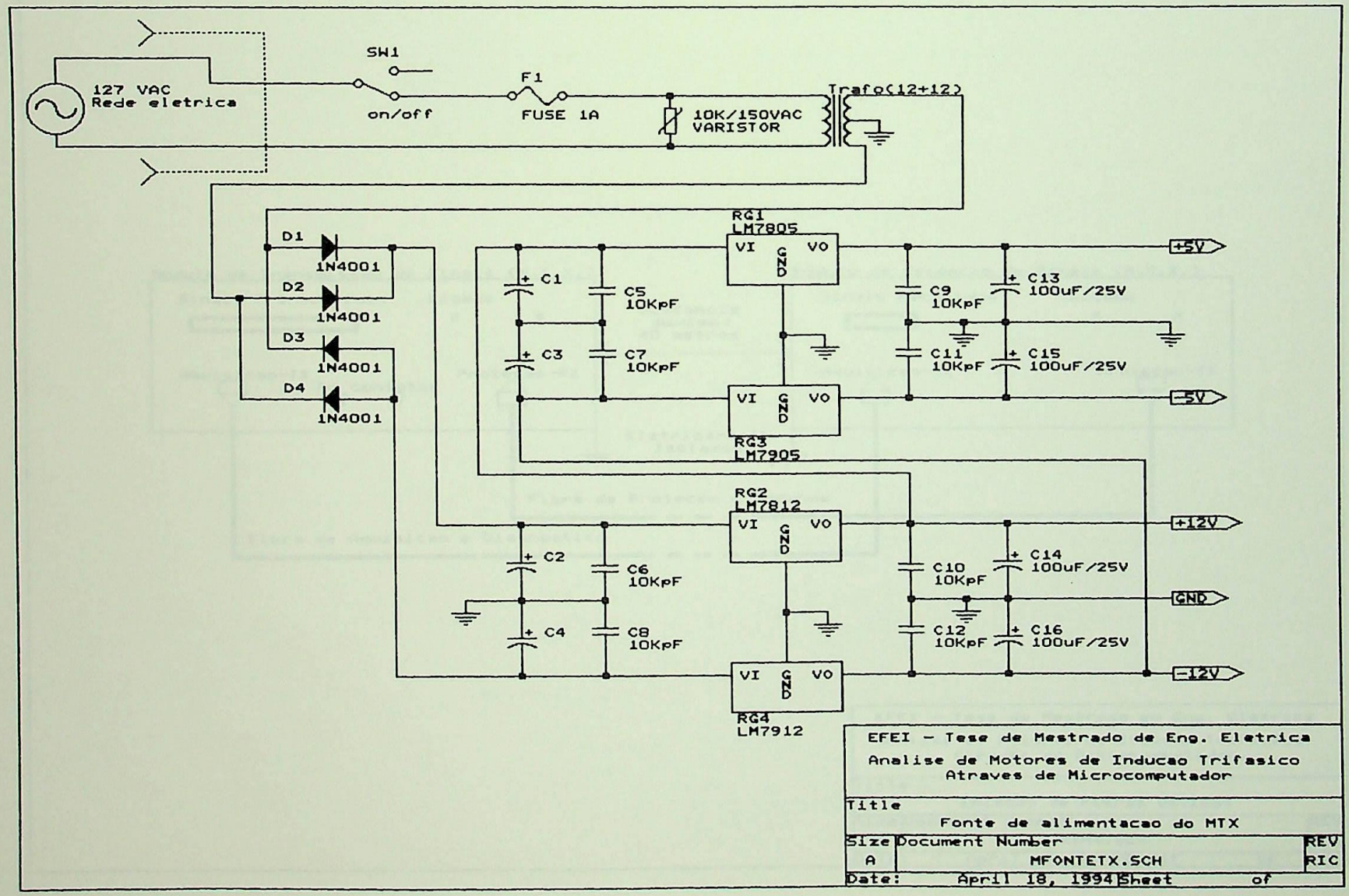
Date: April 18, 1994 Sheet of


+12 Vcc
LM 2907 - N8
VERMELHO
+12 VCC
R2
10K
LM 741
VERDE
Detetor
R1
10K
R2'
10K
-12V
VIOLETA
Emissor
R3
1K
BOMBA DE
CARGA
CONSTANTE
R5
500K
C2
1nF
C3
1000nF
R4
200K
R6
500K
R8
330
Sinal do Tacometro
TACO
R7
22K
D1
5.1Vcc
+12Vcc LM7805
VI
GND
VO
Sinal de Vivo do Modulo Conversor de Sinais
VIVO
R?
RES
D2
LED Vivo
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico
Atraves de Microcomputador.
Title
Circuito do Tacometro e Vivo do M.C.S.
Size
A
Document Number
TACOMETR.SCH
REV
RIC
Date:
April 12, 1994
Sheet
of

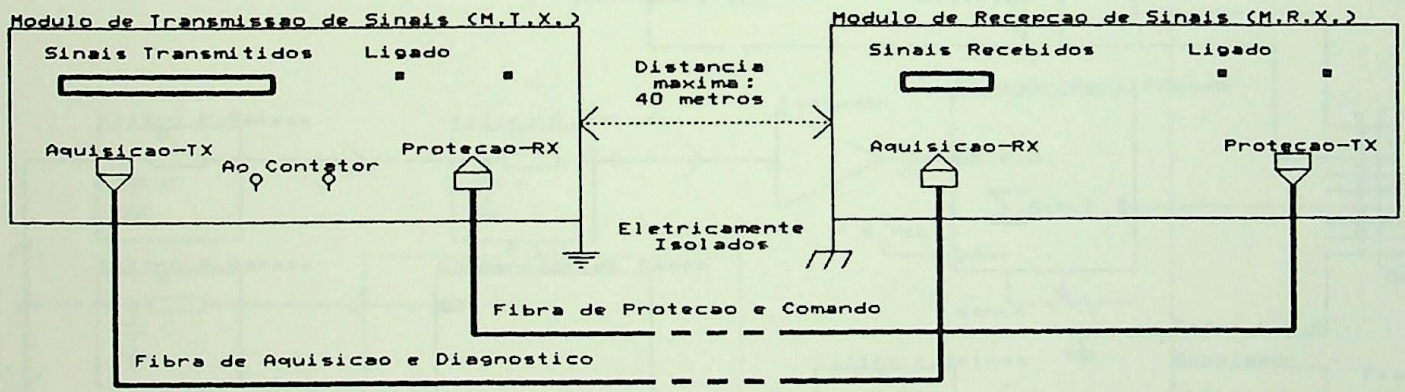

127 VAC
Rede eletrica
SW1
on/off
F1
FUSE 1A
Trafo (12+12)
D13
1N4001
D14
1N4001
D15
1N4001
D16
1N4001
C28
C29
C26
10KpF
C27
10KpF
CI25
LM7812
VI
GND
VO
CI26
LM7912
VI
GND
VO
C24
10KpF
C25
10KpF
C20
100uF/25V
C21
100uF/25V
+12 VCC
TERRA
-12 VCC
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico
Atraves de Microcomputador.
Title
Fonte de alimentacao do M.C.S.
Size
A
Document Number
FONTE.SCH
REV
RIC
Date:
April 18, 1994
Sheet
of


Chave Liga/Desliga
Led Vermelho
Fusivel 1[A]
FONTE
+12V +5V
22 Kohm
Rede Eletrica 127 Vac
Varistor
C1
C2
C3
+12V
+5V
GND
-5V
-12V
+8
-12V-5V
+8
Sincronismo
Comparador
Fibra
Saida
Realimentacao
Acoplador
Receptor Optico
Fibra Optica de Protecao e Acionamento
Contator
Led Verde
Contator
Amplificador Isolador
VCC
Rele
1# Multiplexador
I0
I1
I2
I3
I4
I5
I6
I7
I8
Mux out
Sensor de Diagnostico
Diagnotico
Rele
Sinais Transmitidos
2# Multiplexador
Mux Out
Amplificador Isolador
Somador
S. MUX
Soma
Ref.
V.C.O.
Sinal FM
Amplificador Isolador
Acoplador
Transmissor Optico
Fibra Optica de Aquisicao e Diagnostico
+ 12V
Carga do MUX
Inversor
QD
Painel do M.T.X.
Ajuste da F. Central
Contador Binario
QA
QB
QC
QD
Clock In
Oscilador
Freq.
Osc. Out
Ajuste da Frequencia de Amostragem dos Sinais Transmitidos
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico Atraves de Microcomputador.
Title
Diagrama em Blocos do M.T.X.
Size
A
Document Number
DBMTX.SCH
REV
RIC
Date: September 23, 1994
Sheet
of

