

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS E CONTROLE DE ENERGIA

Este exemplar corresponde à redação final da tese
defendida por Rudolf Ribeiro Riehl
e aprovada pela Comissão
Julgadora em 28 01 94
Orientador Ruppert

DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UM LABORATÓRIO INFORMATIZADO PARA
ESTUDOS TÉRMICOS DINÂMICOS DE MÁQUINAS ELÉTRICAS

Autor : RUDOLF RIBEIRO [RIEHL 444

Orientador : PROF. DR. ERNESTO [RUPPERT FILHO

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia
Elétrica da Universidade Estadual de
Campinas, UNICAMP, como parte dos requisitos
exigidos para a obtenção do título de MESTRE
EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

JANEIRO - 1994



Este trabalho é dedicado à minha família, especialmente à minha esposa Maria, pelo incentivo, apoio e compreensão e a meus pais, Paulo e Laureci, pela oportunidade que me deram para que mais esta etapa de minha vida fosse atingida.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ernesto Ruppert Filho, pela orientação e experiência transmitidas;

Ao amigo e Prof. Dr. Edwin Avolio, pelo conhecimento e experiência transmitidos e pelo apoio e atenção proporcionados;

Ao amigo e Prof. Dr. Gilio Aluisio Simone, pela sua atenção e dedicação;

Aos amigos Prof. M.Sc. Pedro da Costa Júnior, Prof. M.Sc. Marcelo Nicoletti Franchin e Prof. M.Sc. Humberto Ferasoli Filho, pelos ensinamentos e contribuições no desenvolvimento deste trabalho;

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia e Tecnologia da UNESP/BAURU, que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho;

Ao meu mestre e amigo Prof. M.Sc. Ivo Reis Fontes, pela sua paciência, amizade e inteligência, que sempre esteve presente nos problemas mais delicados deste trabalho, não medindo esforços para ajudar a encontrar a solução dos mesmos e, sendo o grande responsável pelo meu engrandecimento profissional.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um laboratório para estudos térmicos dinâmicos de máquinas elétricas.

Além das máquinas elétricas, da carga mecânica e dos equipamentos de controle, acionamento e de proteção, o laboratório possui um sistema de aquisição de dados de 12 bits, um sistema eletrônico de automatização do acionamento, sensores e um microcomputador.

A finalidade do mesmo é a de permitir a aquisição das temperaturas de diversas partes da máquina durante um ensaio dinâmico de maneira rápida, confiável, permitindo que os dados sejam armazenados no computador e manuseados através de programas adequados.

O desempenho do laboratório foi testado, através de ensaios de carga em máquina de indução, de acordo com os diversos regimes de funcionamento, apresentados pelas normas nacionais e internacionais de máquinas de indução.

Os resultados dos ensaios também foram comparados com resultados de simulações obtidos em outros trabalhos citados na bibliografia.

ABSTRACT

In this thesis it is shown the construction of an electrical machine laboratory to be used for thermal dynamic studies.

Besides the electrical machines, mechanical load and drive, control and electrical protection equipments, the laboratory comprises a 12 bits data acquisition system, an electronic drive automatization system, sensors and a microcomputer.

The laboratory will be used to allow for the fast and reliable temperature of several machine parts acquisition, allowing also for the storage of the data for handling by specific softwares.

The performance of the lab. was tested by induction motors load tests according to the duties presented on brazilian and international induction machines standards.

The tests results were also compared to simulation results done by other researches as shown in the references.

ÍNDICE

RESUMO

ABSTRACT

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....1

CAPÍTULO 2 - SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

2.1 - Introdução.....	3
2.2 - Conversão analógico-digital (A/D).....	6
2.2.1 - Multiplexador analógico.....	6
2.2.2 - "Sample and Hold" (Amostrador e Retentor)....	8
2.2.3 - Conversor analógico-digital.....	10
2.2.4 - Conversão do sinal.....	13
2.3 - Implementação da conversão analógico-digital....	15
2.3.1 - Multiplexagem dos sinais.....	16
2.3.2 - Etapa de amostragem e retenção.....	19
2.3.3 - Etapa de conversão do sinal.....	21
2.4 - Circuitos complementares do sistema de aquisição de dados.....	23
2.4.1 - Contador/Temporizador programável - 8254.....	24
2.4.2 - Conversão digital-analógico (D/A).....	24

CAPÍTULO 3 - CIRCUITOS COMPLEMENTARES

3.1 - Introdução.....	27
3.2 - Circuito de sensoriamento.....	28
3.2.1 - Sensores.....	28
3.2.2 - Sensor de temperatura.....	30
3.2.3 - Condicionamento de sinais.....	34
3.2.4 - Filtragem do sinal.....	37
3.3 - Circuito de controle de relés.....	39
3.3.1 - Introdução.....	39
3.3.2 - Circuitos optoacopladores.....	41
3.3.3 - Circuitos de relés.....	44

CAPÍTULO 4 - " SOFTWARE " PARA AQUISIÇÃO DE DADOS E AUTOMATIZAÇÃO DE ENSAIOS

4.1 - Introdução.....	50
4.2 - Fluxograma.....	51
4.3 - Subrotinas mais importantes.....	53
4.3.1 - Subrotina de aquisição de dados - SUBROTINA DADOS.....	54
4.3.2 - Subrotina de geração de interrupção - SUBROTINA AQUISIÇÃO, INTERRUPT.....	55
4.3.3 - Subrotina de acionamento de relés - SUBROTINAS LIGARELÉ e DESLIGARELÉ.....	56
4.3.4 - Subrotina para gravar dados - SUBROTINAS GRAVADADOS e GR_DADOS.....	57
4.3.5 - Subrotinas gráficas - SUBROTINAS LE_DADOS e GRAFICOS.....	58
4.3.6 - Subrotinas para planilhas - SUBROTINAS BIN_ASCNPTOS e PLANILHA.....	60
4.3.7 - Subrotina para calibração de relés - SUBROTINA SENSORES.....	61
4.4 - Um exemplo de ensaio.....	63

CAPÍTULO 5 - IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA EXPERIMENTAL E RESULTADOS

5.1 - Introdução.....	69
5.2 - Descrição do sistema experimental.....	69
5.3 - Ensaaios.....	71
5.3.1 - Regime S1 - Regime contínuo.....	72
5.3.2 - Regime S2 - Regime de tempo limitado.....	73
5.3.3 - Regime S3 - Regime intermitente periódico.....	74
5.3.4 - Regime S4 - Regime intermitente periódico com partidas.....	75
5.3.5 - Regime S5 - Regime intermitente periódico com frenação elétrica.....	77
5.3.6 - Regime S6 - Regime de funcionamento contínuo com carga intermitente.....	78
5.3.7 - Regime S7 - Regime intermitente com frenação elétrica.....	79

5.3.8 - Regime S8 - Regime de funcionamento contínuo com mudança periódica na relação carga / velocidade.....	80
5.4 - Resultados.....	82
5.4.1 - Regime S1.....	86
5.4.2 - Regime S2.....	90
5.4.3 - Regime S3.....	92
5.4.4 - Regime S4.....	93
5.4.5 - Regime S5.....	95
5.4.6 - Regime S6.....	96
5.4.7 - Regime S7.....	98
5.4.8 - Regime S8.....	99
5.4.9 - Ensaio não padronizados pelas normas.....	101
5.4.9.1 - Ensaio de rotor bloqueado a frio.....	101
5.4.9.2 - Ensaio de rotor bloqueado a quente.....	102
5.4.9.3 - Ensaio com partidas sucessivas.....	104
5.5 - Comparações.....	105
5.5.1 - Regime S1.....	106
5.5.2 - Regime S2.....	109
5.5.3 - Regime S4.....	112
 CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS.....	 116
 ANEXO 1 - PLACA DE AQUISIÇÃO DE DADOS - PARTE 1.....	 118
 ANEXO 2 - PLACA DE AQUISIÇÃO DE DADOS - PARTE 2.....	 119
 ANEXO 3 - CIRCUITOS DE SENSORIAMENTO.....	 120
 ANEXO 4 - CIRCUITOS OPTOACOPLADORES.....	 121
 ANEXO 5 - FOTOGRAFIAS DO SISTEMA EXPERIMENTAL.....	 122
 BIBLIOGRAFIA.....	 124

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Desenvolve-se nesta dissertação, um sistema de aquisição de dados para análise térmica de um motor de indução trifásico de rotor em gaiola.

O sistema de aquisição de dados tem a finalidade de sensoriar grandezas físicas, no caso presente, as temperaturas em diversas partes do motor, condicionando-as e enviando-as para um microcomputador que as tratará adequadamente, de acordo com os programas ("softwares") elaborados.

Desenvolveu-se também um sistema eletrônico de automatização de ensaios de ciclos térmicos estabelecidos e padronizados por normas nacionais [6], [7] e internacional [8].

Nos capítulos 2 e 3 são apresentadas descrições de todas as etapas que compõem o sistema de aquisição de dados, com todos os circuitos elétricos utilizados. São apresentados também, descrições de todos os circuitos do sistema de automatização de ensaios.

No capítulo 4 é apresentado o programa, escrito em linguagem Pascal, para o sistema de aquisição de dados ou seja, o "software" da placa de aquisição, incluindo também a parte de automatização dos ensaios.

Deve-se ressaltar que o programa permite a aquisição dos valores de temperatura e acionamento do motor em tempo real.

No capítulo 5 apresenta-se uma descrição do sistema elétrico implementado em laboratório, constituído de um motor de indução de rotor em gaiola, alimentado pela rede elétrica ou por um inversor de tensão, acionando um ventilador como carga. O sistema apresenta sensores de temperatura no motor e no ambiente que se

comunicam com as placas de aquisição de dados e de automatização dos ensaios. São apresentados resultados de ensaios para todos os ciclos de trabalho, apresentados nas normas técnicas já citadas, incluindo-se também ensaios de rotor bloqueado a quente e a frio, ensaios com acionamento através de inversor e ensaios com partidas sucessivas.

No capítulo 6 apresenta-se as conclusões e sugestões para novos desenvolvimentos.

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de produzir uma maneira direta e confiável para verificar resultados de simulações utilizando-se de modelos térmicos e elétricos de máquina de indução já desenvolvidos [2], [4], [5] e [9]. Apresenta-se também comparações dos resultados obtidos em laboratório com os apresentados em [1]. A parte experimental dos trabalhos mencionados foi realizada com instrumentos analógicos. Apesar dos resultados terem sido bons, houve problemas de precisão, dificuldades de leituras e gastou-se, na parte experimental, um tempo excessivamente grande.

O sistema desenvolvido pode ser utilizado na proteção elétrica e no acionamento de motores providos de sensores térmicos, podendo ser utilizado também nas empresas fabricantes de máquinas elétricas, em suas áreas de ensaios.

CAPÍTULO 2

SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

2.1 - INTRODUÇÃO

Sistemas de aquisição e conversão de dados (SAD) são a "interface" entre o mundo real (grandezas físicas) e o mundo artificial (grandezas no computador). Baseadas nos sistemas digitais, as funções de "interfaceamento" se tornaram muito importantes.

Os sistemas digitais são bastante utilizados por apresentarem circuitos complexos de baixo custo, precisão e implementação relativamente simples. Eles são rápidos quando se usam microcomputadores para desenvolver as funções de medição e controle do sistema.

Os sistemas de controle com realimentação computadorizada, são muito utilizados em instalações industriais melhorando muito a produtividade. Estes sistemas são empregados em diversos tipos de indústrias como : têxteis, metalúrgicas, celulose e papel e outras, onde para um perfeito controle, deve-se ter informações sobre o sistema ou seja, conhecer as grandezas físicas que atuam e influenciam no mesmo.

Estas grandezas, que são sinais analógicos, devem então ser convertidas em sinais digitais. Os circuitos que possibilitam a função de "interfaceamento" entre os sinais analógico - digital (A/D) e digital - analógico (D/A) são conhecidos como conversores de dados.

Além destes circuitos, num sistema de aquisição de dados há a necessidade de se trabalhar com circuitos complementares como sensores, multiplexadores, amplificadores de sinal, filtros e amostradores-retentores ("sample-hold") e outros.

A interconexão entre estes elementos pode ser observada no diagrama de blocos da figura 2.1, que representa um sistema de aquisição de dados tradicional.

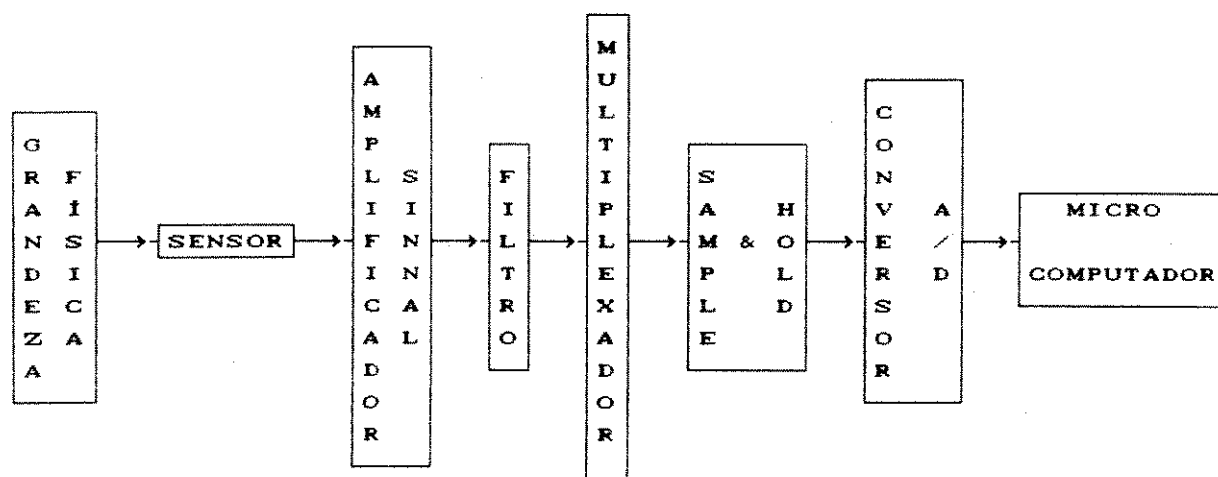


Figura 2.1 : Sistema de aquisição de dados tradicional.

A grandeza de entrada no sistema geralmente é uma grandeza física que deve ser analisada tais como : temperatura, pressão, posição, fluido, tensão, corrente e outros. Estas grandezas físicas são quantidades analógicas.

A grandeza física é transformada em um sinal elétrico (tensão ou corrente) proporcional ao seu valor, através de um sensor ou transdutor. O sinal é amplificado de forma a se adequar à faixa de utilização do sistema. A esta etapa de amplificação, dá-se o nome de condicionamento de sinal. O estágio de amplificação é necessário pois o sinal a ser analisado pode ser da ordem de microvolts ou milivolts e o sistema necessita de um sinal que possa variar de 0 V a + 10 V, de -5 V a + 5 V, ou numa outra faixa tradicional.

Depois de condicionado, o sinal passa por um filtro ativo tipo passa-baixa que reduz as interferências provenientes de sinais de alta frequência, ruído derivado de uma interferência

elétrica desconhecida ou ruídos eletrônicos de sinal. Assim, tem-se um sinal "praticamente" puro.

O sinal é agora enviado a uma das entradas de um multiplexador (chave analógica) que de forma sequencial, seleciona, dentre vários canais de entrada, o canal desejado.

Cada entrada selecionada é conectada à saída do multiplexador por um período de tempo especificado. Durante este período, um circuito amostrador-retentor ("sample-hold") adquire o sinal escolhido e mantém o seu valor constante enquanto o conversor analógico-digital o converte para a forma digital.

Já na forma digital, o sinal é enviado a um microcomputador através de um barramento de dados.

Utilizando-se um circuito digital, pode-se fazer a temporização e o controle total do sistema de aquisição de dados ou ainda utilizar o microcomputador para fazer este controle.

O sinal armazenado no microcomputador, na forma de arquivo, pode ser utilizado para várias finalidades : análise da grandeza física em questão, verificação do comportamento do sistema em relação a esta grandeza, atuação no sistema quando o mesmo não estiver tendo um desempenho satisfatório, geração de planilhas de dados e gráficos.

O sistema de aquisição de dados garante precisão na medição da grandeza, eliminando desta forma os instrumentos analógicos, os quais apresentam baixa precisão, além de eliminar a interferência humana, o que também ocasiona erros na leitura.

A seguir, os elementos componentes do sistema de conversão analógico-digital que são o multiplexador, o "sample-hold" e o conversor D/A, serão analisados. Os outros elementos serão estudados no capítulo posterior.

2.2 - CONVERSÃO ANALÓGICO - DIGITAL

2.2.1 - MULTIPLEXADOR ANALÓGICO

Este elemento, também conhecido por chave analógica, é um circuito com muitas entradas mas somente uma saída.

Na configuração tradicional (figura 2.1) é o primeiro elemento da etapa de conversão analógico-digital. Às suas entradas são conectadas às grandezas de interesse (temperatura, pressão e outras) já transformadas em sinais elétricos condicionados. Através de linhas de endereçamento pode-se selecionar qualquer entrada para a saída (figura 2.2).

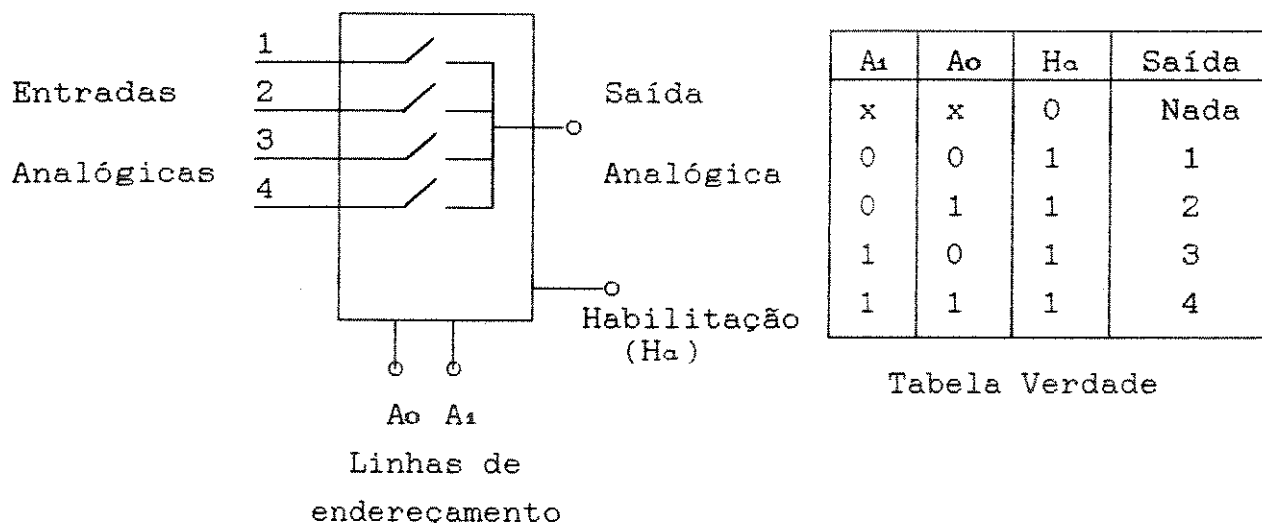


Figura 2.2 : Representação da operação de um multiplexador analógico de 4 entradas com sua tabela verdade.