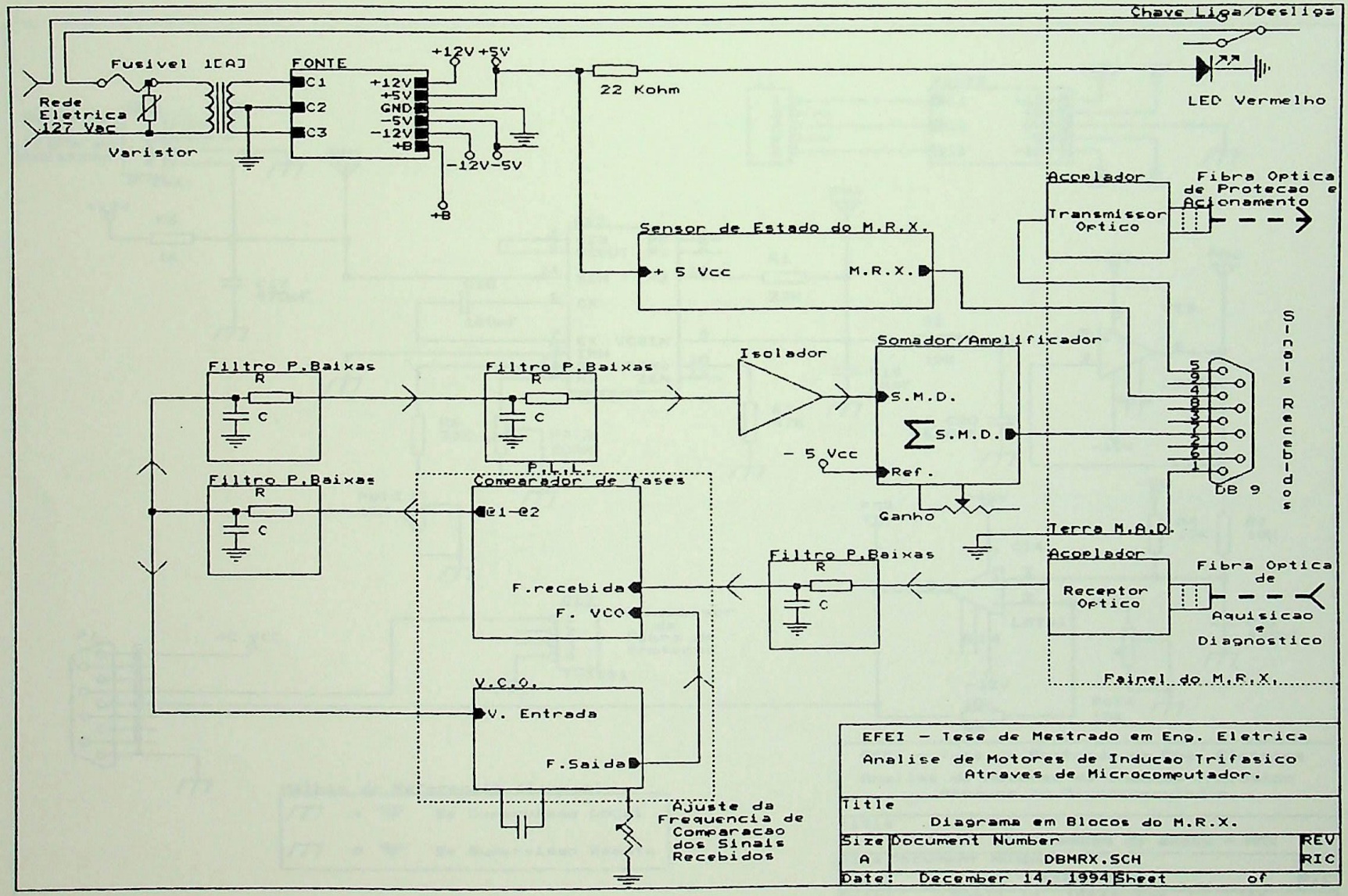

P1
CONNECTOR DB25
I1
I10
I11
I12
I13
I14
I15
I9
I8
I7
I6
I5
I4
I3
I2
CI1
CI3
4051
INH0
INH1
INH
R5
33K
PM1
+5V
CI5
LM741
+12V
-12V
PM2
POT2
1K
R4
510K
R3
510K
POT1
1K
CI10
R7
510K
R6
510K
PM5
PM4
+12Vcc
10K
BC548
CI11
T-1521
33K
CI2
4046
CIN
VCOUT
SIN
CX
INH
R1
R2
PP
P1
P2
VCOIN
DEMO
ZEN
10pF
R11
2K
R8
510K
R9
1M
R1
10K
R2
10K
T1
BC548
PM3
CI4
74LS163
CLR
LOAD
CLK
ENT
ENP
RCO
QD
QC
QB
QA
+5VCC
200K
27K
LM555
R
Q
TR
DIS
THR
CV
0.01
uF
0.1 uF
J1
FONTE
C1
C2
C3
+12V
+5V
GND
-5V
-12V
+B
22K
LED
Ligado
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico
Atraves de Microcomputador.
Title
Circuito do modulo transmissor - M.T.X.
Size
A
Document Number
FIBTX.SCH
REV
RIC
Date:
April 18, 1994
Sheet
of

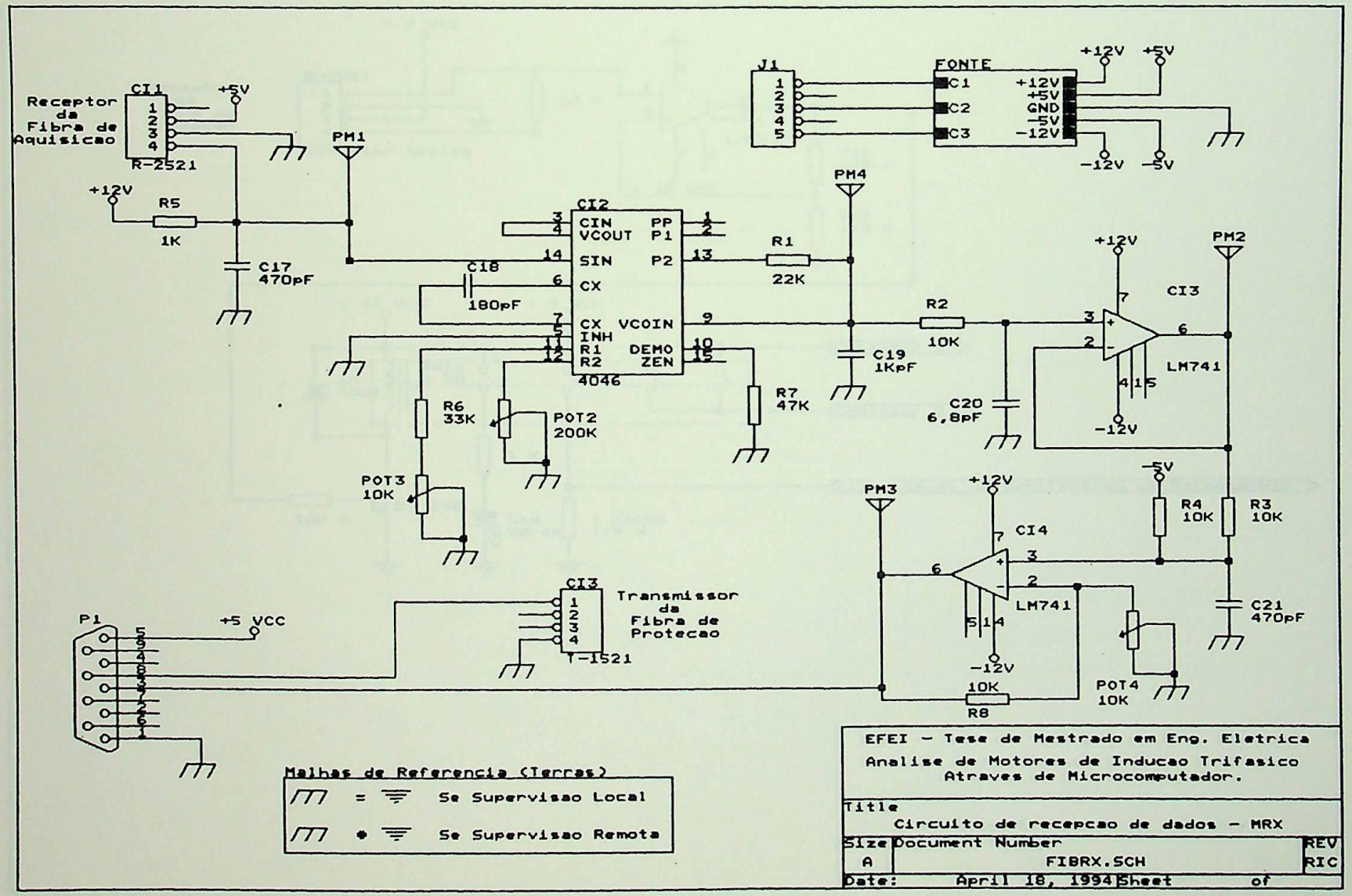


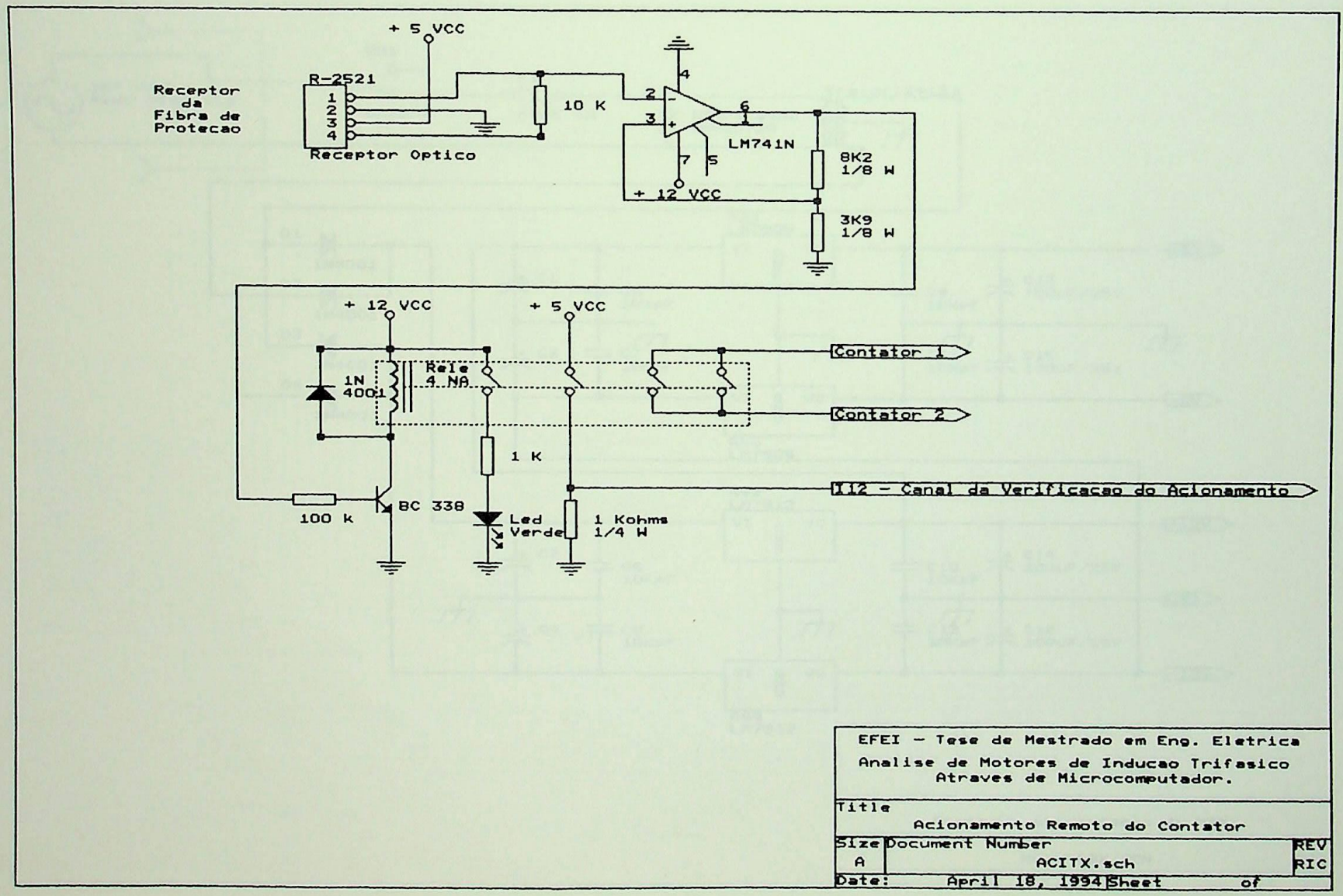
Escola Federal de Engenharia
Biblioteca
MAUÁ

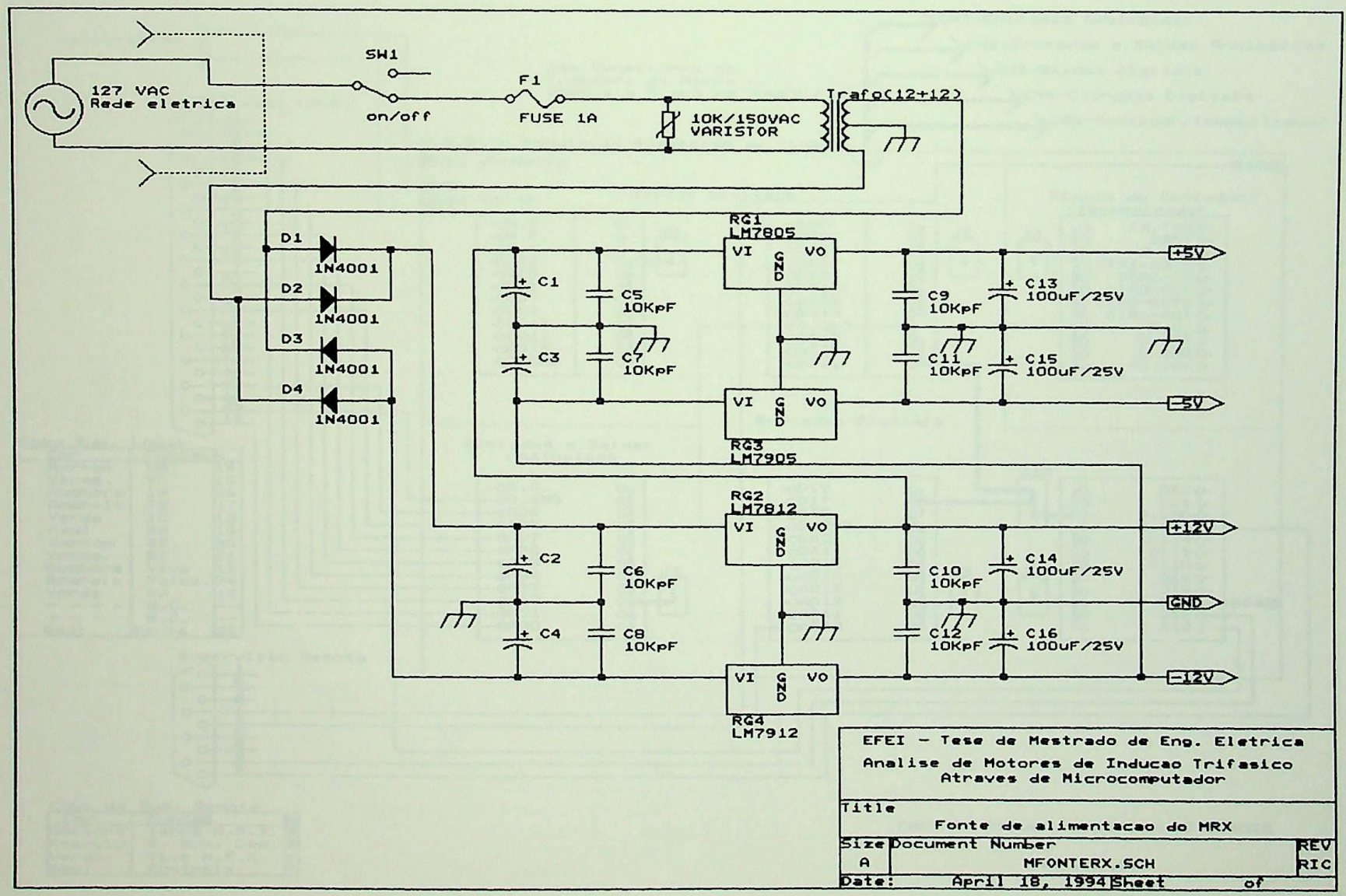


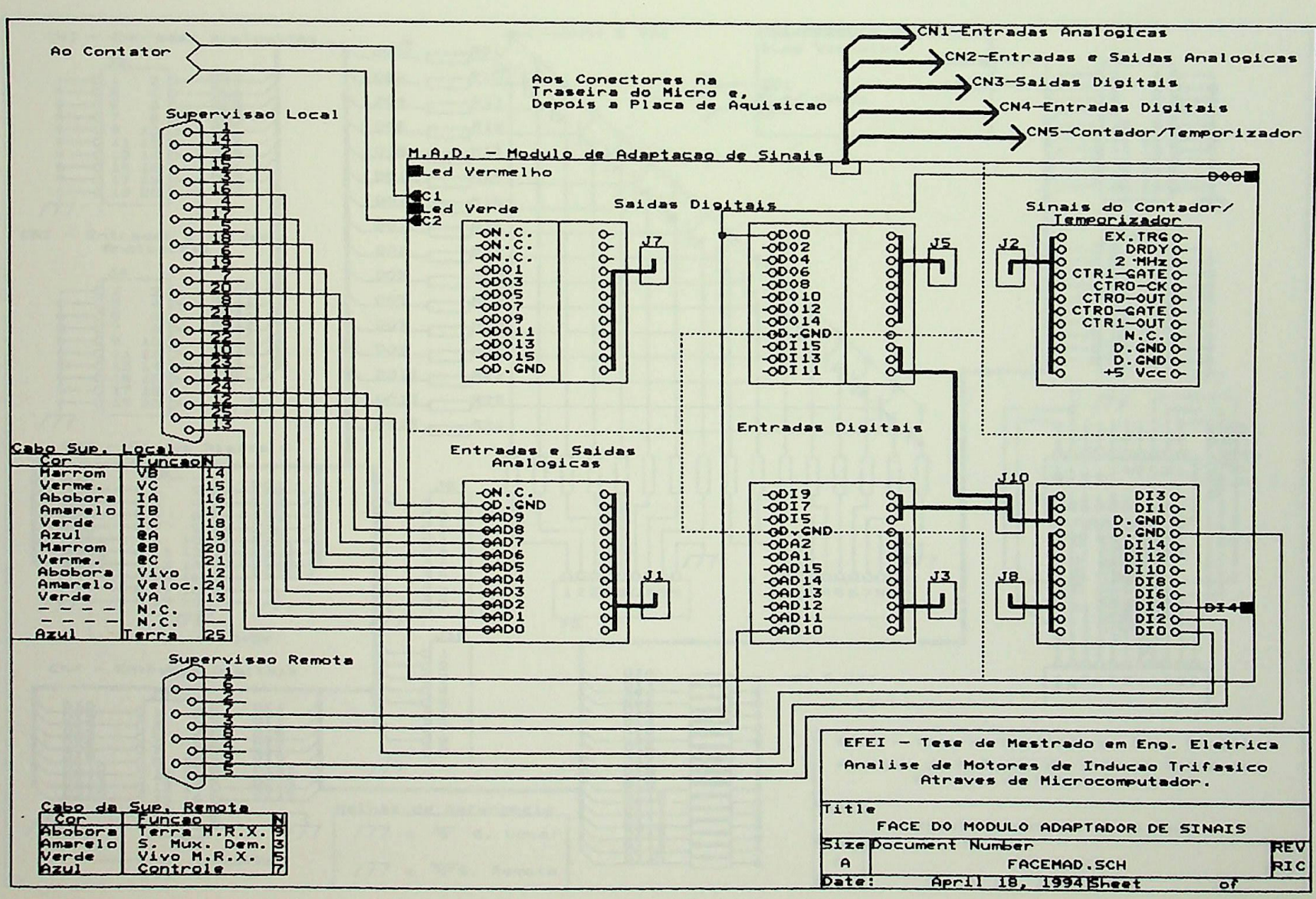
EFEI – Tese de Mestrado em Eng. Eletrica Analise de Motores de Inducao Trifasico Atraves de Microcomputador.		
Title Enlaces de Fibras Opticas		
Size A	Document Number MTMX.SCH	REV RIC
Date: April 18, 1994	Sheet of	