Na ilustração da figura 2.2 tem-se um multiplexador formado por quatro chaves eletrônicas paralelas, conectadas a uma única linha de saída. Somente uma chave (entrada) é fechada por vez. Através da tabela verdade, observa-se que, enquanto a entrada

Habilitação estiver em nível baixo (0), para qualquer linha de endereçamento (A_1 , A_0), nenhuma entrada é entregue à saída. De acordo com a tabela verdade, as entradas são habilitadas a sair quando a porta de habilitação estiver em nível alto (1).

O multiplexador pode ter a sua saída conectada a um "sample-hold" ou a um amplificador de ganho unitário, que apresentam uma alta impedância de entrada. O multiplexador apresenta uma resistência de chave-ligada (R_{ON}) pequena que, geralmente está conectada a uma resistência série da fonte do sinal. Esta resistência equivalente é muito menor que a impedância acima citada, o que garante uma transferência precisa do sinal.

O erro de transferência do sinal, que é o erro entre a saída e a entrada do multiplexador, deve ser bem baixo em sistemas de aquisição de dados : da ordem de 0,01% a 0,1% em sistemas típicos.

A figura 2.3 apresenta o circuito equivalente de um canal de um multiplexador analógico quando a entrada 1 é selecionada.

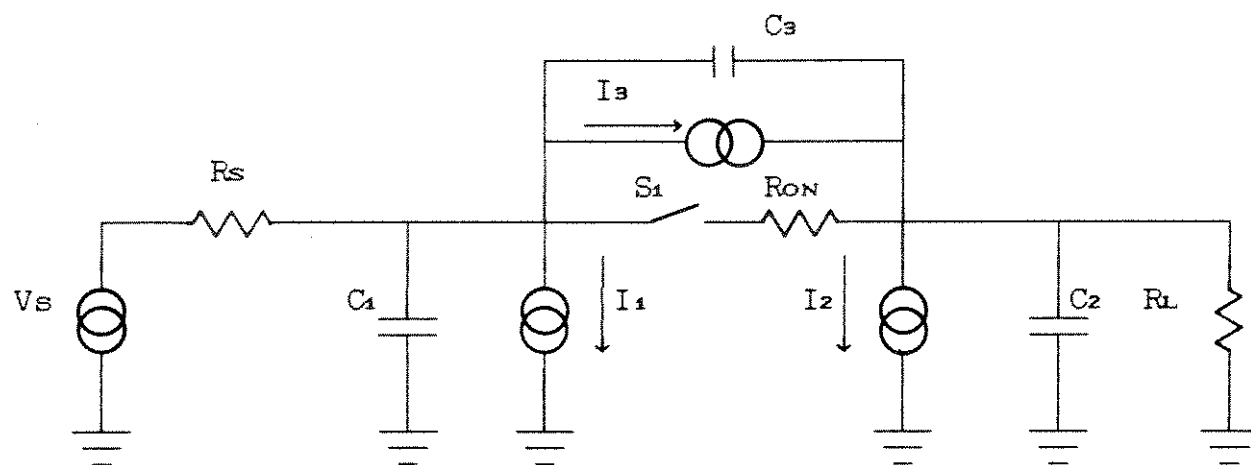


Figura 2.3 : Circuito equivalente de um canal do multiplexador analógico.

As capacitâncias C_1 , C_2 e C_3 e as correntes I_1 , I_2 e I_3 são especificadas nos dados de catálogo do multiplexador. As capacitâncias podem influenciar no tempo de fixação, isto é, tempo em que um canal fica ligado, e na atenuação do sinal ("crosstalk"). As correntes podem se tornar problemáticas em altas temperaturas [11].

2.2.2 - " SAMPLE AND HOLD " - (AMOSTRADOR E RETENTOR)

Estes dispositivos são bastante utilizados em processamento de sinais analógicos e em sistemas de conversão de dados, para armazenar e manter uma tensão analógica por um tempo que pode variar de microsegundos até vários minutos.

Esta capacidade de armazenamento e retenção tem muitas aplicações : em sistemas de distribuição de dados, em sistemas de aquisição de dados, em circuitos computacionais analógicos, em multímetros digitais, e outros.

Apesar dos "sample and hold" serem de concepção simples, a sua aplicação deve ser muito bem estudada. Em geral, aplicações que necessitam somente de baixa a moderada velocidade e precisão apresentam pequenos problemas mas, em aplicações que exigem alta velocidade e precisão, há a necessidade de circuitos mais bem desenvolvidos.

O "sample and hold" é basicamente um circuito de "memória de tensão" que armazena uma determinada tensão em um capacitor de alta qualidade. O circuito captura uma tensão amostrada e então, a "congela" por um período especificado, enquanto esta tensão é utilizada por algum outro circuito (figura 2.4a).

Uma chave eletrônica é ligada a um capacitor que é carregado com uma tensão de entrada, quando a chave é fechada. Quando a chave é aberta, o capacitor mantém a carga retendo-a por um período definido.

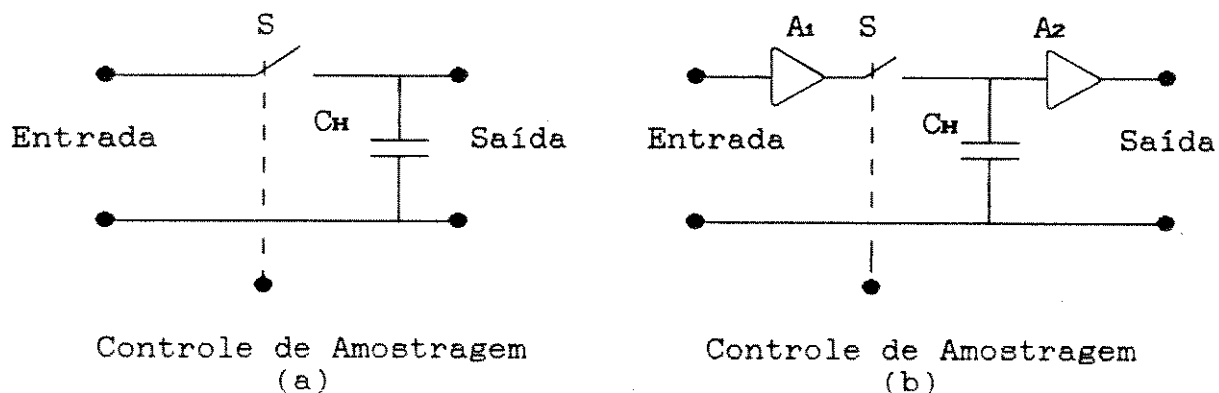


FIGURA 2.4 : Representação da operação de um amostrador-retentor.

Existem três importantes terminais no "sample-hold": entrada analógica, saída analógica e o controle de amostragem.

A figura 2.4b mostra o circuito completo de um "sample-hold" que inclui amplificadores de entrada e de saída e circuito para acionamento das chaves. Este circuito fecha a chave para o modo de amostragem e abre a chave para o modo de retenção.

Os terminais de entrada do "sample-hold" são geralmente a entrada de um amplificador de ganho A_1 , com uma alta impedância de entrada, de modo a reduzir os efeitos da impedância da fonte (multiplexador) e, sendo que a saída apresenta uma baixa impedância, possibilitando ao capacitor se carregar rapidamente.

A chave S é, geralmente, um FET (cuja característica é a de um chaveamento rápido). O capacitor C_H apresenta dielétrico de baixa permissividade relativa, do tipo teflon, poliestireno, polipropileno, permitindo que haja apenas uma pequena descarga.

O amplificador de saída A_2 funciona como um "buffer" de modo a manter a tensão no capacitor C_H . Assim, este amplificador deve ter uma baixa corrente de entrada, sendo utilizados amplificadores do tipo FET.

Quando se utiliza o "sample-and-hold" em sistemas de aquisição de dados, há a necessidade de se especificar qual deve ser o seu tempo de aquisição. Na figura 2.5 é dado um exemplo.

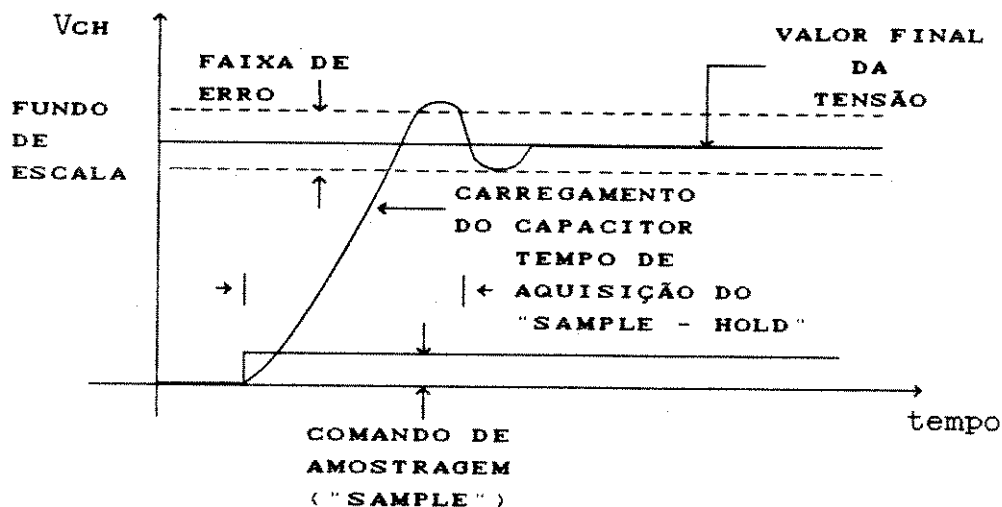


Figura 2.5 : Sinal em amostragem e retenção no "sample-and-hold".

O tempo de aquisição do "sample-and-hold" começa com o comando de amostragem ("sample") e termina quando a tensão sobre o capacitor de retenção ("hold") entra e permanece na faixa de erro especificada. Este tempo é definido para uma alteração da tensão máxima, medida no capacitor de retenção.

2.2.3 - CONVERSOR ANALÓGICO - DIGITAL

Como o próprio nome indica, a função do conversor analógico-digital (A/D) é a de converter um sinal de entrada analógico em um sinal digital equivalente. Desta forma, este sinal está adequado para ser admitido em um sistema digital.

Um conversor A/D é também conhecido como um "dispositivo de codificação", pois ele é usado para codificar sinais analógicos para entrarem em um sistema digital.

Os conversores A/D utilizam uma variedade muito grande de técnicas para a conversão na forma analógico-digital. A escolha de uma destas técnicas depende da precisão e velocidade de conversão desejadas. Dentre as várias técnicas, tem-se: conversão simultânea, método do contador, conversão contínua, conversão por aproximação sucessiva, conversão com declividade dual e outros.

Uma das técnicas de conversão mais utilizadas quando o sistema de aquisição de dados utiliza multiplexação de sinais é a conversão por aproximação sucessiva (figura 2.6) [11] e [19].

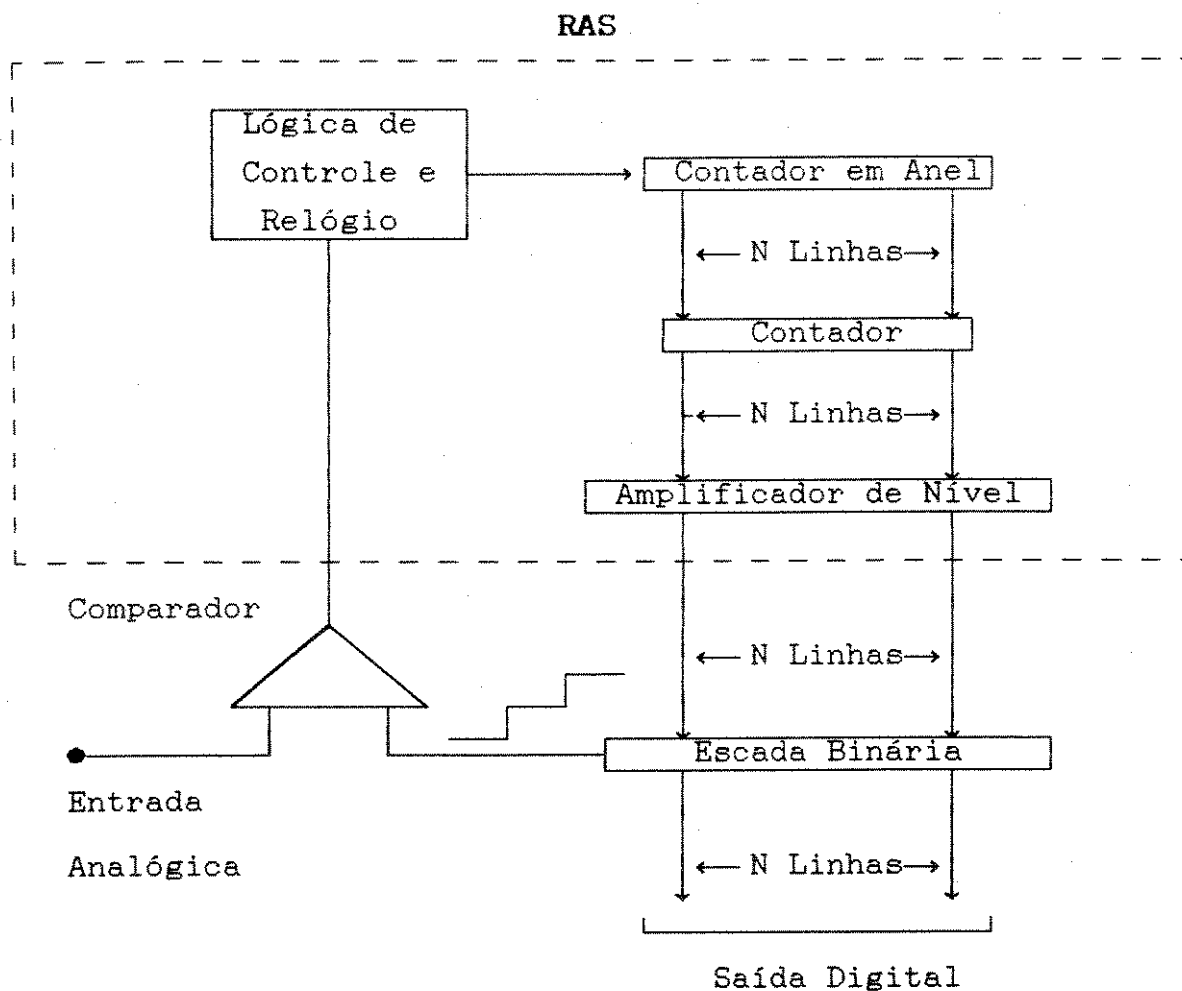


Figura 2.6 : Representação da conversão analógico-digital por aproximação sucessiva.

O conversor opera dividindo sucessivamente as faixas de tensão ao meio. O contador é colocado inicialmente, em nível baixo (0) e, em seguida, o bit mais significativo (MSB) é colocado em nível alto (1), sendo que a manutenção deste estado depende da saída do comparador. Em seguida, o segundo bit mais significativo é colocado em nível alto (1) e, da mesma forma a manutenção de seu estado, depende da saída do comparador. Este processo se repete até que o bit menos significativo (LSB) seja ajustado. Nesse instante, o número desejado está no contador. Como a conversão envolve a operação em um flip-flop por vez, começando com o bit mais significativo, pode ser usado um contador em anel para a seleção do flip-flop.

Desse modo, o método da aproximação sucessiva é o processo de aproximar a tensão analógica tentando 1 bit por vez, começando com o bit mais significativo. Esta operação pode ser vista na figura 2.7.

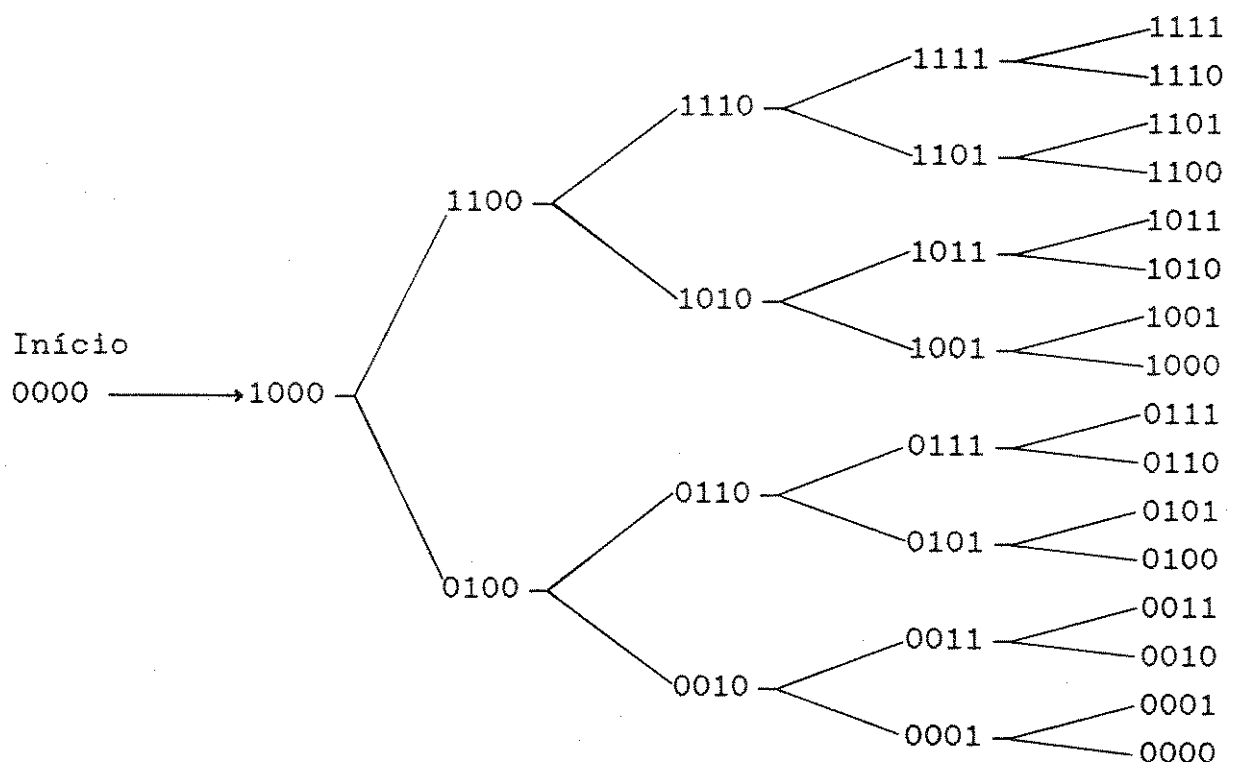


FIGURA 2.7 : Processo de aproximações sucessivas para conversão analógico-digital.