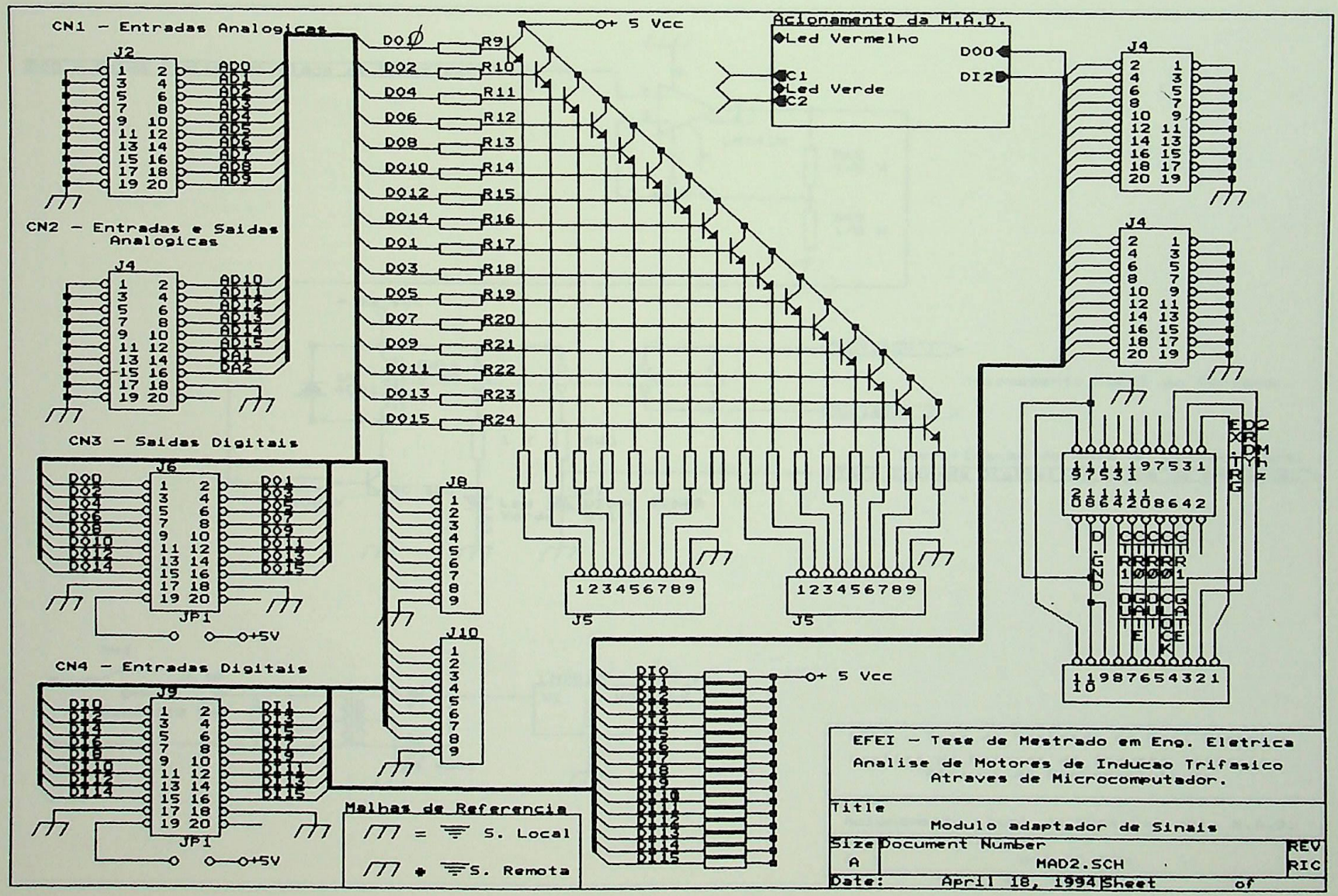

Chave Liga/Desliga
Fusivel 1[A]
FONTE
+12V +5V
Rede Eletrica 127 Vac
Varistor
C1
C2
C3
+12V
+5V
GND
-5V
-12V
+B
-12V-5V
+B
22 Kohm
LED Vermelho
Acoplador
Transmissor Optico
Fibra Optica de Protecao e Acionamento
Sensor de Estado do M.R.X.
+ 5 Vcc
M.R.X.
Sinais Recebidos
DB 9
Somador/Amplificador
Isolador
S.M.D.
S.M.D.
- 5 Vcc
Ref.
Ganho
Filtro P.Baixas
R
C
Filtro P.Baixas
Filtro P.Baixas
P.L.L.
Comparador de fases
@1-@2
F.recebida
F. VCO
Terra M.A.D.
Filtro P.Baixas
Acoplador
Receptor Optico
Fibra Optica de Aquisicao e Diagnostico
V.C.O.
V. Entrada
F.Saida
Ajuste da Frequencia de Comparacao dos Sinais Recebidos
Painel do M.R.X.
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico Atraves de Microcomputador.
Title
Diagrama em Blocos do M.R.X.
Size A
Document Number DBMRX.SCH
REV RIC
Date: December 14, 1994 Sheet of

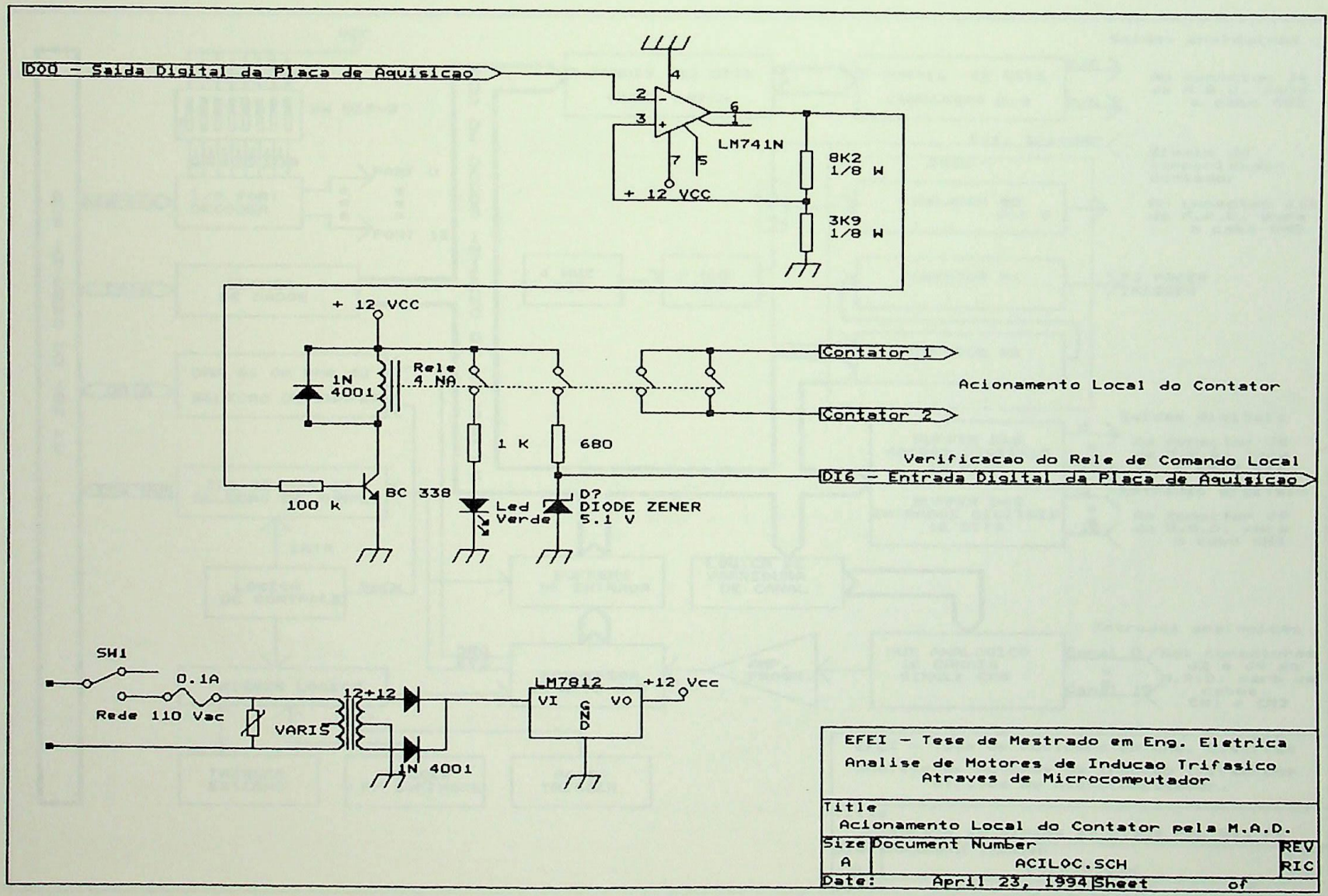

CI1
Receptor da Fibra de Aquisicao
R-2521
+5V
PM1
+12V
R5
1K
C17
470pF
CI2
CIN
VCOUT
SIN
CX
CX
INH
R1
R2
PP
P1
P2
VCOIN
DEMO
ZEN
4046
C18
180pF
R6
33K
POT2
200K
POT3
10K
R7
47K
PM4
R1
22K
C19
1KpF
R2
10K
C20
6,8pF
CI3
LM741
PM2
+12V
-12V
J1
FONTE
C1
C2
C3
+12V
+5V
GND
-5V
-12V
PM3
CI4
LM741
R4
10K
R3
10K
C21
470pF
POT4
10K
R8
10K
P1
+5 VCC
CI3
Transmissor da Fibra de Protecao
T-1521
Malhas de Referencia (Terras)
= Se Supervisao Local
* Se Supervisao Remota
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico Atraves de Microcomputador.
Title
Circuito de recepcao de dados - MRX
Size
A
Document Number
FIBRX.SCH
REV
RIC
Date: April 18, 1994
Sheet
of

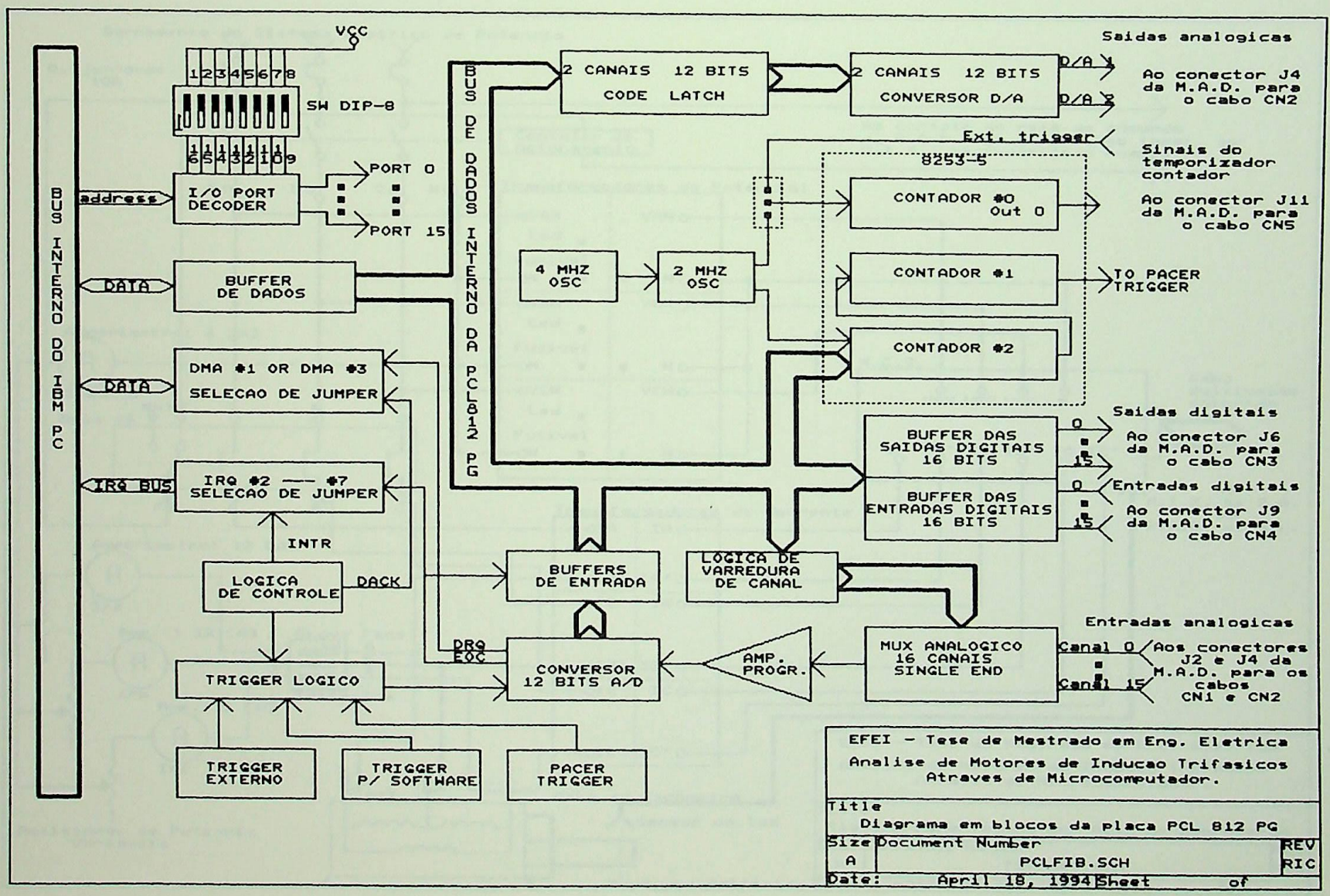

+ 5 VCC
Receptor
da
Fibra de
Protecao
R-2521
1
2
3
4
Receptor Optico
10 K
2
3
4
6
1
7
5
LM741N
+ 12 VCC
8K2
1/8 W
3K9
1/8 W
+ 12 VCC
+ 5 VCC
Rele
4 NA
1N
4001
Contator 1
Contator 2
1 K
100 k
BC 338
Led
Verde
1 Kohms
1/4 W
TI2 - Canal da Verificacao do Acionamento
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico
Atraves de Microcomputador.
Title
Acionamento Remoto do Contator
Size
A
Document Number
ACITX.sch
REV
RIC
Date:
April 18, 1994
Sheet
of

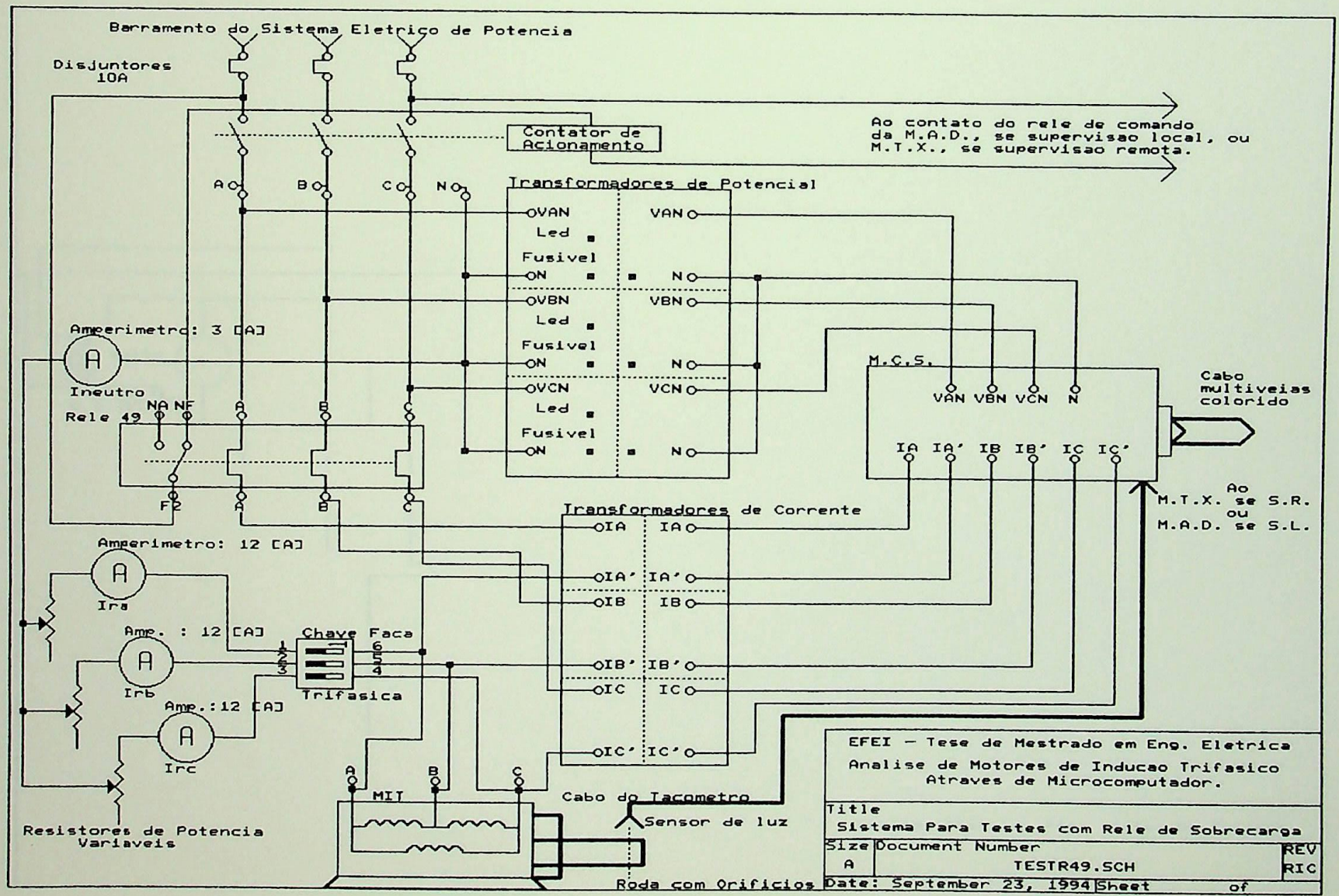

127 VAC
Rede eletrica
SW1
on/off
F1
FUSE 1A
10K/150VAC
VARISTOR
Trafo(12+12)
D1
1N4001
D2
1N4001
D3
1N4001
D4
1N4001
RG1
LM7805
VI
GND
VO
RG3
LM7905
RG2
LM7812
RG4
LM7912
C1
C2
C3
C4
C5
10KpF
C6
10KpF
C7
10KpF
C8
10KpF
C9
10KpF
C10
10KpF
C11
10KpF
C12
10KpF
C13
100uF/25V
C14
100uF/25V
C15
100uF/25V
C16
100uF/25V
+5V
-5V
+12V
GND
-12V
EFEI - Tese de Mestrado de Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico
Atraves de Microcomputador
Title
Fonte de alimentacao do MRX
Size
A
Document Number
MFONTERX.SCH
REV
RIC
Date:
April 18, 1994
Sheet
of