Pode-se ver a partir desse diagrama que cada conversão leva exatamente o mesmo tempo e requer um ciclo de conversão para cada bit. Desse modo, o tempo de conversão total é igual ao número de bits "n" vezes o tempo requerido para um ciclo de conversão. Um ciclo de conversão normalmente requer um ciclo do relógio, exemplo : um conversor A/D de 12 bits utilizando um relógio de 1 MHz, tem um tempo de conversão do sinal de 12 μ s.

Para a obtenção do tempo de conversão desejado, deve-se levar em conta os atrasos no sistema ou seja : tempo de comutação do multiplexador, tempo de ajuste da rede da escada, atraso do comparador e tempo de ajuste.

Todos os blocos lógicos dentro da linha tracejada da figura 2.6, são frequentemente construídos em uma única pastilha MSI, chamada registrador por aproximação sucessiva (RAS).

Um aspecto importante na definição de um conversor A/D, é a sua precisão. Nesta precisão incluem-se erros tanto no sistema analógico quanto no digital visto que o conversor é um sistema de malha fechada.

O erro digital aparece na própria digitalização de uma tensão analógica e existe, pois, uma tensão analógica contínua é representada por uma série equivalente digital. Esse erro inerente é frequentemente chamado de erro de quantização e é comumente ± 1 bit.

O erro analógico principal é proveniente do comparador. Outras fontes de erro analógico são : ondulação da fonte de tensão de referência e ruídos externos.

2.2.4 - CONVERSÃO DO SINAL

Na figura 2.8 está representada a etapa de conversão analógico-digital do sistema de aquisição de dados.

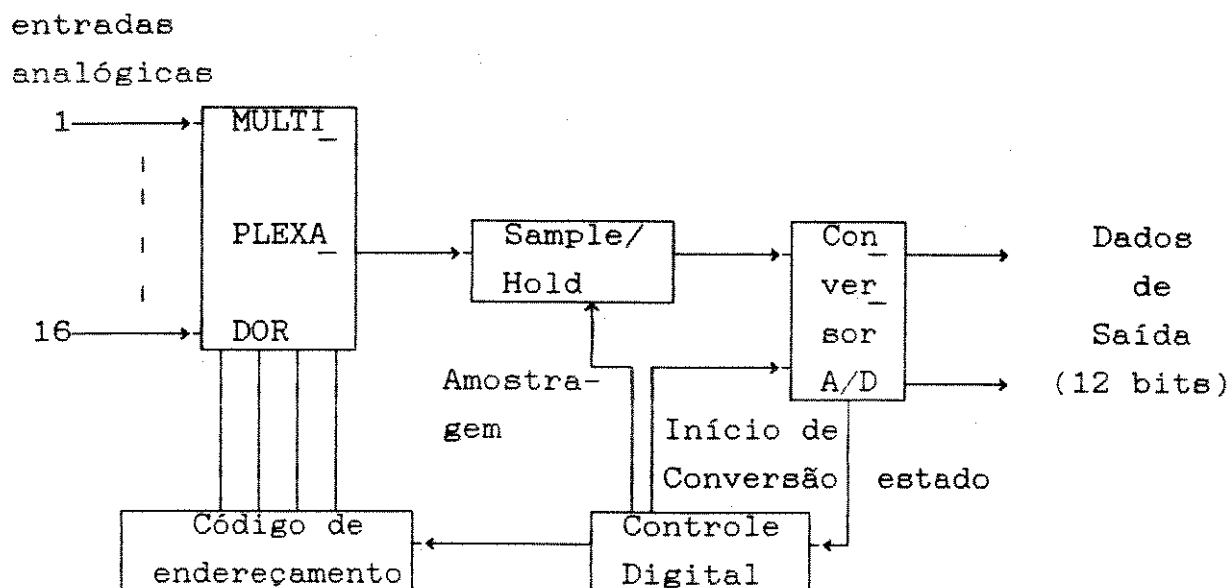


Figura 2.8 : Representação da conversão analógico-digital no sistema de aquisição de dados.

Um circuito lógico do controle digital seleciona um canal de entrada analógico do multiplexador, através do código de endereçamento. Para cada canal o "sample-hold" adquire o sinal de entrada e o habilita para o modo de retenção (hold).

Após o tempo definido de amostragem, um pulso de início de conversão dá início ao processo de conversão analógico-digital o qual é realizado pelo conversor A/D, que utiliza a técnica por aproximação sucessiva de 12 bits. Terminada a conversão, o estado de saída do conversor A/D vai para nível baixo.

Quando a conversão do canal selecionado termina, o multiplexador habilita outro canal, enquanto o registrador de saída do conversor A/D armazena, em memória temporária, a palavra digital obtida na conversão anterior. Esta palavra é enviada ao microcomputador através do barramento de dados. O processo de amostragem e conversão é repetido para cada canal de entrada do mutiplexador, na sequência estabelecida.

Na figura 2.9, T é o tempo necessário para a conversão do sinal analógico em digital. Portanto, $1 / T$ dá a frequência que o canal analógico pode ser varrido. A taxa de frequência para um sistema de aquisição de dados que utiliza um conversor A/D de 12 bits, pode variar de 20 kHz a 250 kHz correspondentes à faixa de variação do período T de 50 μ s a 4 μ s.

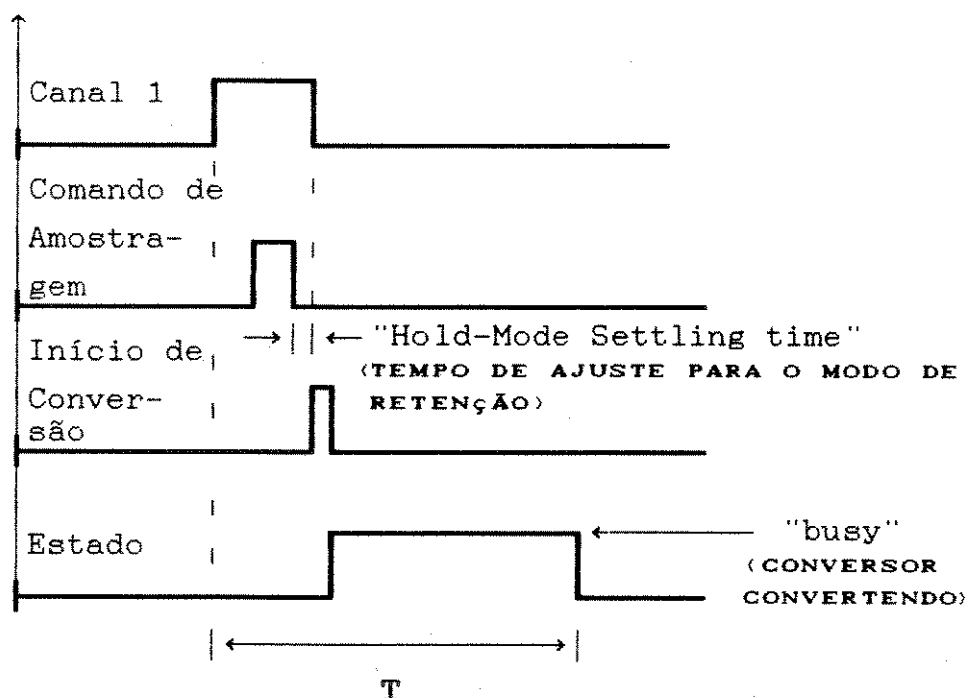


Figura 2.9 : Representação do tempo necessário T para a conversão do sinal analógico em digital.

2.3 - IMPLEMENTAÇÃO DA CONVERSÃO ANALÓGICO - DIGITAL

O protótipo do sistema de aquisição de dados desenvolvido neste trabalho apresenta a etapa de conversão analógico - digital, que é representada pelo diagrama de blocos (figura 2.10). Este diagrama de blocos está diretamente relacionado com o circuito esquemático da placa de aquisição de dados apresentada no Anexo 2.

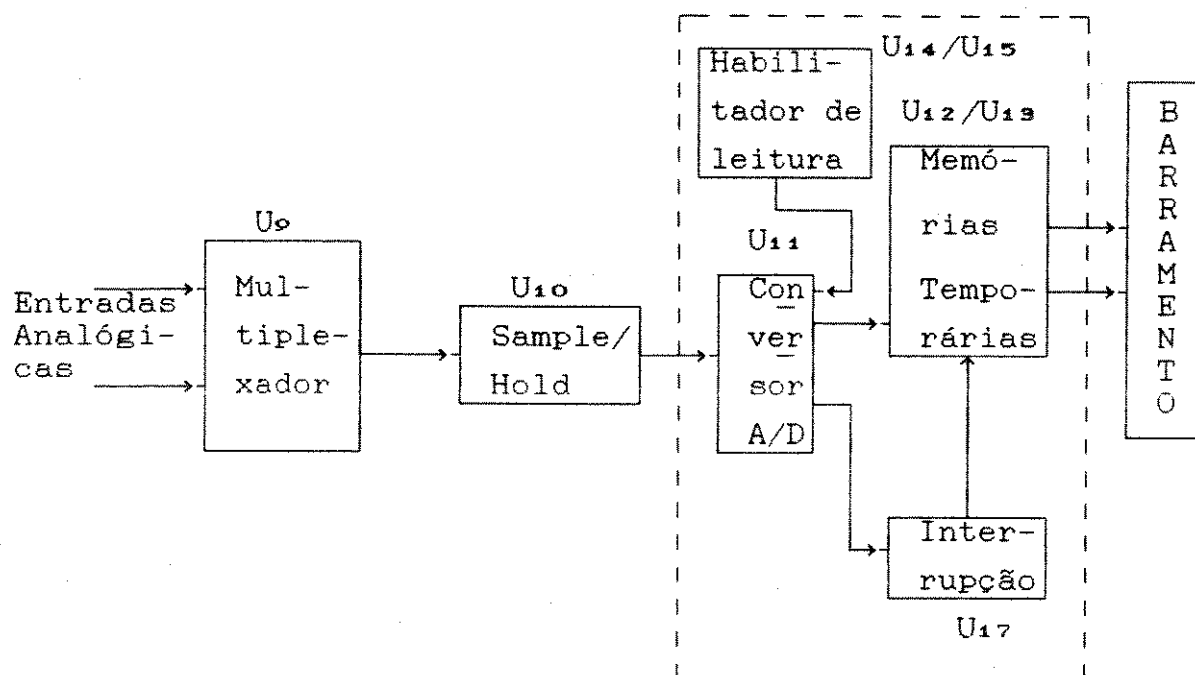


FIGURA 2.10 : Etapa de conversão analógico-digital.

A seguir, são especificados os componentes utilizados em cada etapa deste trabalho, bem como definido seu modo de operação dentro da conversão analógico-digital.

2.3.1 - MULTIPLEXAGEM DOS SINAIS

Esta etapa, representada pela unidade U_9 , utiliza o multiplexador ou chave analógica AD7506 da Analog Devices, com tecnologia CMOS a qual permite uma baixa dissipação de energia, durante o chaveamento dos canais de entrada, por outro lado, uma alta impedância de entrada (ordem de $10\ T\Omega$) garante uma ótima precisão dos sinais presentes nos canais de entrada analógica.

Este multiplexador apresenta 16 entradas analógicas simples, concentradas em um encapsulamento de 28 pinos. O chaveamento para uma saída comum de uma das 16 entradas depende do estado das linhas de endereçamento determinado pelos terminais A_0 , A_1 , A_2 e A_3 e pelo habilitador H_a (figura 2.11).

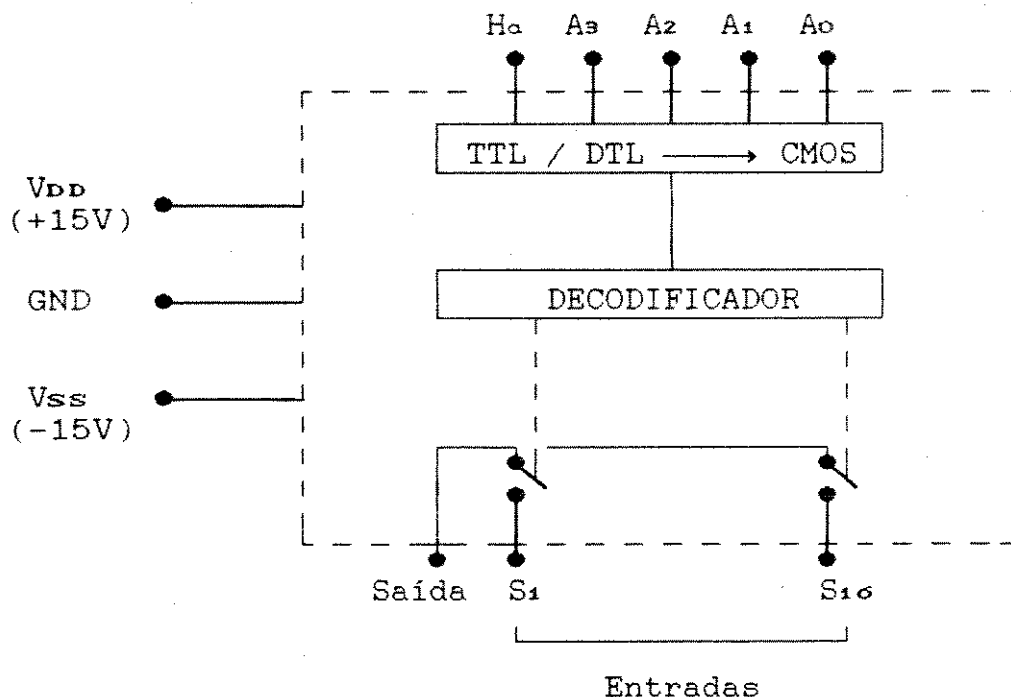


FIGURA 2.11 : Representação da etapa de multiplexagem dos sinais no SAD construído.

O multiplexador é totalmente compatível com dispositivos da família TTL / DTL (TRANSISTOR-TRANSISTOR LOGIC / DIODE-TRANSISTOR LOGIC).

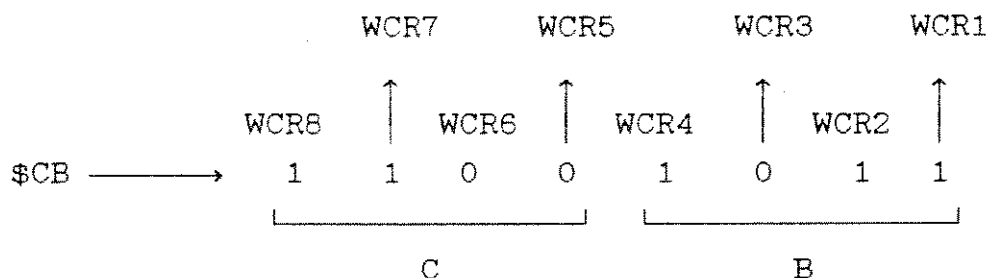
As linhas de endereçamento do multiplexador definidas pelos pinos 14 (A₃), 15 (A₂), 16 (A₁) e 17 (A₀) são combinadas para selecionar o canal de entrada analógica através dos sinais WCR3 (A₀), WCR4 (A₁), WCR5 (A₂) e WCR6 (A₃). Estes sinais estão disponíveis no barramento de dados do sistema e são gerados por uma placa decodificadora de entrada e saída (E/S), padrão IBM-PC de uso geral.

Através do software desenvolvido para o controle do sistema e a aquisição de dados, utilizando linguagem Pascal, que será discutido em capítulo posterior, a instrução para selecionar o canal 3 é do tipo:

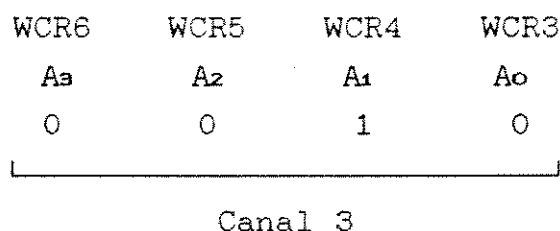
```
port[$30E]:=$CB
```

Esta instrução fornece o endereço (\$30E) onde deve ser escrita a informação \$CB. Tanto o endereço quanto a informação são números hexadecimais.

A informação \$CB habilita o canal 3 da seguinte forma:



Lembrando que os sinais e as linhas de endereçamento são:



Para que qualquer canal de entrada possa ser selecionado e entregue à saída do multiplexador, há a necessidade de que o habilitador ("enable"), pino 18 do multiplexador, esteja sempre em nível alto (+Vcc).

Uma vez selecionado o canal de entrada analógico, este é entregue à saída do multiplexador através do pino 28. Este pino está conectado diretamente à entrada +In (pino 2) da unidade U₁₀ ("sample-hold").

Como foi visto anteriormente, o multiplexador apresenta uma resistência série de saída baixa e o "sample-hold" uma alta impedância de entrada. Assim, praticamente todo o sinal presente no pino 28 do multiplexador é entregue ao pino 2 do "sample-hold", garantindo a precisão do sinal.

2.3.2 - ETAPA DE AMOSTRAGEM E RETENÇÃO ("SAMPLE-HOLD")

A unidade U_{10} (figura 2.10), formada pelo "sample-hold" AD583KHC da Analog Devices, representa esta etapa de amostragem e retenção do sinal (figura 2.12).

Este componente é um circuito integrado constituído de um amplificador operacional de alto desempenho, chave analógica de baixa perda e um amplificador operacional JFET. O circuito se completa com um capacitor de retenção C_H conectado externamente ao componente.

O valor da capacitância C_H depende da aplicação do "sample-hold". Em aplicações onde se necessita de alta velocidade de conversão e precisão, pode-se utilizar capacitores com capacitância inferior a 100pF.

Como exemplo, utilizando um capacitor C_H de 100pF, o tempo de aquisição do sinal para este "sample-hold" é de $6\mu s$.

Com a chave analógica S fechada, o "sample-hold" AD583 funciona como um amplificador operacional tradicional. O sinal de entrada, proveniente do multiplexador e disponível no pino $+IN$ (1) do "sample-hold", é aplicado ao capacitor C_H . Quando a chave S é aberta, o capacitor C_H está carregado com o último valor do sinal de entrada antes que a chave S fosse aberta. Este sinal está, então, disponível na saída do "sample-hold" para ser utilizado pelo conversor A/D.

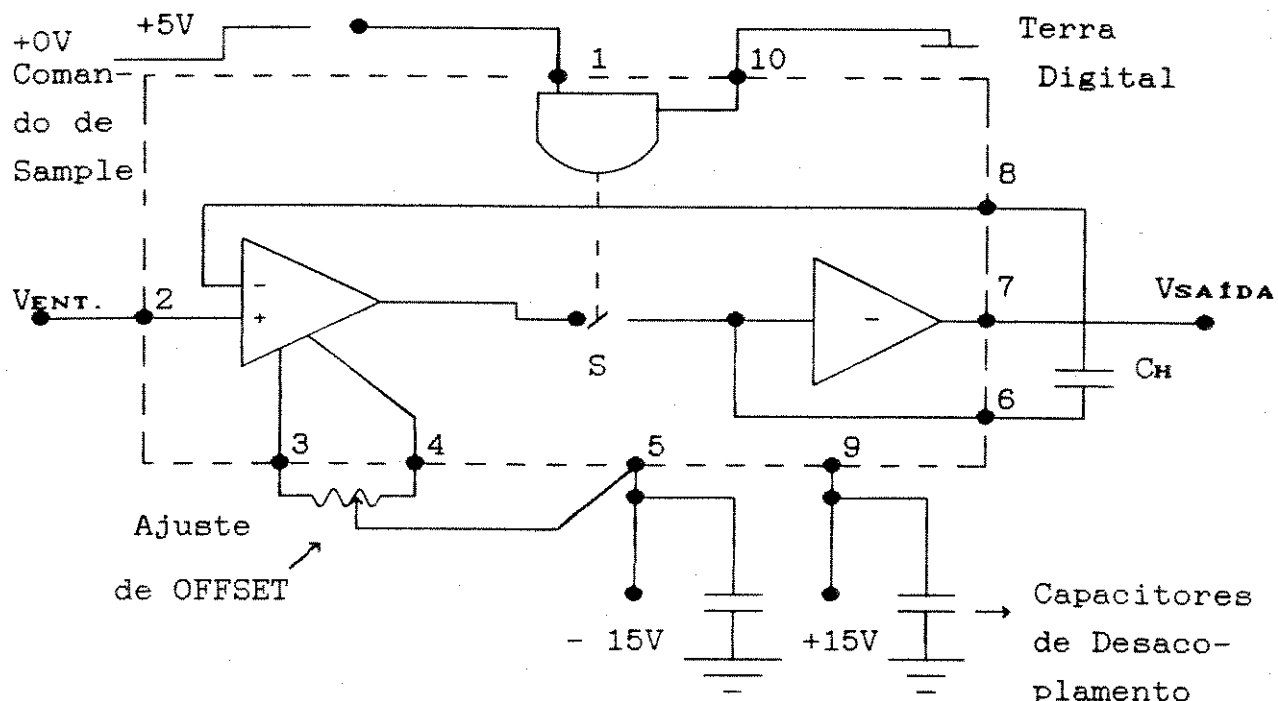


FIGURA 2.12 : Circuito elétrico do "sample-hold".

O sinal que faz esta operação de abrir e fechar a chave *S* é proveniente do pino 28 do conversor A/D (*U₁₁*), chamado de "Sample". Quando o "Sample" está em nível baixo a chave *S* é fechada e o capacitor *Ch* se carrega com o sinal de entrada. Quando o "Sample" está com nível alto, a chave *S* é aberta. Assim, o sinal armazenado no capacitor *Ch* é entregue à entrada do conversor A/D, iniciando o processo de conversão analógico-digital do sinal. Decorrido o tempo necessário para a conversão do sinal, o "Sample" vai novamente para nível baixo e o processo se repete.

O pino do "sample-hold" que recebe o sinal de "Sample" proveniente do conversor A/D, é o pino + *InLog* (1).

Uma forma de se melhorar a precisão do sinal, quando a aplicação exige, é a de se retirar a tensão de off-set do "sample-hold" através dos pinos 3 e 4, como pode ser observado na figura 2.12.

2.3.3 - ETAPA DE CONVERSÃO DO SINAL

No diagrama de blocos da figura 2.10, esta etapa é constituída pelas unidades:

- * U₁₁ - conversor analógico - digital (A/D)
- * U₁₂ e U₁₃ - memórias temporárias
- * U₁₇ - circuito gerador de interrupção
- * U₁₄ e U₁₅ - circuito habilitador de leitura

A unidade U₁₁ é formada pelo conversor analógico - digital AD674AJ da Analog Devices. Este conversor, de 12 bits, utiliza a técnica de conversão por aproximação sucessiva, descrita no item 2.2.3, apresentando a saída de dados em estado triplo (alta impedância) o que permite uma interface direta com o barramento de um microprocessador de 8 ou 16 bits.

Por apresentar uma tensão de referência de alta precisão e um circuito de relógio, internos ao circuito integrado, este conversor necessita apenas de tensões de alimentação e de sinais de controle para a operação do mesmo.

Os pinos de controle do conversor são : $\overline{CS}$ (03), A0(04), $R/\overline{C}$ (05), CE(06) e $12/\overline{B}$ (02) (Anexo 2).

Os sinais de controle CE, $\overline{CS}$ e $R/\overline{C}$ controlam a operação do conversor. O estado de $R/\overline{C}$, quando CE e $\overline{CS}$ estão ambos setados convenientemente, determina se há uma leitura de dados ($R/\overline{C} = 1$) ou uma conversão em andamento ($R/\overline{C} = 0$). Os registradores de entrada controlada A0 e $12/\overline{B}$ controlam o comprimento da conversão e o formato dos dados, respectivamente. Se a conversão é iniciada com A0 em nível baixo, inicia-se um ciclo de conversão de 12 bits. Se A0 está em nível alto, há um ciclo de conversão de 8 bits.

Durante a operação de leitura de dados, A0 determina se a saída de dados em estado triplo contém 8 bits mais significativos (A0 = 0) ou os 4 bits menos significativos (A0 = 1).

O pino de controle $12/\overline{8}$ determina se os dados de saída são em palavras de 8 bits ($12/\overline{8} = 0$) ou em 12 bits ($12/\overline{8} = 1$). No modo 8 bits, o byte de endereçamento, quando A0 é alto, apresenta os 4 bits menos significativos (LSB) zerados. Este procedimento permite que as linhas de dados sejam diretamente ligadas a um barramento de 8 bits sem a necessidade de se utilizar "buffers" em estado triplo.

Um sinal de saída, STS (pino 28), indica o estado em que se encontra o conversor. STS vai para nível alto quando a conversão do sinal é iniciada e retorna para nível baixo quando o ciclo de conversão é completado.

Os pinos de controle do conversor A/D apresentam, neste trabalho os seguintes níveis de controle, que podem ser observados no Anexo 2:

PINO	NÍVEL
$12/\overline{8}$ (02)	1 (Vcc)
$\overline{CS}$ (03)	0 (GND)
A0 (04)	0 (GND)
$R/\overline{C}$ (05)	WCR7
CE (06)	1 (Vcc)

Estes níveis de controle permitem que sejam iniciadas conversões de 12 bits e as palavras de saída também sejam em formato de 12 bits.

O pino $R/\overline{C}$, que determina o tipo de operação do conversor (leitura do dado ou conversão), é controlado pelo sinal WCR7. Quando ocorre uma transição negativa (nível baixo) em $R/\overline{C}$ através de WCR7, dá-se o início da conversão. Após esta transição, o nível em $R/\overline{C}$ retorna para alto permitindo que a saída do dado convertido seja habilitado na forma de uma palavra de 12 bits.

Enquanto o sinal está sendo convertido, o pino STS (28) está em nível alto. Finalizada a conversão, STS vai para nível baixo, fazendo com que uma transição positiva seja aplicada aos

pinos CLK (11) das memórias temporárias U₁₂ e U₁₃, permitindo que o dado convertido disponível na saída do conversor seja transferido para estas unidades (U₁₂ e U₁₃).

Simultaneamente, é gerada uma interrupção para o microprocessador através do sinal IRQ da unidade U₁₇.

Após esta interrupção, a rotina de interrupção do programa de aquisição de dados, apresentado no Capítulo 4, faz a leitura dos dois bytes das unidades U₁₂ e U₁₃. Assim que é realizada a leitura do primeiro byte, o sinal IRQ é levado a nível baixo, zerando a unidade 17, habilitando a geração para uma nova interrupção.

Assim que a rotina de tratamento de interrupção procede à leitura dos dados contidos nos 2 bytes das memórias temporárias, o programa aplicativo gera um novo início de conversão de acordo com a temporização estabelecida, sendo que este processo se repete até que o dado do último ponto do ensaio seja coletado.

2.4 - CIRCUITOS COMPLEMENTARES DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

No sistema de aquisição de dados implementado, existem ainda duas etapas que não são utilizadas neste trabalho.

Estas etapas serão aproveitadas em trabalhos posteriores onde poderão ser feitas análises não só da temperatura, mas também, de outras grandezas importantes inerentes à máquina elétrica ou, em outros tipos de aplicação onde há a necessidade de um sistema de aquisição de dados.

As etapas complementares, apresentadas no Anexo 1, são formadas pelas unidades:

- a) U₃ - Contador/Temporizador;
- b) U₄ - Conversor Digital-Analógico D/A;
- c) U₅, U₆, U₇ e U₈ - Unidades Auxiliares.

2.4.1 - CONTADOR/TEMPORIZADOR PROGRAMAVEL - 8254

Esta unidade (U₃) utiliza o circuito integrado 8254 Intel para receber os sinais provenientes de um " encoder " (medidor de posição e velocidade). Geralmente os " encoders " industriais fornecem dois pulsos de sinais; um obtido através da contagem destes pulsos no sentido horário da rotação e, o outro, no sentido anti-horário.

Com estes dois sinais entregues agora às entradas do CI8254, pinos 11 (enc₂) e 14 (enc₁), torna-se possível fazer a medição de duas grandezas; velocidade e posição. A velocidade é obtida através da leitura de um dos sinais (enc₁ ou enc₂), tendo como referência uma base de tempo gerada pelo próprio CI8254 através do pino 18 (clock). A posição é obtida através da diferença entre estes dois sinais.

2.4.2 - CONVERSÃO DIGITAL-ANALÓGICO (D/A)

As unidades U₄, U₅, U₆, U₇ e U₈ formam esta etapa de conversão digital-analógico.

O conversor digital-analógico é um circuito pelo qual o computador se comunica com o mundo " real ". Este conversor D/A tem uma vasta aplicação, principalmente no controle de processos industriais e, este conversor também é encontrado dentro de um conversor analógico-digital (A/D), onde tem a função de controlar, comparar e converter o sinal analógico entregue à entrada do conversor A/D.

A conversão digital-analógico é um processo simples e consideravelmente mais fácil do que a conversão analógico-digital. Para se fazer esta conversão, pode-se utilizar duas técnicas: divisor resistivo ou escada binária (R-2R).

O conversor digital-analógico utilizado no sistema de aquisição de dados (U₄) é o AD7547KN da Analog Devices, que apresenta, entre outras características : a) dois conversores D/A de 12 bits: o que permite dois canais de saída analógica, b) conversão D/A por escada binária (R-2R).

A escada binária é uma rede resistiva cuja tensão de saída é a soma compensada, convenientemente, das entradas digitais. É na rede resistiva que ocorre a conversão verdadeira de um sinal digital para uma tensão analógica. Entretanto, existe a necessidade de circuitos adicionais para completar o projeto de um conversor digital-analógico (D/A).

A figura 2.13 mostra um conversor digital-analógico (D/A) simplificado, que utiliza na saída da escada binária, um amplificador de nível de modo que a tensão de saída $V_{saída}$ é igual à tensão de entrada V_{ent} .

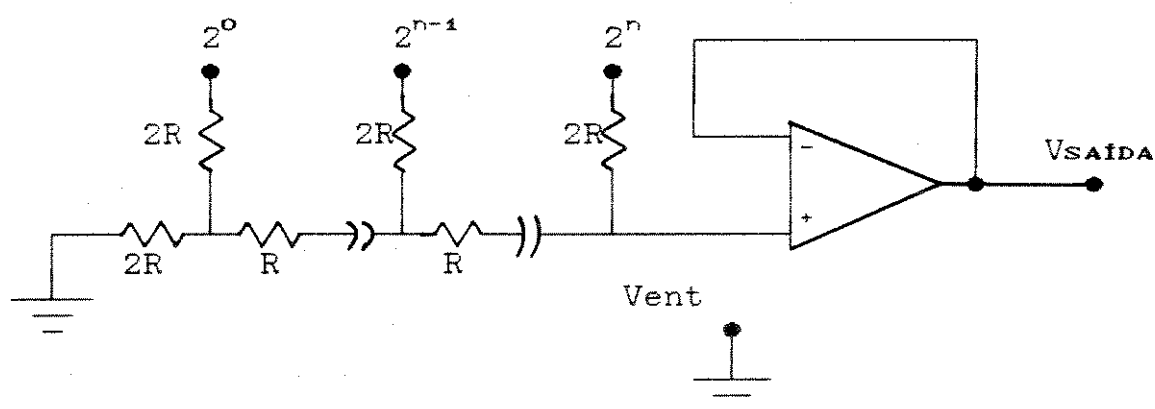


FIGURA 2.13 : Circuito elétrico do conversor D/A.

Outros circuitos devem ainda completar o processo de conversão digital-analógico como : um registrador que é utilizado para armazenar a informação digital (Flip-Flops RS) e amplificadores de nível entre o registrador e a rede resistiva, de modo a assegurar que os sinais digitais apresentados à rede sejam todos do mesmo nível e constantes. Também devem existir portas de entrada do registrador, de modo que os Flip-Flops

possam ser ativados com a própria informação do sistema digital. O diagrama de blocos da figura 2.14 mostra o esquema completo para um conversor digital-analógico (D/A).

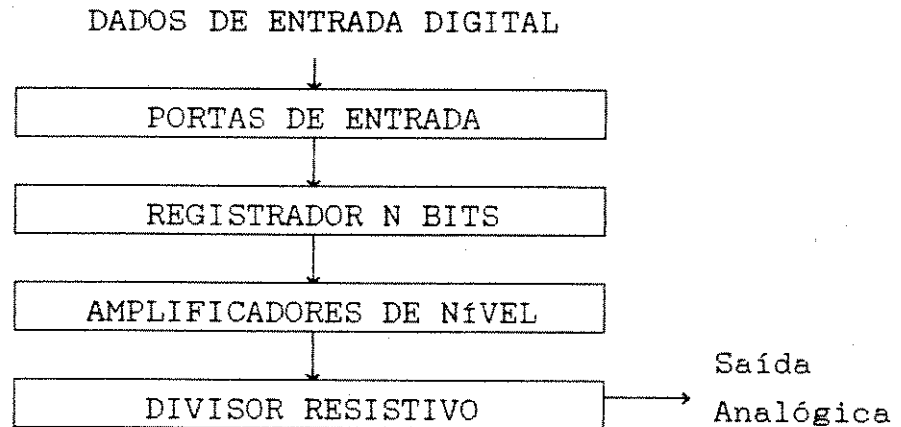


FIGURA 2.14 : Composição de um conversor D/A.

Todos estes circuitos são internos ao conversor digital-analógico. As unidades U_{5A} e U_{5B} são os amplificadores de nível de saída cujas funções são a de manter a tensão de saída igual à tensão de entrada como visto na figura 2.14. As unidades U_6 , U_7 e U_8 servem para gerar uma tensão de referência (V_{REF}) a ser utilizada pelo conversor digital-analógico através dos pinos 4 (V_{refA}) e 21 (V_{refB}).

CAPÍTULO 3

CIRCUITOS COMPLEMENTARES

3.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados os circuitos que complementam o sistema de aquisição de dados e controle. São utilizados dois circuitos básicos : a) circuito de sensoriamento, b) circuito de controle de relés.

O circuito de sensoriamento é dividido em dois estágios. O primeiro estágio tem a função de adequar o sinal de temperatura, já convertido em sinal elétrico (tensão) através de sensores de temperatura, à faixa de tensão analógica de entrada do conversor analógico - digital. Esta fase é conhecida por condicionamento de sinais.

O segundo estágio é formado por um filtro ativo passa-baixa de segunda ordem, com o objetivo de eliminar ou, pelo menos atenuar, sinais indesejáveis de alta frequência (ruídos) que se somam ao sinal de temperatura condicionado. Uma vez filtrado, o sinal é levado à entrada de um dos canais analógicos do multiplexador.

O circuito de controle de relés também é formado por duas etapas. Na primeira etapa são utilizados optoacopladores para isolar eletricamente o circuito de comando de relés do circuito de potência do sistema onde estão inseridos os relés.

A segunda etapa é formada pelos relés, propriamente ditos. Estes relés se destinam ao acionamento dos contadores empregados no circuito de potência, realizando operações de partida, parada e frenagem do motor de indução, seleção da tensão/frequência de alimentação e outras aplicações que serão vistas no decorrer deste capítulo.

Os dois circuitos dotam o sistema de uma grande versatilidade. No circuito de sensoriamento podem ser manipuladas diversas grandezas físicas bastando que se faça o condicionamento dos sinais de forma conveniente. O circuito de controle de relés, além de se prestar às possibilidades anteriormente citadas, pode também ser utilizado em outras aplicações de automatização do sistema.

3.2 - CIRCUITO DE SENSORIAMENTO

3.2.1 - SENSORES

Uma importante aplicação da eletrônica é a medição de grandezas físicas como : posição, temperatura, pressão, etc. Para que se possa ter acesso a seus valores, utilizam-se dispositivos denominados sensores ou transdutores.

O sensor ou transdutor [11] é um dispositivo que converte o valor de uma grandeza física medida, em um sinal elétrico (figura 3.1).

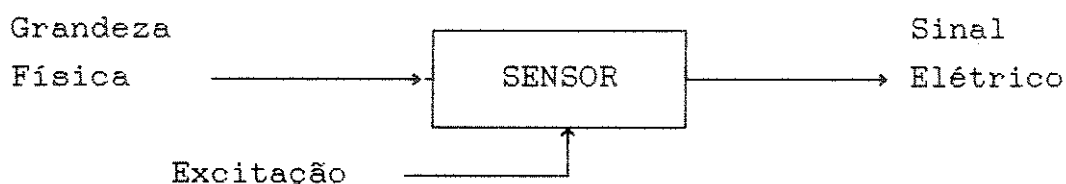


Figura 3.1 : Diagrama que representa um sensor.

As funções básicas de um sensor são : a) sentir a presença, a amplitude, as variações e a frequência de alguma grandeza que está sendo medida, b) produzir uma saída elétrica que, quando devidamente processada e aplicada a um circuito de leitura, forneça valores precisos da medida.

Um sensor ou transdutor é geralmente classificado de acordo com seu princípio elétrico ou com o tipo de aplicação, que depende da grandeza física a ser medida, suas propriedades e condições em que esta deva ser medida.