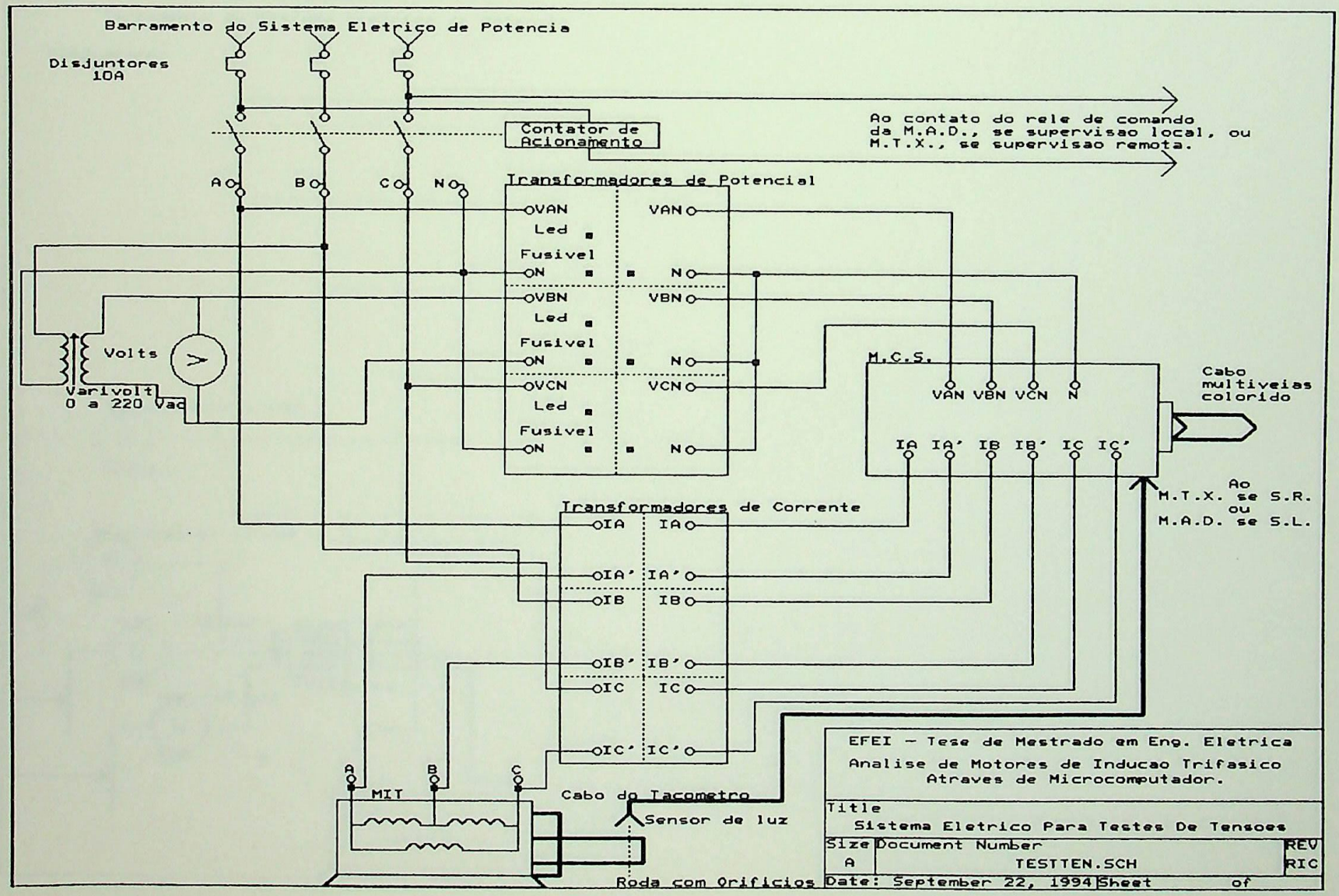

Ao Contator
Supervisao Local
Aos Conectores na
Traseira do Micro e,
Depois a Placa de Aquisicao
CN1-Entradas Analogicas
CN2-Entradas e Saidas Analogicas
CN3-Saidas Digitais
CN4-Entradas Digitais
CN5-Contador/Temporizador
M.A.D. - Modulo de Adaptacao de Sinais
Led Vermelho
Led Verde
C1
C2
Saidas Digitais
Sinais do Contador/
Temporizador
Entradas Digitais
Entradas e Saidas
Analogicas
J1
J2
J3
J5
J7
J8
J10
Cabo Sup. Local
Cor | Funcao | N
Marrom | VB | 14
Verme. | VC | 15
Abobora | IA | 16
Amarelo | IB | 17
Verde | IC | 18
Azul | GA | 19
Marrom | GB | 20
Verme. | GC | 21
Abobora | Vivo | 12
Amarelo | Veloc. | 24
Verde | VA | 13
- - - - | N.C. | --
- - - - | N.C. | --
Azul | Terra | 25
Supervisao Remota
Cabo da Sup. Remota
Cor | Funcao | N
Abobora | Terra M.R.X. | 9
Amarelo | S. Mux. Dem. | 3
Verde | Vivo M.R.X. | 5
Azul | Controle | 7
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico
Atraves de Microcomputador.
Title
FACE DO MODULO ADAPTADOR DE SINAIS
Size
A
Document Number
FACEMAD.SCH
REV
RIC
Date: April 18, 1994
Sheet of

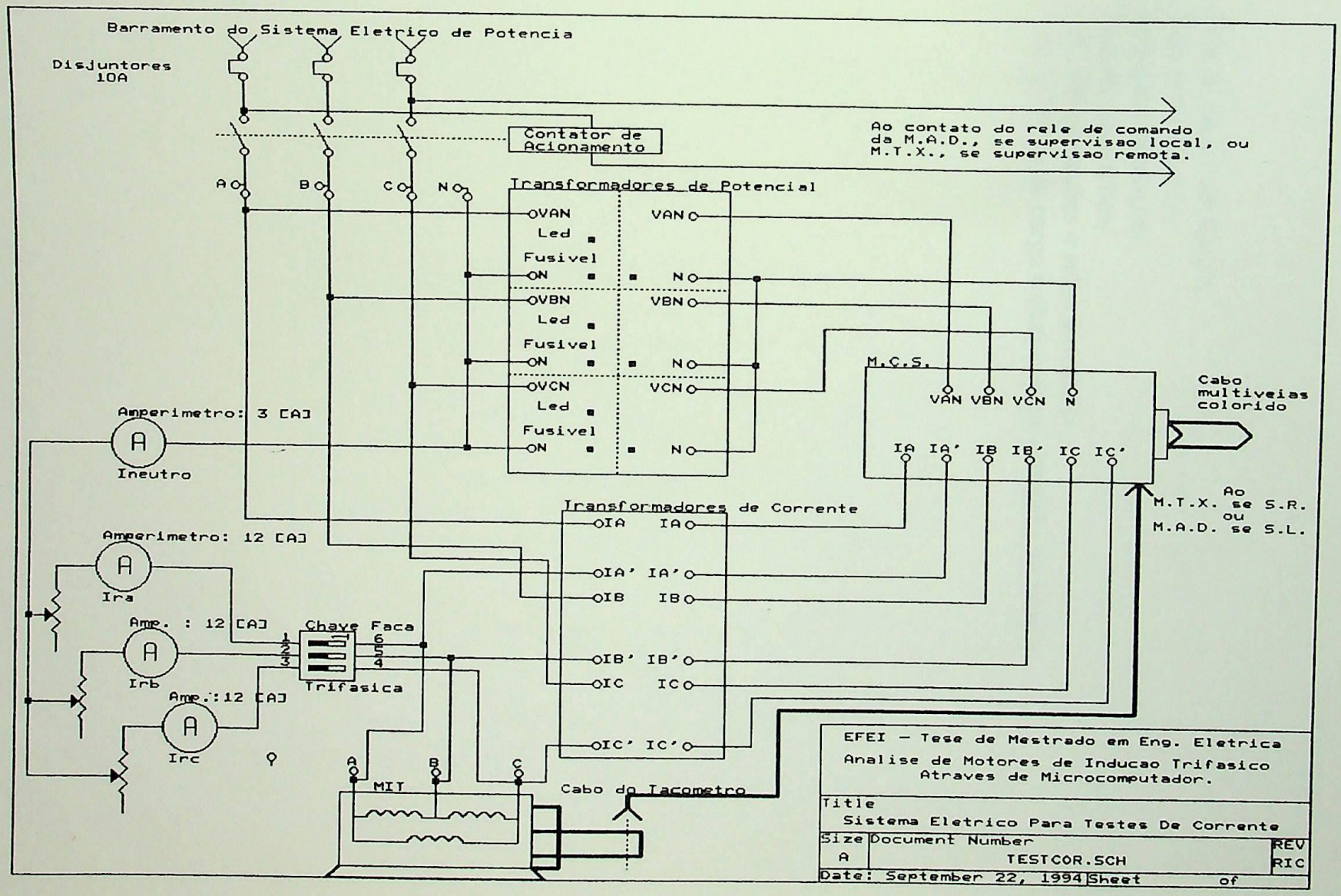

CN1 - Entradas Analogicas
J2
AD0
AD1
AD2
AD3
AD4
AD5
AD6
AD7
AD8
AD9
CN2 - Entradas e Saidas Analogicas
J4
AD10
AD11
AD12
AD13
AD14
AD15
DA1
DA2
CN3 - Saidas Digitais
J6
JP1
+5V
CN4 - Entradas Digitais
J9
JP1
+5V
J8
J10
D00
D02
D04
D06
D08
D010
D012
D014
D01
D03
D05
D07
D09
D011
D013
D015
R9
R10
R11
R12
R13
R14
R15
R16
R17
R18
R19
R20
R21
R22
R23
R24
+ 5 Vcc
Acionamento da M.A.D.
Led Vermelho
Led Verde
C1
C2
DO0
DI2
J4
J4
123456789
J5
123456789
J5
DI0
DI1
DI2
DI3
DI4
DI5
DI6
DI7
DI8
DI9
DI10
DI11
DI12
DI13
DI14
DI15
+ 5 Vcc
Malhas de Referencia
= S. Local
S. Remota
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico Atraves de Microcomputador.
Title
Modulo adaptador de Sinais
Size
A
Document Number
MAD2.SCH
REV
RIC
Date:
April 18, 1994
Sheet
of


DO0 - Saida Digital da Placa de Aquisicao
LM741N
8K2
1/8 W
3K9
1/8 W
+ 12 VCC
Rele
4 NA
1N
4001
Contator 1
Acionamento Local do Contator
Contator 2
1 K
680
Verificacao do Rele de Comando Local
DI6 - Entrada Digital da Placa de Aquisicao
100 k
BC 338
Led
Verde
D?
DIODE ZENER
5.1 V
SW1
0.1A
Rede 110 Vac
VARIS
12+12
1N 4001
LM7812
VI
GND
VO
+12 Vcc
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico
Atraves de Microcomputador
Title
Acionamento Local do Contator pela M.A.D.
Size
A
Document Number
ACILOC.SCH
REV
RIC
Date:
April 23, 1994
Sheet
of