Um sensor, de acordo com seu princípio elétrico, pode ser classificado em :

a) **Sensor passivo** : é um sensor que necessita de uma fonte externa para fazer a conversão. Seu sinal de saída é proporcional à variação de uma resistência elétrica ou de uma capacitância. Pode-se citar como exemplos de sensores passivos : a.1) " Strain gage " : é um sensor que é composto por uma resistência de fio, chapa metálica ou um semicondutor de pressão. É utilizado para medir peso, força, conjugado, variações de pressão, a.2) Termômetro resistivo : composto por um fio elétrico ou termistor cujo material apresenta alto coeficiente de temperatura. Aplica-se onde se deseja medir temperatura, a.3) Sensor de Efeito Hall : Neste sensor um campo magnético produzido pela corrente a medir interage com uma corrente de alimentação em um material, condutor ou semicondutor, produzindo uma tensão proporcional à corrente a ser medida. Este sensor é utilizado para medir corrente elétrica e fluxo magnético.

b) **Sensor auto-excitado** : É um sensor que não necessita de excitação externa. Este sensor produz uma tensão ou corrente analógica quando estimulado por alguma forma de energia. Pode-se citar como exemplos de sensores auto-excitados : b.1) Célula Fotovoltáica : construída com uma camada semicondutora ou um transistor que gera uma tensão quando excitada por luz. Este tipo de sensor é utilizado em medições de exposição de luz, bateria solar, etc, b.2) Termopar : constituído de duas lâminas metálicas de diferentes materiais soldadas entre si, que ao se dilatarem produzem uma diferença de potencial entre elas. Com estes sensores pode-se medir temperatura, radiação, aquecimento.

Para se escolher o sensor mais adequado a um tipo de aplicação é necessário estabelecer algumas condições : a) Faixa de Operação : o sensor deve operar dentro da faixa

determinada, mantendo uma boa precisão, b) Sensibilidade : o sensor deve ser sensível o bastante para permitir uma saída proporcional ao valor da grandeza que se está medindo, c) Tempo de resposta : inércia da grandeza a ser medida, d) Compatibilidade com o meio : temperatura a que o sensor pode ser submetido, líquidos corrosivos, ambientes agressivos, etc, e) Precisão : o sensor pode estar sujeito a erros de repetitividade e calibração, assim como a erros esperados devido à sua sensibilidade, f) Conexão : comprimento e tipo de cabos utilizados podem produzir queda de tensão e relação sinal-ruído alta.

3.2.2 - SENSOR DE TEMPERATURA

Neste trabalho, onde se analisa o comportamento térmico de um motor de indução trifásico, a grandeza física que se deseja analisar é a temperatura.

A medição de temperatura requer alguns cuidados pois ela pode ser facilmente influenciada por fatores externos aos sensores ou pela inércia térmica inerente ao próprio sistema.

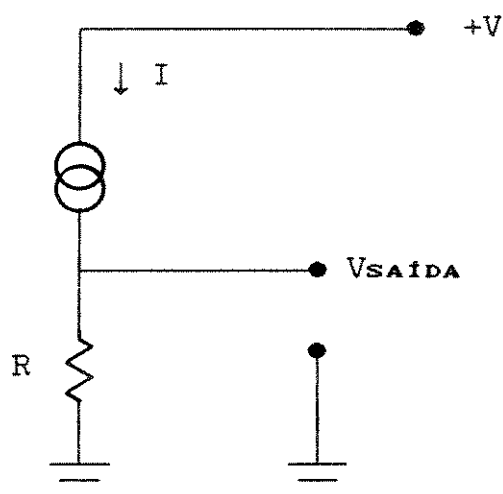
O comportamento térmico de um motor de indução, pode ser avaliado através da colocação de sensores de temperatura, tanto no estator quanto no rotor da máquina. Para isto, a definição do tipo de sensor de temperatura mais conveniente obedece, basicamente, a quatro condições impostas pelo projeto : a) **Dimensão do sensor** : o sensor deve possuir uma dimensão mínima pois é colocado em pontos onde ocorrem valores críticos de temperatura com restrições dimensionais, b) **Linearidade e precisão** : a precisão do sensor é fundamental para um bom desempenho do sistema de medição. O sensor deve apresentar curva característica o mais linear possível, evitando assim, a utilização de circuitos compensadores o que, com certeza, tornaria o sistema menos preciso, c) **Faixa de variação de temperatura** : o sensor deve operar dentro de uma faixa de temperaturas coerente com a temperatura a se medir, d) **Tempo de**

resposta : o tempo de resposta do sensor de temperatura torna-se importante pois, permite que possam ser realizadas medidas de temperaturas em intervalos de tempo tão pequenos quanto necessário, facilitando a análise do comportamento térmico do motor em regime transitório.

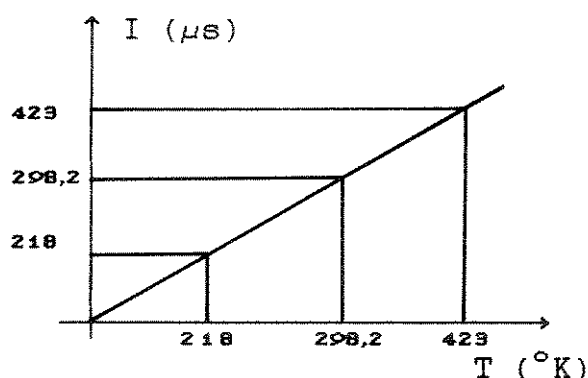
Considerando as condições citadas acima para a escolha do sensor e, realizando pesquisas bibliográficas em catálogos de componentes eletrônicos, escolheu-se o sensor de temperatura AD590JH fabricado pela Intersil.

Este sensor é um circuito integrado com encapsulamento metálico, com dois terminais ($\pm$), que produz uma corrente de saída proporcional à temperatura absoluta ($^{\circ}\text{K}$). O componente trabalha como um regulador de corrente de alta impedância, recebendo $1\text{ }\mu\text{A}/^{\circ}\text{K}$, de uma fonte de alimentação cuja tensão varia entre $+4\text{ V}$ e $+30\text{ V}$. Resistores variáveis, internos à pastilha semicondutora, são utilizados para calibrar o componente para uma corrente de saída de $298,2\text{ }\mu\text{A}$ em $298,2\text{ }^{\circ}\text{K}$ ($+25\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Como pode ser observado na figura 3.2a, o circuito para a obtenção das temperaturas, utiliza apenas uma fonte de tensão constante em corrente contínua, um resistor de precisão e o sensor, propriamente dito.



(a)



(b)

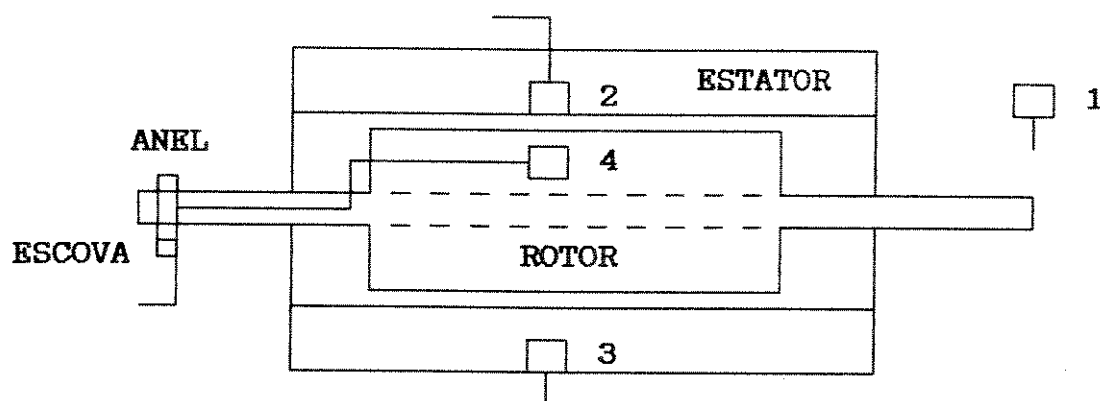
Figura 3.2 : Circuito elétrico do sensor AD590JH com sua curva característica.

Este circuito fornece a temperatura em graus Kelvin que pode ser lida diretamente sobre o resistor, utilizando um voltímetro digital. A relação entre a temperatura do sensor e a corrente obtida é linear para a faixa de temperatura apresentada na figura 3.2b, não havendo portanto, a necessidade de circuitos compensadores.

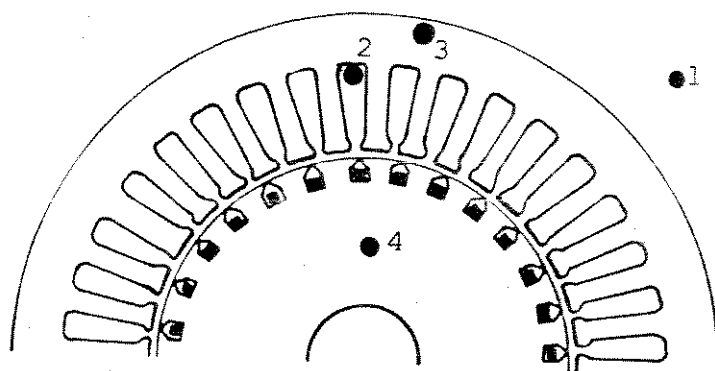
Este sensor é utilizado, particularmente, em situações onde o ponto a ser sensoriado e o circuito de leitura estão distantes. Isto se torna possível pois o componente é insensível às quedas de tensão ao longo dos condutores, por apresentar uma alta impedância, para a corrente de saída. Um bom isolamento dos terminais do AD590JH, garante uma operação satisfatória para algumas dezenas de metros entre o sensor e o circuito de leitura.

No trabalho em questão, são utilizados quatro sensores AD590JH para medir as seguintes temperaturas : a) ambiente, b) no enrolamento do estator, c) no pacote de chapas do estator, d) no pacote de chapas do rotor (paralelo ao eixo).

A localização destes sensores no motor de indução é mostrada nas figuras 3.3 (a e b).



(a)



(b)

Figura 3.3 : Distribuição dos sensores de temperatura no motor de indução :

- 1 - Sensor para medir a temperatura ambiente
- 2 - Sensor para medir a temperatura no enrolamento do estator
- 3 - Sensor para medir a temperatura no pacote de chapas (núcleo) do estator
- 4 - Sensor para medir a temperatura no pacote de chapas (núcleo) do rotor

A colocação do sensor no rotor requer o uso de anéis e escovas. Desta forma, os terminais do sensor estão ligados aos anéis e, através das escovas, ligados nos respectivos circuitos de medição.

Como já foi mencionado, pelo fato do sensor ser insensível às quedas de tensão, mesmo que existam pequenas quedas provenientes do sistema anel - escova, a leitura final da temperatura não será alterada.

A seguir são descritas algumas das principais características do sensor de temperatura AD590JH - Intersil:

- * faixa de operação : - 55 °C a + 200 °C;
- * corrente nominal de saída : 298,2 μ A/ 298,2 °K;
- * coeficiente nominal de temperatura : 1,0 μ S/ °K;
- * erro absoluto : +/- 3 °C_{MAX};
- * não linearidade : +/- 1,5 °C_{MAX};
- * dimensão (envólucro metálico) : TO-52.

3.2.3 - CONDICIONAMENTO DE SINAIS

Para que o sinal de tensão, obtido através do sensor de temperatura, possa ser aproveitado, há a necessidade de condicioná-lo à faixa de variação de tensão analógica especificada pelo conversor analógico-digital.

O conversor analógico-digital empregado neste trabalho (AD674 - Analog Devices) opera com a configuração unipolar. Esta configuração, já citada no item 2.3.3, permite que se trabalhe com tensões de entrada analógicas que variam de 0 V a + 10 V (pino 13) ou 0 V a + 20 V (pino 14). Conforme pode ser observado no Anexo 2, o conversor analógico-digital pode receber tensões que variam entre 0 V e + 10 V.

Assim, o circuito de condicionamento de sinal permite que, para uma variação da temperatura, exista uma variação proporcional da tensão analógica que é entregue ao conversor A/D (figura 3.4).

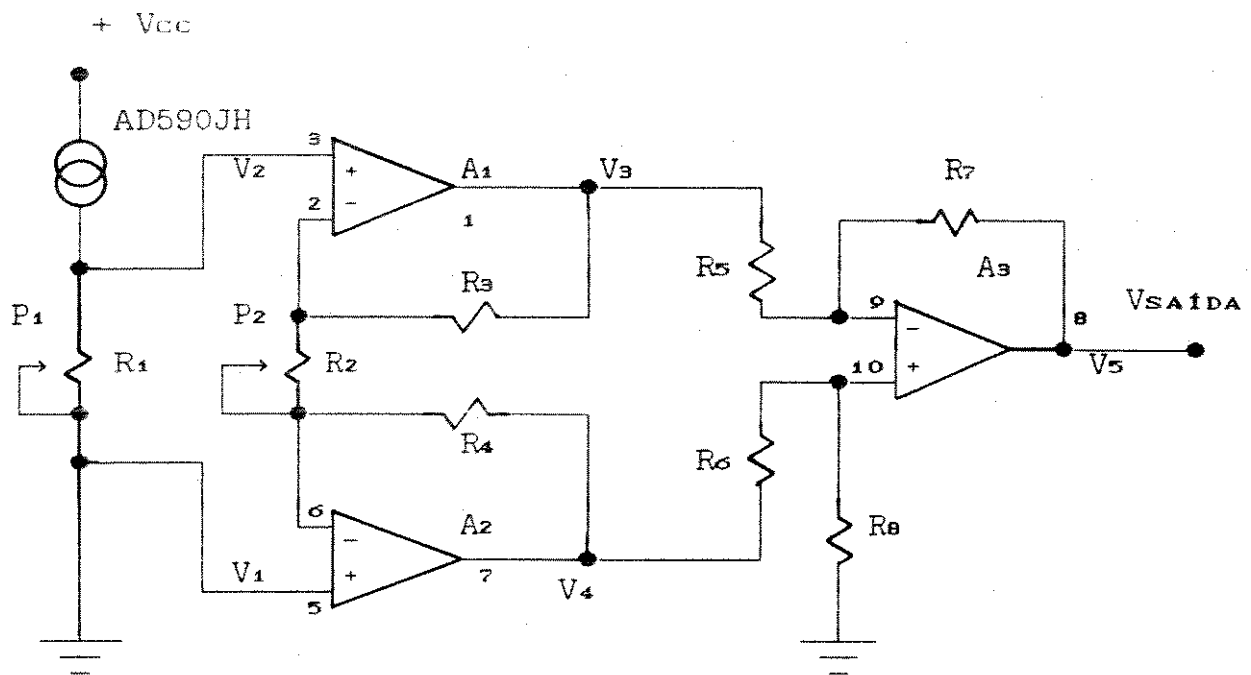


Figura 3.4 : Circuito do condicionador do sinal de temperatura.

Este circuito, formado por três amplificadores operacionais, na configuração não inversora, é um amplificador de instrumentação, utilizado em aplicações onde o sinal de entrada é pequeno e portanto, sujeito a interferências (ruídos) indesejáveis.

Como já foi mencionado, o sensor de temperatura converte a temperatura medida em um sinal de corrente, através de uma relação linear. O potenciômetro P1 permite obter um valor de tensão proporcional à temperatura. Esta tensão é aplicada às entradas diferenciais do condicionador de sinais (amplificador diferencial de instrumentação).

Os amplificadores de entrada A1 e A2 apresentam uma alta impedância de entrada ($\neq 10^{12} \Omega$) e correntes de polarização de entrada muito baixas ($\neq 3 \text{ pA}$), pois estes amplificadores utilizam nas suas entradas, transistores de efeito de campo de junção (JFET).

Os JFETs têm ruído extremamente baixo, o que é uma característica de um bom amplificador de instrumentação.

As tensões de saída nos estágios A₁ e A₂ são:

$$V_3 = (1 + R_3 / R_2) V_2 - (R_3 / R_2) V_1 \quad (3.1)$$

$$V_4 = (1 + R_4 / R_2) V_1 - (R_4 / R_2) V_2 \quad (3.2)$$

Considerando que as saídas dos estágios sejam perfeitamente balanceadas, ou seja:

$$\frac{R_7}{R_5} = \frac{R_8}{R_6} \quad (3.3)$$

Então, a tensão de saída (V_{saída}) é dada por:

$$V_{saída} = \frac{R_7}{R_5} (V_4 - V_3) \quad (3.4)$$

$$V_{saída} = \frac{R_7}{R_5} \frac{R_2}{R_2} (R_2 + R_3 + R_4) (V_1 - V_2) \quad (3.5)$$

Fazendo:

$$R_3 = R_4 \text{ e } R_5 = R_6 = R_7 = R_8$$

Tem-se que o ganho de tensão A_v do circuito é:

$$A_v = \frac{V_{saída}}{V_1 - V_2} = 1 + \frac{2R_3}{R_2} \quad (3.6)$$

O ganho A_v é obtido somente pelo ajuste do potenciômetro P₂.

Para que fosse possível condicionar o sinal de temperatura à faixa de variação de tensão de entrada analógica do conversor A/D, foram utilizados os seguintes resistores com suas respectivas tolerâncias:

$$R_3 = R_4 = 240 \text{ k}\Omega, 1\%$$

$$R_5 = R_6 = R_7 = R_8 = 10 \text{ k}\Omega, 1\%$$

Para um valor máximo da tensão de entrada, proveniente do sensor de temperatura, sobre o potenciômetro P_1 , igual a 546 mV, tem-se que a tensão máxima de saída do circuito deve ser +10 V. Assim, através de (3.6), tem-se :

$$A_v = \frac{10 \text{ V}}{546 \text{ mV}} = 18,301$$

Logo, o valor da resistência de P_2 , para o condicionamento correto do sinal, dado por (3.6) é:

$$R_2 = 27,74 \text{ k}\Omega$$

Observe-se que a especificação de temperatura máxima do sensor AD590JH é de 200 °C. O valor de 273,2 °C é utilizado apenas para adequar, convenientemente, a faixa de variação de tensão do conversor A/D.

3.2.4 - FILTRAGEM DO SINAL

Para melhorar a qualidade do sinal, uma vez que existe a presença de sinais de interferência (ruídos) de alta frequência, foi realizada uma etapa de filtragem do sinal.

Esta etapa é formada por um filtro ativo passa-baixa de segunda ordem (Butterworth), mostrado na figura 3.5.