VCC
1 2 3 4 5 6 7 8
SW DIP-8
1 1 1 1 1 1 1 1
6 5 4 3 2 1 0 9
BUS INTERNO DO IBM PC
address
I/O PORT DECODER
PORT 0
PORT 15
DATA
BUFFER DE DADOS
DATA
DMA #1 OR DMA #3 SELECAO DE JUMPER
IRQ BUS
IRQ #2 —— #7 SELECAO DE JUMPER
INTR
LOGICA DE CONTROLE
DACK
TRIGGER LOGICO
TRIGGER EXTERNO
TRIGGER P/ SOFTWARE
PACER TRIGGER
BUS DE DADOS INTERNO DA PCL812 PG
2 CANAIS 12 BITS CODE LATCH
2 CANAIS 12 BITS CONVERSOR D/A
D/A 1
D/A 2
Saidas analogicas
Ao conector J4 da M.A.D. para o cabo CN2
Ext. trigger
Sinais do temporizador contador
Ao conector J11 da M.A.D. para o cabo CN5
8253-5
CONTADOR #0 Out 0
4 MHZ OSC
2 MHZ OSC
CONTADOR #1
IO PACER TRIGGER
CONTADOR #2
Saidas digitais
BUFFER DAS SAIDAS DIGITAIS 16 BITS
0
15
Ao conector J6 da M.A.D. para o cabo CN3
BUFFER DAS ENTRADAS DIGITAIS 16 BITS
Entradas digitais
Ao conector J9 da M.A.D. para o cabo CN4
BUFFERS DE ENTRADA
LOGICA DE VARREDURA DE CANAL
DRQ
EOC
CONVERSOR 12 BITS A/D
AMP. PROGR.
MUX ANALOGICO 16 CANAIS SINGLE END
Entradas analogicas
Canal 0
Canal 15
Aos conectores J2 e J4 da M.A.D. para os cabos CN1 e CN2
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasicos Atraves de Microcomputador.
Title
Diagrama em blocos da placa PCL 812 PG
Size A
Document Number
PCLFIB.SCH
REV
RIC
Date: April 18, 1994
Sheet of


Barramento do Sistema Eletrico de Potencia
Disjuntores 10A
Contator de Acionamento
Ao contato do rele de comando da M.A.D., se supervisao local, ou M.T.X., se supervisao remota.
A
B
C
N
Transformadores de Potencial
VAN
Led
Fusivel
VBN
VCN
Amperimetro: 3 [A]
Ineutro
Rele 49
NA NF
F2
M.C.S.
VAN VBN VCN N
Cabo multiveias colorido
IA IA' IB IB' IC IC'
Ao M.T.X. se S.R. ou M.A.D. se S.L.
Transformadores de Corrente
Amperimetro: 12 [A]
Ira
Amp. : 12 [A]
Irb
Amp.:12 [A]
Irc
Chave Faca
Trifasica
MIT
Cabo do Tacometro
Sensor de luz
Roda com Orificios
Resistores de Potencia Variaveis
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico Atraves de Microcomputador.
Title
Sistema Para Testes com Rele de Sobrecarga
Size A
Document Number TESTR49.SCH
REV RIC
Date: September 23, 1994
Sheet of


Barramento do Sistema Eletrico de Potencia
Disjuntores
10A
Contator de
Acionamento
Ao contato do rele de comando
da M.A.D., se supervisao local, ou
M.T.X., se supervisao remota.
A
B
C
N
Transformadores de Potencial
VAN
Led
Fusivel
N
VBN
Led
Fusivel
N
VCN
Led
Fusivel
N
Volts
Varivolt
0 a 220 Vac
M.C.S.
VAN VBN VCN N
IA IA' IB IB' IC IC'
Cabo
multiveias
colorido
Ao
M.T.X. se S.R.
ou
M.A.D. se S.L.
Transformadores de Corrente
IA
IA'
IB
IB'
IC
IC'
A
B
C
MIT
Cabo do Tacometro
Sensor de luz
Roda com Orificios
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico
Atraves de Microcomputador.
Title
Sistema Eletrico Para Testes De Tensoes
Size
A
Document Number
TESTTEN.SCH
REV
RIC
Date: September 22, 1994
Sheet
of


Barramento do Sistema Eletrico de Potencia
Disjuntores
10A
Contator de
Acionamento
Ao contato do rele de comando
da M.A.D., se supervisao local, ou
M.T.X., se supervisao remota.
A
B
C
N
Transformadores de Potencial
VAN
Led
Fusivel
N
VBN
Led
Fusivel
N
VCN
Led
Fusivel
N
VAN
N
VBN
VCN
M.C.S.
VAN VBN VCN N
IA IA' IB IB' IC IC'
Cabo
multiveias
colorido
Amperimetro: 3 [A]
A
Ineutro
Transformadores de Corrente
IA IA
IA' IA'
IB IB
IB' IB'
IC IC
IC' IC'
M.T.X. Ao se S.R.
ou
M.A.D. se S.L.
Amperimetro: 12 [A]
A
Ira
Ame. : 12 [A]
A
Irb
Ame.:12 [A]
A
Irc
Chave Faca
1
2
3
6
5
4
Trifasica
A
B
C
MIT
Cabo do Tacometro
EFEI - Tese de Mestrado em Eng. Eletrica
Analise de Motores de Inducao Trifasico
Atraves de Microcomputador.
Title
Sistema Eletrico Para Testes De Corrente
Size
A
Document Number
TESTCOR.SCH
REV
RIC
Date: September 22, 1994
Sheet
of

ANEXO 3

3.1 - Tela de dados do motor;
3.2 - Tela dos circuitos;
3.3 - Tela das calibrações;
3.4 - Tela de aquisições;
3.5 - Tela das proteções e relés auxiliares;
3.6 - Tela do fluxo de carga e temperatura estimada no tempo;

Hora:
09:22:42
Tins [ms]:
100
Erros:
10

Dados do Motor		
Potencia Nominal	(Pn) :	0.75 [CV]
Tensao Nominal	(Uffn):	220.00 [V]
Corrente Nominal	(In) :	2.70 [A]
Relacao Ip/In	:	3.70 [pu]
Velocidade Nominal	(Nn) :	1140.00 [rpm]
Tempo de Partida	(Tp) :	8.00 [s]
Tempo de Rotor Bloq.	(TRB) :	10.00 [s]
Classe de Isolamento [A..F]:		B
Numero de Polos:		6.00 [1]
Relacao Ko:		0.50 [1]
Const. de Aquecimento (TA) :		12.50 [min]
Temperatura da Classe (Tc) :		120.00 [°C]

Equip. ligado

Hora: 09:21:41

F1	- Ligar
F2	- Desligar
F3	- Aquisitar
F4	- T,I= f(t)
F5	- Proteger
F6	- Calibrar
F7	- Motor
F8	- Circuitos
ESC	- Sair

Tela de dados do motor

Aquisicao Local		
Sinal	Canal	Ganho
Va	AD 0	1
Vb	AD 1	1
Vc	AD 2	1
Ia	AD 3	1
Ib	AD 4	1
Ic	AD 5	1
Da	AD 6	1
Db	AD 7	1
Dc	AD 8	1
Vel.	AD 9	1
MCS	DI 0	-
Rele A	DO 0	-
Diagno	DI 4	-

Aquisicao Remota		
Sinal	Canal	Ganho
S.M.D.	AD 10	1
MRX	DI 2	-
Rele A	DO 0	-
Diagno	DI 4	-
Numero de Aquisi. por Janela	20	-

Origem da Aquisicao

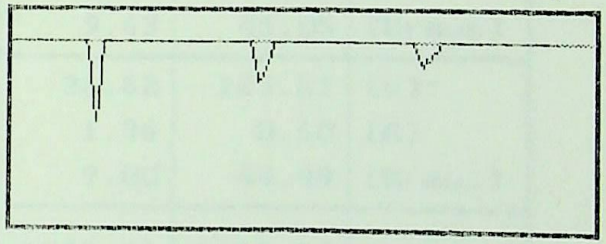
L - Local

R - Remota

Hora:
09:18:46
Tins[ms]:
154
Temp:
35.00

Base	0220 H
Rate 1	63
Rate 2	2
Media:	5

Busca Melhor Taxa de Recep.



Canais na Fibra	
Sinal	Canal
Va	1
Vb	2
Vb	3
Ia	4
Ib	5
Ic	6
Da	7
Db	8
Dc	9
Vel.	11
MCS	10
Diagno	12

MCS:	ON
MRX:	ON
MTX:	ON

Ligou Manual

Hora: 09:18:45

F1 - Ligar

F2 - Desligar

F3 - Aquisitar

F4 - τ,I= f(t)

F5 - Proteger

F6 - Calibrar

F7 - Motor

F8 - Circuitos

ESC - Sair

Tela das calibrações

Calibracao:

		Instr.	Aquis.	Consts.	Result.	
Fase A	Tensao :	63.50	1.70	37.04	125.68	[V]
	Corrente :	0.60	0.46	1.26	0.57	[A]
	Defasagem:	45.00	2.12	9.69	43.67	[Graus]
Fase B	Tensao :	63.50	1.76	35.82	126.03	[V]
	Corrente :	0.60	0.47	1.23	0.58	[A]
	Defasagem:	45.00	2.16	9.63	45.05	[Graus]
Fase C	Tensao :	63.50	1.72	36.62	125.81	[V]:
	Corrente :	0.60	0.44	1.36	0.60	[A]
	Defasagem:	45.00	2.22	9.00	44.48	[Graus]
	Velocidade:	1197.00	1.13	1029.38	1163.54	[rpm]

Relacoes dos TPs

TP	Up [Vac]	Us [Vac]	Rel.
A	127.00	63.50	2.00
B	127.00	63.50	2.00
C	127.00	63.50	2.00

Relacoes dos TCs

TC	Ip [Iac]	Is [Iac]	Rel.
A	5.00	5.00	1.00
B	5.00	5.00	1.00
C	5.00	5.00	1.00

Hora:
09:04:40
Tins [ms]:
118
Temp:
35.00

Ligou Manual

Hora: 09:04:35

- F1 - Ligar
- F2 - Desligar
- F3 - Aquisitar
- F4 - T,I= f(t)
- F5 - Proteger
- F6 - Calibrar
- F7 - Motor
- F8 - Circuitos
- ESC - Sair

- G - Grava Consts.
- L - Linear
- O - Polinomial

Fase A:	
Tensao : 126.0 [V]	
Corrente : 5.02 [A]	
Defasagem: 12 [Graus]	
Potencia Aparente: 633 [VA]	
Potencia Ativa : 620 [W]	
Potencia Reativa : 128 [VAr]	
f.p.: 0.979	

Fase B:	
Tensao : 126.5 [V]	
Corrente : 0.98 [A]	
Defasagem: 63 [Graus]	
Potencia Aparente: 124 [VA]	
Potencia Ativa : 57 [W]	
Potencia Reativa : 110 [VAr]	
f.p.: 0.460	

Fase C:	
Tensao : 125.7 [V]	
Corrente : 9.33 [A]	
Defasagem: 8 [Graus]	
Potencia Aparente: 1170 [VA]	
Potencia Ativa : 1159 [W]	
Potencia Reativa : 160 [VAr]	
f.p.: 0.991	

Hora:
10:14:58
Tins [ms]:
118
Temp:
39.43

Ligou Manual

Hora: 10:14:34

F1	- Ligar
F2	- Desligar
F3	- Aquisitar
F4	- V,I= f(t)
F5	- Proteger
F6	- Calibrar
F7	- Motor
F8	- Circuitos
ESC	- Sair

Calibracao das Protecoes							
Variavel	Pri	At.	No.	Funcoes	Faixas	[pu]	Real
Tensao	1	N	29	Subtensao Instantanea	[0.7 a 1.0].Ufn	0.99	114.32[V]
	2	N	59	Sobretensao Instantanea	[1.0 a 1.3].Ufn	1.05	133.37[V]
Corrente	3	N	50	Sobrecorr. Instantanea	[1.1 a 1.7].Ip	1.10	10.99[A]
	4	N	50N	Sobrecorr. Inst. Neutro	[0.05 a 1.0].In	0.10	0.27[A]
	5	N	51	Sobrecorr. Temporizada	[1.05 a 3.0].In	1.90	5.13[A]
	6	N	86	Tempo de Rotor Bloq.	[0.1 a 0.8].TRB	0.80	8.00[s]
	7	N	37	Subcorrente	[0.2 a 0.8].In	0.20	0.54[A]
	8	N	46	Reversao	[0.05 a 1.0].In	0.20	0.54[A]
	20			Reservado	-		
Veloc.	9	N	14	Subvelocidade	[0.7 a 1.0].Nn	0.85	969.00[r]
	10	N	12	Sobrevelocidade	[1.0 a 1.3].Nn	1.10	1254.00[r]
Temper.	11	N	49	Sobrecarga Termica	[1.05 a 3.0].In	1.60	4.32[A]
	12	N	26	Temperatura Admissivel	[0.9 a 1.1].Tc	1.00	120.00[o]

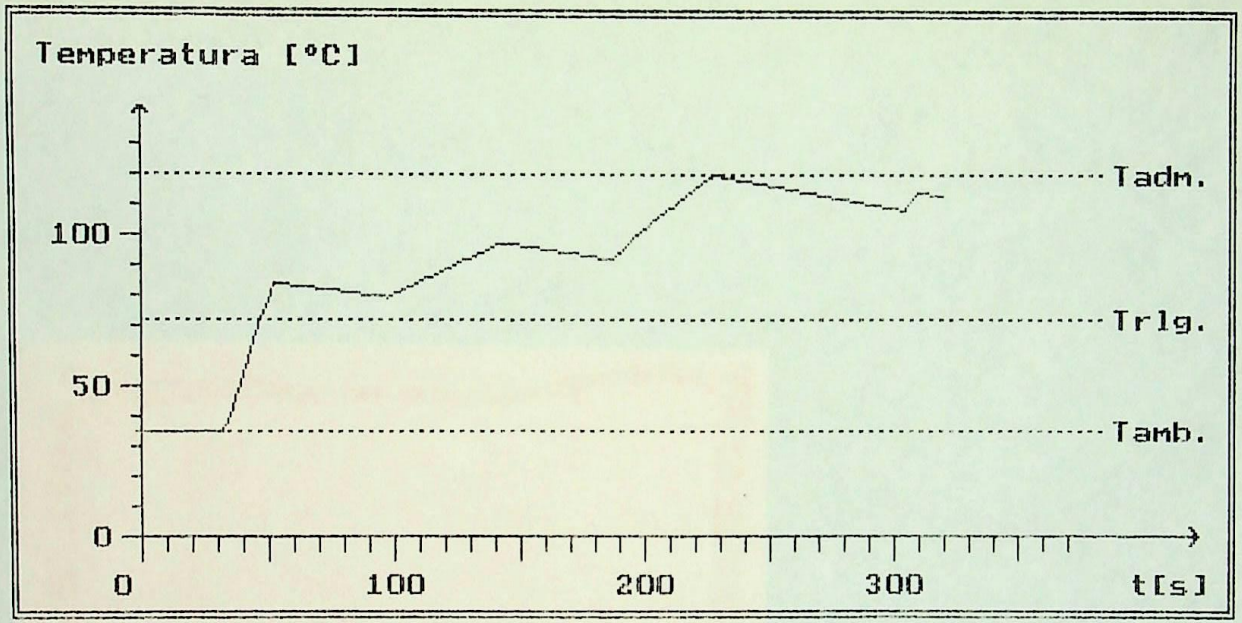
Calibracao dos Reles Auxiliares							
Eventos	Pri	At.	No.	Funcoes	Descricao	Ajustes	
Ciclo de Operacao	13	N	02	Partida Programada	Hora:	17:07:10 Hs	
	14	N	94	Parada Programada	Hora:	17:07:16 Hs	
	15	N	48	Partida Longa	[1 a 60].seg	3	[seg]
	16	N	44	Partidas Sequenciais	[1 a 3].P/Min	3	P/Min.
Rearme	17	N	79	Religamento por Tempo	[1 a 3].Tent.	3	tent.
	18	N	90T	Religamento por Temp.	Faixa	[pu]	Trelig.
					[0.6 a 0.89].Tc	0.89	106.80[o]
Alarme	19	N	30	Rele Anunciador	[1 a 10].seg	1	[seg]
	21			Reservado	-		

Hora:

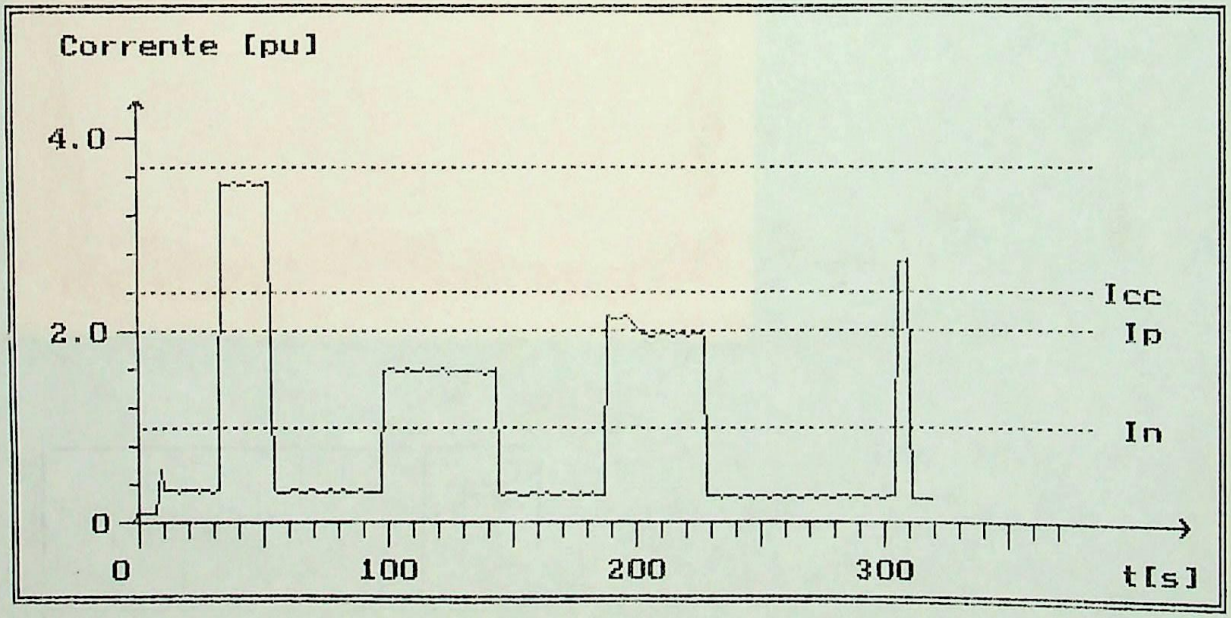
8:46:00

Deslig Manual

Hora: 08:35:55



Hora:
09:59:21
Tins[ms]:
100
Temp:
113.18



Ligou Manual

Hora: 09:54:09

F1	- Ligar
F2	- Desligar
F3	- Aquisitar
F4	- τ,I= f(t)
F5	- Proteger
F6	- Calibrar
F7	- Motor
F8	- Circuitos
ESC	- Sair

Tela do fluxo de carga e temperatura estimada no tempo

I V N . O
BIM - EFEI
DATA | Rubrica

EFEI

BIBLIOTECA MAUÁ

Esta publicação deverá ser devolvida dentro do prazo estipulado.

O leitor é responsável pela publicação em seu poder.

DATA 26 / 05 /19 95
PROC.
DED. Prof. Cogo
LIV.
R$ doação

EFEI - BIBLIOTECA MAUÁ
8200789
NÃO DANIFIQUE ESTA ETIQUETA