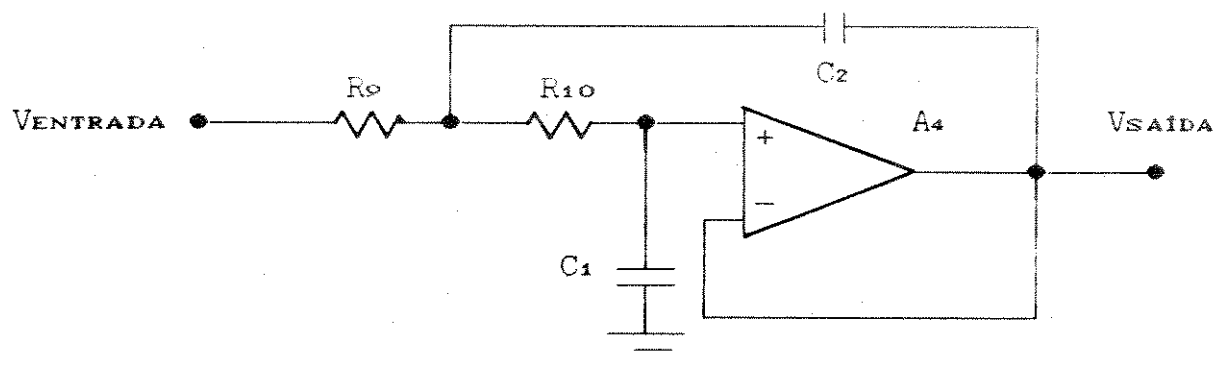


Figura 3.5 : Circuito elétrico do filtro ativo de 2ª ordem.

Este tipo de filtro responde bem a frequências desde CC (zero Hz) até uma determinada frequência de corte superior f_{cs} , em que o ganho do estágio tenha caído para 0,707 de seu valor máximo ou de -3 db. As frequências nada ou pouco atenuadas, até inclusive f_{cs} , formam a faixa de passagem e, aquelas acima de f_{cs} , sofrendo forte atenuação, formam a faixa de rejeição (figura 3.6).

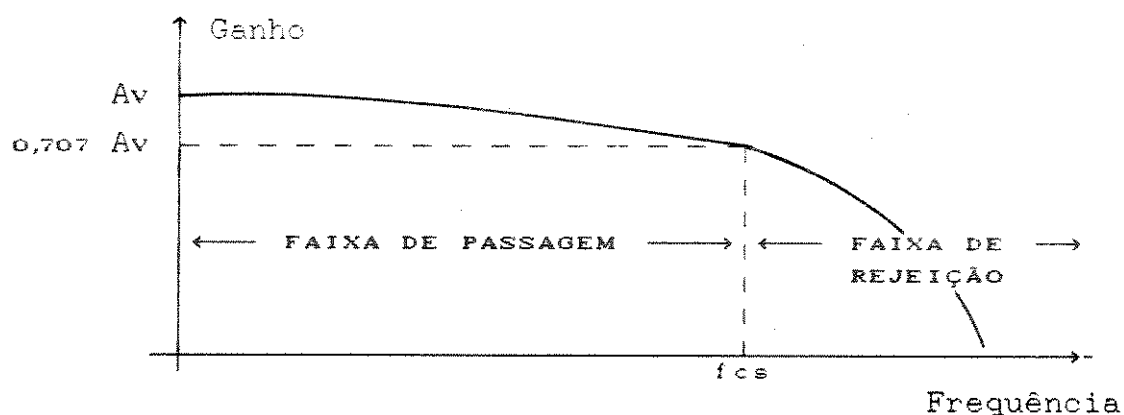


Figura 3.6 : Faixa de passagem do filtro ativo passa-baixa.

O circuito é formado por duas redes de atraso RC, sendo conhecido como filtro de dois pólos.

Com $R_9 = R_{10} = 240 \text{ k}\Omega$ e $C_1 = C_2 = 47 \text{ }\mu\text{F}$, a frequência de corte superior, f_{cs} , é dada por:

$$f_{cs} = \frac{1}{2\pi RC} = 14 \text{ Hz} \quad (3.7)$$

A saída do filtro passa-baixa é ligada diretamente a um dos canais de entrada do multiplexador.

O circuito completo de sensoriamento utiliza quatro amplificadores operacionais. Assim, no desenvolvimento do trabalho, utilizou-se o circuito integrado NE5514 (Philips) que contém quatro amplificadores operacionais internos ao encapsulamento.

Escolheu-se este componente devido à sua alta precisão e aplicação em instrumentação.

O circuito de sensoriamento completo, condicionamento de sinal e filtragem, pode ser visto no Anexo 3. Existem quatro circuitos de sensoriamento, um para cada sensor de temperatura descrito no item 3.2.2.

3.3 - CIRCUITO DE CONTROLE DE RELÉS

3.3.1 INTRODUÇÃO

A finalidade de se ter um circuito de controle de relés, é a de tornar o sistema totalmente automatizado, ou seja, uma vez que se deseja realizar ensaios para determinação do comportamento térmico do motor de indução trifásico, para os regimes de funcionamento previstos pelas normas [6], [7] e [8], onde os intervalos de tempo de funcionamento e os de repouso do motor são variáveis e definidos no instante do início do ensaio, optou-se pela automatização do sistema. Neste caso, o regime de funcionamento com os respectivos intervalos de tempo são escolhidos via teclado do microcomputador (gerenciador).

Um outro fator importante da automatização do sistema, é o sincronismo entre os tempos de operação do motor de indução, definidos no ensaio, e os dados de temperatura adquiridos do mesmo nestes períodos.

Como exemplo, no regime de funcionamento S_1 é definido pelas normas, um tempo durante o qual a máquina parte e entra em regime permanente com carga constante. Este intervalo de tempo pode ser dividido em outros dois : tempo de partida (t_p) e tempo de funcionamento (t_{ow}). Para cada tempo, são definidos os números de dados de temperatura a serem adquiridos, N_{tp} e N_{ton} .

Assim, uma vez definido o tipo de ensaio a ser realizado, o gerenciador atua sobre o sistema, inicializando e finalizando o ensaio, sem que haja interferência do usuário.

São utilizados cinco relés para a automatização do sistema sendo necessários cinco circuitos para o controle destes relés (figura 3.7).

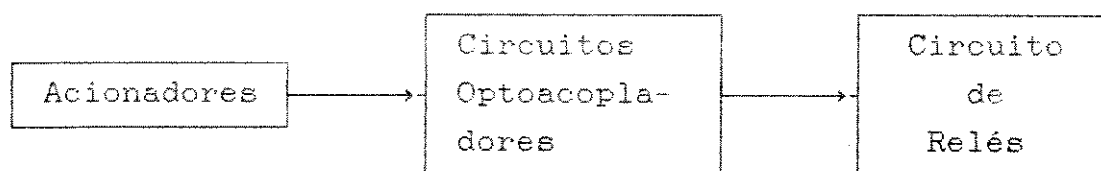


Figura 3.7 : Diagrama de blocos do controle de relés (Anexos 1, 2 e 3).

O bloco Acionadores é formado pelas unidades : a) U_1 : Registrador 74LS373 de 8 bits com entrada e saída paralelas (Anexo 1), b) U_{16} : Acionador "buffer" 74LS07 com seis acionadores (Anexo 2).

Através de um byte de controle armazenado na unidade U_1 , seleciona-se o relé desejado. Este processo consiste na aplicação

de um nível baixo na entrada do acionador correspondente na unidade U₁₆.

Definem-se rotinas de "software" que ajustam os níveis dos "bits" do byte de controle tornando possível a seleção desejada de relés.

3.3.2 - Circuitos Optoacopladores

Os optoacopladores são utilizados quando se deseja um isolamento elétrico entre dois circuitos. Principalmente quando há diferenças de potenciais significativas entre eles.

Como o único elo entre os dois circuitos é um feixe de luz, que é unidirecional, elimina-se também sinais que retornem pelas bobinas dos relés quando os contatos destes ou dos contadores de comando são abertos.

A abertura destes contatos provocam arco - voltaicos que geram ruídos grandes o suficiente para acionar outros relés e, conseqüentemente, contadores não desejados, que colocam em risco tanto o sistema de potência, no caso o motor de indução trifásico, quanto os componentes do sistema de aquisição de dados, principalmente o conversor analógico-digital.

O optoacoplador é formado por um diodo emissor de luz (LED) que emite sinal de luz a um fotodetector que pode ser um fotodiodo ou um fototransistor. Estes elementos estão concentrados em uma única embalagem.

Na figura 3.8 é apresentado o esquema de um dos circuitos optoacopladores. No sistema existem cinco circuitos idênticos a este (Anexo 4).

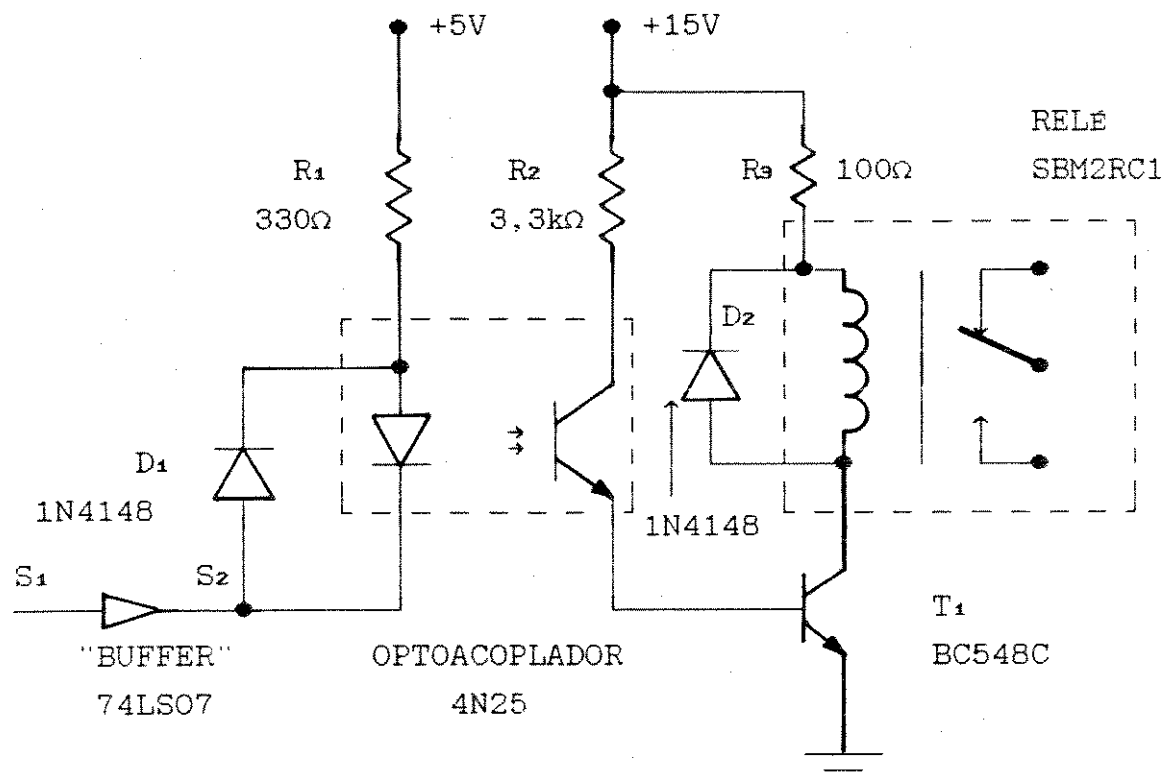


Figura 3.8 : Esquema de um circuito com optoacoplador.

O optoacoplador 4N25 (Texas Instruments) utilizado nos cinco circuitos, apresenta as seguintes características :

- corrente de LED = 10 mA
- corrente de coletor = 5 mA
- tensão de isolamento = 7500 V
- tempos de chaveamento :
 - fechamento = 0,87 μ s
 - abertura = 11 μ s

Utilizando estas características foram calculados os valores das resistências dos resistores R_1 e R_2 .

$$R_1 = \frac{V_{CC1} - V_{LED}}{I_{LED}} = 300 \Omega \quad (3.8)$$

Como o valor comercial de resistência elétrica mais próximo é de 330Ω, tem-se:

$$I_{LED} = 9,09 \text{ mA}$$

$$R_2 = \frac{V_{CC2}}{I_c} = 3,0 \text{ k}\Omega \quad (3.9)$$

Como o valor comercial de resistência elétrica mais próximo é de $3,3\text{k}\Omega$, tem-se :

$$I_c = 4,5 \text{ mA}$$

A configuração Darlington (dois transistores como seguidores de emissor em cascata) é utilizada de modo a aumentar o valor da corrente na bobina do relé para que este opere satisfatoriamente.

O resistor R_3 (100Ω) é utilizado para limitar a corrente da bobina do relé.

O relé utilizado, SBM2RC1 (Metaltex), tem as seguintes características :

- tensão na bobina = $6 V_{CC}$
- tensão nos contatos = $220 V_{CA}$
- contatos = $1\text{NA}, 1\text{NF}$
- resistência da bobina = 75Ω

Os diodos D_1 e D_2 são utilizados para proteger o optoacoplador e o relé de possíveis tensões reversas.

Quando a saída TTL S_2 do " BUFFER " 74LS07, for alta ($+ 5 \text{ V}$), não há corrente pelo LED. Logo não é emitida luz para a base do fototransistor de forma a saturá-lo (chave fechada). Consequentemente o transistor BC548C também está cortado, não energizando a bobina do relé.

Quando a saída TTL S_2 for baixa (0V), o catodo do LED está à um potencial de 0V . Há então uma corrente de LED de aproximadamente 10 mA que faz com que haja emissão de luz para a base do fototransistor, saturando-o e estabelecendo uma corrente de coletor I_c de aproximadamente 5 mA que é aplicada à base do transistor BC548C. Este transistor, na configuração como chave, é

saturado (chave fechada) e a bobina do relé é então energizada, fazendo com que o relé entre em operação.

3.3.3 - CIRCUITOS DE RELÉS

Os relés utilizados neste trabalho, têm funções definidas para a automatização do sistema de medição ou ensaio.

Para que se possa realizar todos os ensaios dos regimes de funcionamento previstos por norma, foi desenvolvido o circuito de potência e comando do motor (figura 3.9).

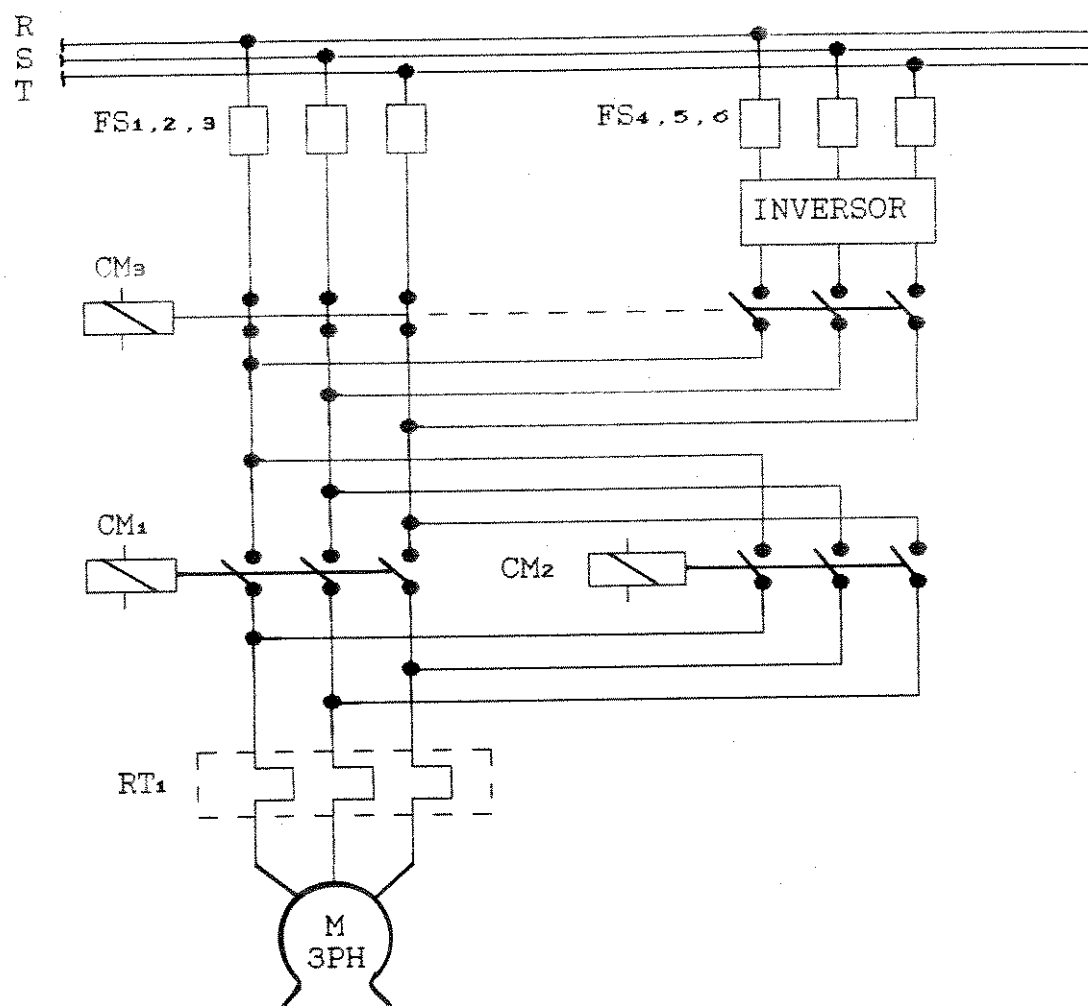


Figura 3.9 : Diagrama de acionamento do motor.

Com este circuito, pode-se realizar : partida, parada e frenagem por inversão de fases do motor de indução, com alimentação senoidal ou não senoidal (inversor de tensão). Os contatores CM₁, CM₂ e CM₃ tem as seguintes funções : a) CM₁ - Contator principal : permite realizar a partida e a parada do motor de indução. Acoplado a este contator há um relé térmico de sobrecarga RT₁, para proteção do motor contra sobrecorrentes, b) CM₂ - Contator Auxiliar : é utilizado nos ensaios dos regimes que prevêem frenagem do motor de indução. Esta frenagem é feita por inversão de fases, através do contator CM₂ como pode ser observado na figura 3.9, c) CM₃ - Contator Auxiliar : seleciona o tipo de alimentação do motor de indução, tensão senoidal (rede) ou tensão não senoidal (inversor de tensão). Quando a bobina deste contator está desenergizada, a tensão de alimentação é senoidal, quando a bobina está energizada, a tensão de alimentação é não senoidal.

Para que estes contatores possam atuar corretamente, possibilitando a automatização do sistema, são utilizados os circuitos de relés, que empregam cinco relés para a automatização, cada um com sua função específica (figuras 3.10, 3.11 e 3.12).

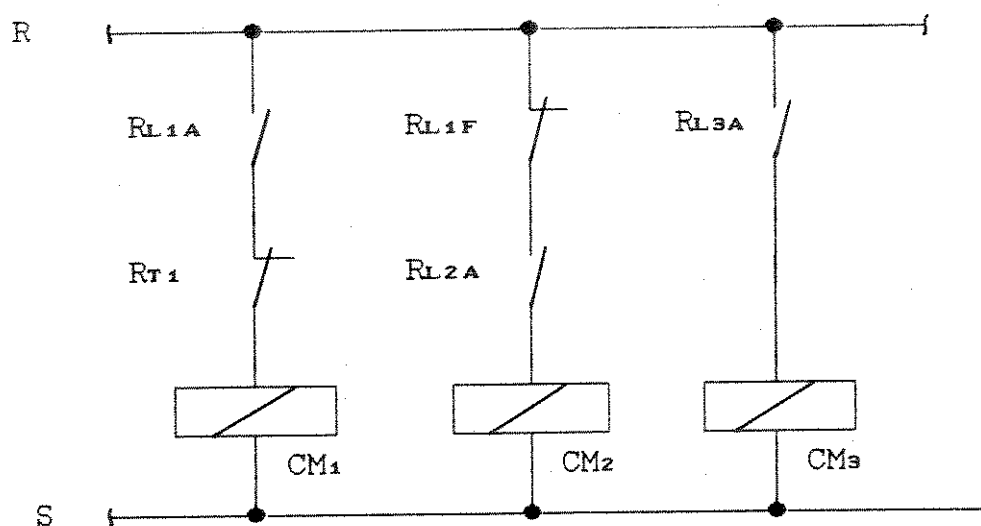


Figura 3.10 : Esquema de acionamento dos contatores CM₁, CM₂ e CM₃.

A lógica de comando dos contatores é dada na tabela 3.1 em função do estado dos relés.

Utiliza-se o nível lógico 0 para acionar o relé desejado, com foi descrito no item 3.3.1.

Tabela 3.1 : Lógica do comando dos contatores.

ALIMENTAÇÃO	Sem Inversor			Com Inversor		
	CM ₁	CM ₂	CM ₃	CM ₁	CM ₂	CM ₃
Partida	0	X	1	0	X	0
Repouso	1	1	1	1	1	0
Frenagem	1	0	1	1	0	0

O relé RL₄ é utilizado para selecionar a frequência de operação do inversor, quando este for empregado no ensaio. São selecionados dois tipos de frequências: 60 Hz e 30 Hz (figura 3.11).

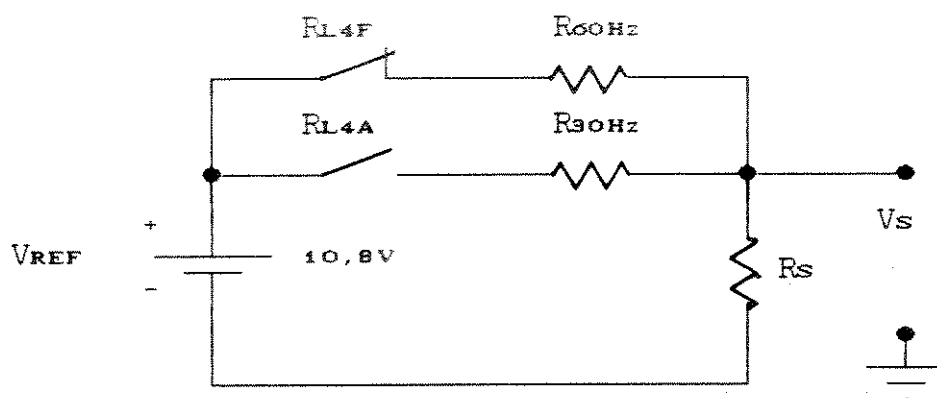


Figura 3.11 : Esquema de escolha de frequência da tensão de alimentação fornecida pelo inversor.

Enquanto o relé RL_4 não for acionado, a frequência da tensão permanece em 60 Hz. Quando o relé RL_4 é acionado, a frequência da tensão é alterada para 30 Hz.

Para se obter este tipo de variação de frequência, é utilizada uma fonte de referência (V_{REF}) interna ao inversor e calculados os valores dos resistores para as frequências de 30 Hz e 60 Hz.

A tensão V_s que aparece sobre o resistor R_s é proporcional à frequência escolhida.

Os valores dos resistores R_{30Hz} e R_{60Hz} são determinados através do divisor de tensão, formado por R_{30Hz} ou R_{60Hz} e, R_s .

Na tabela 3.2 é dada a lógica para a seleção da frequência.

Tabela 3.2 : Lógica para seleção de frequência da tensão de saída do inversor.

Frequência	RL_4
30 Hz	0
60 Hz	1

O relé RL_5 é utilizado para o ensaio específico com carga controlada do motor de indução. A carga utilizada é um ventilador industrial onde, a regulagem da entrada de ar determina a carga do motor. Este controle é feito através de um eletroimã, permitindo a variação da entrada de ar no ventilador e, conseqüentemente, da carga no eixo do motor.

O circuito para este controle é dado na figura 3.12, e a tabela 3.3 mostra a lógica para o relé R_{LS} .

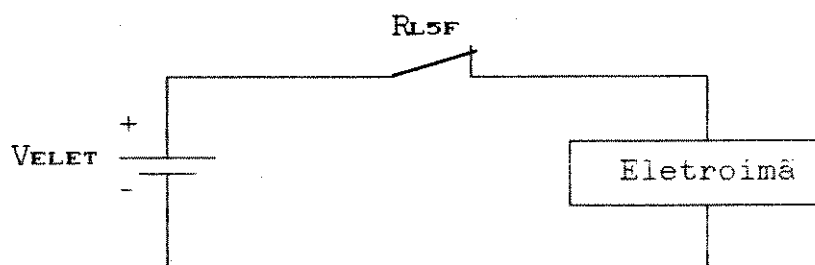


Figura 3.12 : Esquema do controle do eletroimã.

Tabela 3.3 : Lógica de seleção da carga no motor.

ELETROIMÃ	R_{LS}
FECHADO	1
ABERTO	0

Com relação aos regimes de funcionamento do motor de indução trifásico, previstos por norma, a lógica de operação dos relés é mostrada na tabela 3.4.

Tabela 3.4 : Lógica de operação dos relés para os regimes de funcionamento previstos por norma.

Regime	RELÉS				
	RL1	RL2	RL3	RL4	RL5
S1	X	-	*	*	-
S2	X	-	*	*	-
S3	X	-	*	*	-
S4	X	-	*	*	-
S5	X	X	*	*	-
S6	X	-	*	*	*
S7	X	X	*	*	-
S8	X	X	*	*	-

X → Relé ligado

- → Relé desligado

* → Utilizando Inversor de tensão

CAPÍTULO 4

"SOFTWARE" PARA AQUISIÇÃO DE DADOS E AUTOMATIZAÇÃO DE ENSAIOS

4.1 - INTRODUÇÃO

Os circuitos que fazem a aquisição de dados (temperaturas) e a automatização dos ensaios apresentados nos capítulos 2 e 3 são chamados de " hardware " do sistema.

Todo este " hardware " é supervisionado por um microcomputador, padrão IBM-PC, que, através de um programa, permite que o sistema funcione adequadamente.

Este programa, conhecido como " software " do sistema, tem a função de estabelecer uma comunicação entre o usuário e o microcomputador que supervisiona o sistema.

O usuário comunica-se com o microcomputador determinando o tipo de operação que este deve realizar, através de uma linguagem de programação de alto nível. As instruções ou comandos neste tipo de programação são convertidos em linguagem de máquina ("Assembler"), que é o tipo de linguagem que o microcomputador entende, permitindo que este possa atuar sobre os componentes de " hardware " realizando assim, a operação desejada pelo usuário.

O programa computacional desenvolvido neste trabalho, permite : a) aquisição das temperaturas do motor de indução ensaiado, b) manipulação destes dados de temperatura, utilizando rotinas específicas, para geração de planilhas e gráficos, c) automatização do sistema, permitindo que todos os regimes de funcionamento do motor de indução trifásico, previstos em normas possam ser realizados via solicitação pelo microcomputador, d) realização dos ensaios em tempo real com precisão e confiabilidade nos resultados obtidos.

Para o desenvolvimento deste programa, utilizou-se a linguagem de programação Pascal, versão 6.0 [21].

4.2 - FLUXOGRAMA

O fluxograma do programa de aquisição de dados e automatização dos ensaios é mostrado na figura 4.1.

O programa se inicia com o usuário tendo a possibilidade de escolher uma entre cinco opções do menu principal.

A opção 1 permite que o usuário calibre o circuito de aquisição de temperatura antes de um ensaio, utilizando a rotina SENSORES. Após a calibração, o programa retorna ao menu principal.

Na opção 2, que é a principal, é realizado o ensaio do motor de indução. Através desta opção, o usuário submete o motor a qualquer tipo de regime de funcionamento previsto pelas normas.

Nesta opção, primeiramente são definidas as características do motor (dados de placa), tipo de partida (em vazio ou em carga) e qual o tipo de alimentação do motor. É utilizada a rotina LIGARELE para se fazer as especificações de partida e alimentação.

A seguir, deve ser escolhido o tipo de regime de funcionamento para o motor de indução. Existem nove opções, apresentadas pelas normas.

Escolhido o regime, definidos os tempos de operação e o número de pontos a serem adquiridos, inicia-se o ensaio do motor de indução.

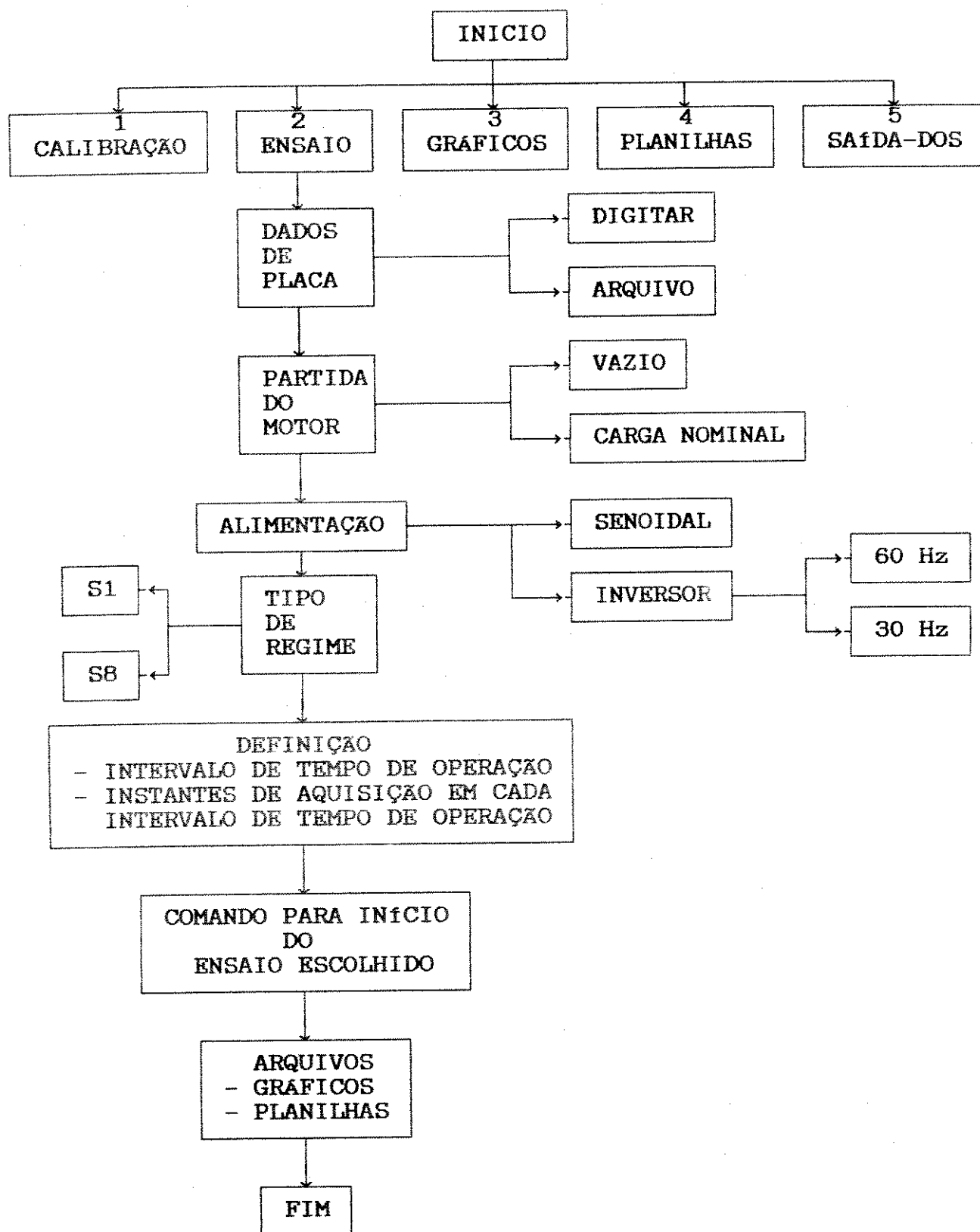


Figura 4.1 : Fluxograma do programa de aquisição de dados e automatização de ensaios.

Atingido o tempo total de funcionamento do motor de indução para o regime escolhido, o ensaio é encerrado e são gerados arquivos de dados para a posterior construção das curvas térmicas do motor de indução e para a geração da planilha de ensaio; retornando o programa para o menu principal.

A opção 3 permite que sejam levantadas as curvas de temperatura e de elevação de temperatura do motor de indução, utilizando-se a subrotina GRAFICOS. Neste programa estão previstas até sete curvas de temperaturas e elevações de temperatura no motor. Após o levantamento gráfico do ensaio, o programa retorna ao menu principal.

A opção 4 gera uma planilha do ensaio que foi realizado, fornecendo todos os dados de importância do motor, do tipo de regime de funcionamento a que o motor de indução foi submetido e as temperaturas e elevações de temperatura no motor. Esta planilha é obtida utilizando-se a rotina PLANILHA. O programa retorna ao menu principal quando a opção 4 é encerrada.

Utilizando-se a opção 5, o usuário retorna ao sistema operacional do microcomputador.

O comportamento térmico do motor de indução sob ensaio, pode ser observado pelo usuário, através do monitor de vídeo do microcomputador. No monitor é mostrada uma tela, idêntica à da planilha de dados, com todas as características do motor em ensaio, o tipo de regime de funcionamento e as temperaturas e elevações de temperatura nas partes principais do motor de indução, em tempo real.

4.3 - SUBROTINAS MAIS IMPORTANTES

Neste item são mostradas algumas das subrotinas mais importantes desenvolvidas dentro do programa de aquisição de dados e automatização de ensaios.

4.3.1 - SUBROTINA DE AQUISIÇÃO DE DADOS (SUBROTINA DADOS)

Esta subrotina tem a função de fazer a aquisição dos sinais de temperaturas, provenientes do motor de indução, que estão à disposição nos canais de entrada analógica do multiplexador, já descritos no item 2.2.1 e 2.3.1 do capítulo 2.

A aquisição das temperaturas é feita na ordem sequencial dos canais de entrada do multiplexador. As variáveis T1v, T2v, T3v, T4v, E1v, E2v e E3v são vetores que armazenam as temperaturas e as elevações de temperatura, em graus Celsius. Estes são armazenados na memória RAM do microcomputador, na forma de variáveis dinâmicas, permitindo que a aquisição seja realizada em tempo real, sendo garantida uma precisão de centésimos de segundo.

```
PROCEDURE DADOS(nvezes : Word);
  VAR
    contador: Word;

BEGIN
  WITH dados_all DO
    BEGIN
      For contador := 1 to nvezes do
        Begin
          inc(nptos);
          if nptos <> 0 then begin
            tamos := tamos + trunc(DELTA);
            repeat
              GetTime(hour, minute, second, s100);
            until aux:=hour*360000.00 + minute*6000.00 + second*100.00 + s100*1.0;
            if aux >= tamos then ok:= true;
            until ok = true;
            ok := false;
            timev[nptos]:= timev[nptos-1] + (DELTA / 100);
            IF TTOT < 60 THEN
              TIMEV1[NPTOS]:= TIMEV[NPTOS]
            ELSE
              timev1[nptos]:= timev[nptos] / 60;
            end;
            FimAquisicao:= False;
            port[$30E]:= $C3;
            port[$30E]:= $83;
            port[$30E]:= $C3;
            While not FimAquisicao do;
```

```

T1V[nptos]:=(((Buffer[1] + Buffer[2]*256))*(0.1333984375)-273.2)
  FimAquisicao:= False;
  port[$30E]:= $C7;
  port[$30E]:= $87;
  port[$30E]:= $C7;
  While not FimAquisicao do;
T2V[nptos]:=(((Buffer[1] + Buffer[2]*256))*(0.1333984375)-273.2)
  FimAquisicao:= False;
  port[$30E]:= $CB;
  port[$30E]:= $91;
  port[$30E]:= $CB;
  While not FimAquisicao do;
T3V[nptos]:=(((Buffer[1] + Buffer[2]*256))*(0.1333984375)-273.2)
  FimAquisicao:= False;
  port[$30E]:= $CF;
  port[$30E]:= $95;
  port[$30E]:= $CF;
  While not FimAquisicao do;
T4V[nptos]:=(((Buffer[1] + Buffer[2]*256))*(0.1333984375)-273.2)
  E1V[nptos]:= T2V[nptos] - T1V[nptos];
  E2V[nptos]:= T3V[nptos] - T1V[nptos];
  E3V[nptos]:= T4V[nptos] - T1V[nptos];
writeln('',timev[nptos]:5:2,'',T1V[nptos]:4:1,'',T2V[nptos]:4:1,
'',T3V[nptos]:4:1,'',T4V[nptos]:4:1,E1V[nptos]:4:1,'',
E2V[nptos]:4:1,'',E3V[nptos]:4:1,'',E3V[nptos]:4:1);
End;
END; {WITH}
DELTA:= 0;
END;

```

4.3.2 - SUBROTINA DE GERAÇÃO DE INTERRUPÇÃO (SUBROTINA AQUISIÇÃO, INTERRUPT)

Esta subrotina é utilizada para gerar novas interrupções para o microprocessador, quando a aquisição do dado é finalizada.

```

PROCEDURE AQUISICAO; INTERRUPT;
Begin
  Buffer[1]:= port[$308];
  Buffer[2]:= port[$309];
  FimAquisicao:= True;
  port[$20]:= $20;
End;

```

4.3.3 - SUBROTINAS DE ACIONAMENTO DE RELÉS (SUBROTINAS LIGARELÉ E DESLIGARELÉ)

São duas as subrotinas de acionamento de relés; uma para ligar o relé (LIGARELÉ) e outra para desligar o relé (DESLIGARELÉ).

Inicialmente verifica-se o estado em que se encontra o relé. No início de cada ensaio, todos os relés recebem um comando de desligar, mesmo que já estejam desligados. Este procedimento tem a finalidade de proteger tanto o sistema quanto o usuário de possíveis problemas surgidos durante o ensaio. Ao término de cada ensaio, todos os relés recebem o comando para desligar.

Este comando de ligar e desligar os relés é mostrado nas subrotinas abaixo.

```
PROCEDURE LIGARELE(nrele:byte);
  VAR
    i: Byte;
Begin
  i:= nrele;
  x:= 1 shl (i);
  EstadoRele:= EstadoRele and (not x);
  port[$30C]:= EstadoRele;
End;
```

```
PROCEDURE DESLIGARELE(nrele:byte);
  VAR
    i: Byte;
Begin
  i:= nrele;
  x:= 1 shl (i);
  EstadoRele:= EstadoRele or x;
  port[$30C]:= EstadoRele;
End;
```


4.3.4 - SUBROTINAS PARA GRAVAR DADOS (SUBROTINAS GRAVADADOS E GR_DADOS)

O programa de aquisição de dados e automatização de ensaios, permite que os dados possam ser analisados tanto na forma gráfica (curvas), quanto na forma de planilhas de ensaios. Para isto, são geradas duas subrotinas que gravam os dados, armazenados na memória RAM, em arquivos no disco rígido do microcomputador, na forma binária (permite maior velocidade de gravação).

A subrotina para gerar os arquivos de dados a serem utilizados em planilhas é chamada de GRAVADADOS e a subrotina para gerar os arquivos de dados a serem utilizadas para a formação das curvas, é chamada de GR_DADOS. Estas duas subrotinas são mostradas abaixo.

PROCEDURE GRAVADADOS;

```
BEGIN
WITH dados_all^ DO
BEGIN
  Assign(saida_bin,'saida.dat');
  reset(saida_bin);
  write(saida_bin,dados_all^);
  Close(saida_bin);
  ClrScr;
  ESCRIVE(12,14,'* ARQUIVO DA PLANILHA DE DADOS (SAIDA*.DAT):');
  readLn(arquivo);
  Rename(saida_bin,arquivo);
  END; {WITH}
END;
```

PROCEDURE GR_DADOS;

```
BEGIN
WITH dados_all^ DO
BEGIN
  Assign(arq_bin,'GRAF.DAT');
  reset(arq_bin);
  write(arq_bin,dados_all^);
  Close(arq_bin);
  ClrScr;
  ESCRIVE(12,12,'* ARQUIVO DE DADOS PARA GRAFICOS (S*.DAT):');
  readLn(arquivo);
  Rename(arq,arquivo);

```

```
END;  
END;    {WITH}
```

4.3.5 - SUBROTINAS GRAFICAS (SUBROTINAS LE_DADOS E GRAFICOS)

Existe uma sequência para se gerar os gráficos referentes aos dados armazenados em arquivos, obtidos nos ensaios.

Inicialmente, utilizando uma subrotina de leitura de dados (LE_DADOS), lê-se o arquivo de dados desejado. Esta subrotina está dentro de uma outra subrotina (principal) chamada de GRAFICOS.

Selecionando o arquivo, pode-se então escolher qual curva deva ser apresentada no gráfico, utilizando-se as opções C*. Feita a opção, por exemplo, C4 (temperatura no núcleo do rotor) é gerada a curva correspondente com todas as informações necessárias.

As subrotinas internas à subrotina GRAFICOS : inicia_graf, make_plot, altera_off(op) e closegraph, são geradas em uma unidade (UNIT) gráfica chamada BUILDGRF desenvolvida para esta finalidade.

```
PROCEDURE LE_DADOS;  
  
BEGIN  
  WITH dados_all^ DO  
  BEGIN  
    Assign(arq_bin,arquivo);  
    reset(arq_bin);  
    read(arq_bin,dados_all^);  
    Close(arq_bin);  
  END;  
END;  
END;    {WITH}  
END.
```

PROCEDURE GRAFICOS;

BEGIN

WITH dados_all DO

Begin

ESCREVE(12,5, ' *** G R A F I C O S *** ');

ESCREVE(12,7, ' NOME DO ARQUIVO (S*.DAT) : ');

readLn(arquivo);

LE_DADOS;

IF TTOT < 60 THEN

UNI:= 'SEGUNDOS'

ELSE

UNI:= 'MINUTOS';

REPEAT

ESCREVE(12,11, ' C1 : T1 - TEMPERATURA AMBIENTE');

ESCREVE(12,13, ' C2 : T2 - TEMPERATURA NO ENROL. DO ESTATOR');

ESCREVE(12,15, ' C3 : T3 - TEMPERATURA NO PACOTE DO ESTATOR');

ESCREVE(12,17, ' C4 : T4 - TEMPERATURA NO NUCLEO DO ROTOR');

ESCREVE(12,19, ' C5 : E1 - ELEVACAO NO ENROL. DO ESTATOR');

ESCREVE(12,21, ' C6 : E2 - ELEVACAO NO PACOTE DO ESTATOR');

ESCREVE(12,23, ' C7 : E3 - ELEVACAO NO NUCLEO DO ROTOR');

ESCREVE(12,9, 'CURVA A PLOTAR : ');

readLn(CURVA);

CURVA:= UpCase_STR(CURVA);

TMP:= STR_CHAR(CURVA);

CASE TMP OF {seleciona curva}

'1' : Begin

TIT:= 'T1 - TEMP. AMBIENTE';

inicia_grf;

make_plot(T1V,timev1,1,nptos,'1');

repeat

altera_off(op);

if Upcase(op) <> 'L' then

begin

make_plot(T1V,timev1,1,nptos,'1');

end;

until Upcase(op) = 'L';

closegraph;

End;

End; {CASE - curva}

UNTIL TMP = 'C';

End;

End;

Observe-se que na subrotina GRAFICOS é mostrada apenas a opção para a curva 1 - Temperatura Ambiente. Para as demais opções o procedimento é o mesmo.

4.3.6 - SUBROTINAS PARA PLANILHAS (SUBROTINAS BIN_ASCNPTOS E PLANILHA)

Esta forma de apresentação dos dados é utilizada para se ter um relatório completo do comportamento térmico do motor de indução ensaiado.

Nesta planilha são apresentados :

- a) dados de placa do motor de indução ensaiado;
- b) tipo de regime de funcionamento do motor de indução;
- c) temperaturas e elevações de temperatura do motor de indução.

Através da subrotina PLANILHA, é selecionado o arquivo de interesse. Este arquivo, na forma binária, é então convertido para a forma ASCII, utilizando-se a subrotina BIN_ASCNPTOS. Esta subrotina permite que todos os dados possam ser escritos de forma conveniente na planilha de dados.

```
PROCEDURE BIN_ASCNPTOS(nome_arq:string);
VAR
  i : word;
  ARQ:TEXT;

BEGIN
  WITH dados_all^ DO
  BEGIN
    Assign(saida_bin,nome_arq);
    reset(saida_bin);
    read(saida_bin,dados_all^);
    Close(saida_bin);
    Assign(arq,nome_arq);
    rewrite(arq);
    for i := 1 to 25 do writeln(arq,tela1[i]);
    for i := 0 to nptos do
      begin
        writeln(arq,'',timev[i]:5:2,'',T1V[i]:4:1,'',T2V[i]:4:1,'',
          T3V[i]:4:1,'',T4V[i]:4:1,'',E1V[i]:4:1,'',E2V[i]:4:1,
          '',E3V[i]:4:1);
      end;
    close(arq);
    ClrScr;
```

```
END; {WITH}
END;
```

```
PROCEDURE PLANILHA;
```

```
BEGIN
WITH dados_all DO
Begin
  ESCRIVE(12,5, ' *** PLANILHAS *** ');
  ESCRIVE(12,7, ' NOME DO ARQUIVO ( P*.DAT) : ');
  readLn(arquivo);
  bin_ascpptos(arquivo);
  End;
END;
```

4.3.7 - SUBROTINA PARA CALIBRAÇÃO DOS SENSORES (SUBROTINA SENSORES)

Antes de cada ensaio faz-se uma calibração do circuito de aquisição de dados.

Para se realizar tal procedimento, é utilizada a subrotina SENSORES. Através desta subrotina, é selecionado o canal que se deseja calibrar. A calibração é feita pela inserção de um microamperímetro no circuito e pela comparação de sua leitura com a respectiva saída no computador. O circuito de condicionamento, que é parte do circuito de aquisição, possui um potenciômetro de ajuste de temperatura por canal.

```
PROCEDURE SENSORES;
VAR
  contador, nptos : Word;
```

```
BEGIN
  WITH dados_all DO
  REPEAT
    ESCRIVE(12,13, ' 1 : T1 - TEMPERATURA AMBIENTE ');
    ESCRIVE(12,15, ' 2 : T2 - TEMPERATURA NO ENROL. DO ESTATOR ');
    ESCRIVE(12,17, ' 3 : T3 - TEMPERATURA NO PACOTE DO ESTATOR ');
    ESCRIVE(12,19, ' 4 : T4 - TEMPERATURA NO NUCLEO DO ROTOR ');
    ESCRIVE(12,11, ' 0 : CALIBRADOS ');
    ESCRIVE(12,9, ' SENSOR A CALIBRAR : ');
```

```

readLn(OPCAO);
BEGIN
SetIntVec($B,@AQUISICAO);
port[$21]:= port[$21] and $F7;
CASE OPCA0 OF      {seleciona SENSOR}
1:BEGIN
  WITH dados_all^ DO
  Repeat
  BEGIN
  ClrScr;
  nptos:= 0;
  For contador := 1 to 1000 do
  FimAquisicao:= False;
  port[$30E]:= $C3;
  port[$30E]:= $83;
  port[$30E]:= $C3;
  While not FimAquisicao do;
T1V[nptos]:=((Buffer[1] + Buffer[2]*256))*(0.1333984375)-273.2);
  writeLn('          ',T1V[nptos]:4:1);
  inc(nptos);
  delay(1000);
  END;
  Until KEYPRESSED;
  END;
2:BEGIN
  WITH dados_all^ DO
  Repeat
  BEGIN
  ClrScr;
  nptos:= 0;
  For contador := 1 to 1000 do
  FimAquisicao:= False;
  port[$30E]:= $C7;
  port[$30E]:= $87;
  port[$30E]:= $C7;
  While not FimAquisicao do;
T2V[nptos]:=((Buffer[1] + Buffer[2]*256))*(0.1333984375)-273.2);
  writeLn('          ',T2V[nptos]:4:1);
  inc(nptos);
  delay(1000);
  END;
  Until KEYPRESSED;
  END;
3:BEGIN
  WITH dados_all^ DO
  Repeat
  BEGIN
  ClrScr;
  nptos:= 0;
  For contador := 1 to 1000 do
  FimAquisicao:= False;
  port[$30E]:= $CB;
  port[$30E]:= $91;
  port[$30E]:= $CB;
  While not FimAquisicao do;
T3V[nptos]:=((Buffer[1] + Buffer[2]*256))*(0.1333984375)-273.2);

```

```

        writeLn('          ',T3V[nptos]:4:1);
        inc(nptos);
        delay(1000);
        END;
        Until KEYPRESSED;
        END;
4:BEGIN
    WITH dados_all DO
        Repeat
            BEGIN
                ClrScr;
                nptos:= 0;
                For contador := 1 to 1000 do
                    FimAquisicao:= False;
                    port[$30E]:= $CF;
                    port[$30E]:= $95;
                    port[$30E]:= $CF;
                    While not FimAquisicao do;
T4V[nptos]:=((Buffer[1] + Buffer[2]*256))*(0.1333984375)-273.2);
                    writeLn('          ',T4V[nptos]:4:1);
                    inc(nptos);
                    delay(1000);
                    END;
                    Until KEYPRESSED;
                    END;
        End;
        End;
        UNTIL OPCA0 = 0;
        End; {WITH}

```

4.4 - UM EXEMPLO DE ENSAIO

O fluxograma do programa apresentado no item 4.2, permite acompanhar todo o procedimento necessário para a realização de um ensaio.

Considerando que se deseja realizar o ensaio de um regime de funcionamento do motor de indução, previsto pelas normas [6] e [8], deve-se, se necessário, calibrar os sensores de temperatura. A partir daí, passa-se à fase de ensaios, propriamente dita.

Inicialmente, é necessário especificar o motor de indução que vai ser ensaiado, através dos dados de placa do mesmo, como mostrado abaixo.

```

ESCREVE(23,03,'*****');
ESCREVE(23,04,'* CARACTERISTICAS DA MAQUINA *');
ESCREVE(23,05,'*****');
ESCREVE(29,09,'- DADOS DE PLACA -');
ESCREVE(11,13,'TIPO: ');
ESCREVE(11,15,'POTENCIA (CV): ');
ESCREVE(11,17,'TENSÃO (V): ');
ESCREVE(11,19,'FREQUENCIA (HZ): ');
ESCREVE(11,21,'CORRENTE NOMINAL (A): ');
ESCREVE(11,23,'CORRENTE DE PARTIDA : ');
ESCREVE(50,13,'VELOCIDADE (RPM): ');
ESCREVE(50,15,'TIPO DE REGIME: ');
ESCREVE(50,17,'CLASSE DE ISOLAMENTO: ');
ESCREVE(50,19,'FATOR DE POTENCIA: ');
ESCREVE(50,21,'FATOR DE SERVICO: ');
ESCREVE(50,23,'RENDIMENTO (%): ');
ESCREVE(11,11,'DIGITAR DADOS DE PLACA ? S/N: ');

```

Estes dados podem ser digitados, via teclado, ou obtidos através de um arquivo de dados já existente.

A seguir, devem ser definidos :

- a) partida do motor :
 - a.1 - em vazio;
 - a.2 - em carga nominal;
- b) alimentação do motor :
 - b.1 - senoidal (rede);
 - b.2 - não senoidal - inversor de tensão;
- c) se for com inversor, qual a frequência, 30 Hz ou 60 Hz.

```

ESCREVE(28,01,'*****');
ESCREVE(28,02,'* ENSAIO DA MAQUINA *');
ESCREVE(28,03,'*****');
ESCREVE(08,08,' A - CARGA NOMINAL');
ESCREVE(08,10,' B - EM VAZIO');
ESCREVE(08,05,' PARTIDA DA MAQUINA : ');
ESCREVE(08,12,'* COM INVERSOR ? S/N: ');
ESCREVE(08,14,'ESCOLHA A FREQUENCIA (HZ) : ');

```

Feitas as opções acima, deve-se escolher qual o tipo de funcionamento a que o motor de indução será submetido. O regime de funcionamento é escolhido através do menu dado abaixo:


```

ESCREVE(28,01,'*****');
ESCREVE(28,02,'* ENSAIO DA MAQUINA *');
ESCREVE(28,03,'*****');
ESCREVE(08,07,'S1 : ENSAIO CONTINUO');
ESCREVE(08,09,'S2 : ENSAIO DE TEMPO LIMITADO');
ESCREVE(08,11,'S3 : ENSAIO INTERMITENTE PERIODICO');
ESCREVE(08,13,'S4 : ENSAIO INTERMITENTE PERIODICO COM PARTIDAS');
ESCREVE(08,15,'S5 : ENSAIO INTER. PERIODICO COM FREN. ELETRICA');
ESCREVE(08,17,'S6 : ENSAIO CONTINUO COM CARGA INTERMITENTE');
ESCREVE(08,19,'S7 : ENSAIO COM FRENAGEM ELETRICA');
ESCREVE(08,21,'S9 : ENSAIO COM ROTOR BLOQUEADO');
ESCREVE(08,25,'ESCOLHA O TIPO DE ENSAIO : ');

```

Por exemplo, o ensaio a ser realizado é o do regime contínuo S1, com alimentação senoidal. Quando este regime é selecionado, devem ser definidos os tempos de operação do motor de indução. Devem ser definidos, para quase todos os tipos de regime, cinco tempos: tempo de partida (T_P), tempo de funcionamento (T_{ON}), tempo em vazio (T_v), tempo de frenagem (T_F), tempo de repouso (T_{OFF}).

No regime S1, só são definidos, pelo usuário, os tempos de partida e de funcionamento do motor. Os demais tempos são zerados automaticamente, evitando que o usuário defina tempos não existentes no regime escolhido, proporcionando proteção ao mesmo e ao sistema. Este procedimento ocorre para todos os regimes.

É necessário também, definir o número de dados de temperatura que se deseja adquirir durante os tempos de operação do motor. Para o regime S1 devem ser definidos apenas os números de pontos durante o tempo de partida (NT_P) e durante o tempo de funcionamento (NT_{ON}). Para os demais tempos de operação, os números de dados são zerados.

A relação entre o tempo de operação e o número de dados a serem adquiridos neste tempo, determina o intervalo (DELTA) entre as aquisições; e a soma de todos os tempos de operação, determina o tempo total (T_{TOT}) do ensaio.

```

ESCREVE(11,03,'* ENSAIO : ');
ESCREVE(11,05,'* TEMPOS (seg) : ');
ESCREVE(11,09,'* TEMPO DE PARTIDA - TP : ');
ESCREVE(11,11,'* TEMPO DE LIGADO - TON : ');
ESCREVE(11,13,'* TEMPO DE FRENAGEM ELETRICA - TF : ');
ESCREVE(11,15,'* TEMPO EM VAZIO - TV : ');
ESCREVE(11,17,'* TEMPO DE REPOUSO - TOFF : ');
ESCREVE(11,19,'* NUMERO DE CICLOS - N : ');
ESCREVE(11,21,'* NUMERO DE PONTOS : ');
ESCREVE(11,23,'- NTP : ');
ESCREVE(11,25,'- NTON : ');
ESCREVE(25,23,'- NTF : ');
ESCREVE(25,25,'- NTV : ');
ESCREVE(38,23,'- NTOFF : ');
CASE TMP OF
  '1' : BEGIN
    ESCREVE(23,03,'S1');
    ESCREVE(45,13,': 0');
    TF:= 0;
    ESCREVE(33,15,': 0');
    TV:= 0;
    ESCREVE(37,17,': 0');
    TOFF:= 0;
    ESCREVE(34,19,': 1');
    N:= 1;
    TP:=LeInteiro(09,37,02);
    TON:=LeInteiro(11,37,05);
    ESCREVE(33,23,'0');
    NTF:= 0;
    ESCREVE(33,25,'0');
    NTV:= 0;
    ESCREVE(48,23,'0');
    NTOFF:= 0;
    NTP:=LeInteiro(23,20,03);
    NTON:=LeInteiro(25,20,03);
    TTOT:= ((TP + TON + TF + TV + TOFF ) * N);
    TECLA:=ReadKey;
    END;

```

Com o regime de funcionamento escolhido (S1), é iniciado o ensaio através das instruções abaixo:

```

Begin      { inicio da aquisicao}
SetIntVec($B,@AQUISICAO);
  port[$21]:= port[$21] and $F7;
  TMP:= STR_CHAR(TENSAIO);
  ok := false;
  CASE TMP OF                                {realiza ensaio escolhido}
    '1' : Begin
      nptos := -1;

```

```

timev[0]:= 0;
timev1[0]:=0;
LABELS;
Assign(arg,'GRAF.dat');
reWrite(arg);
SetTime(0,0,0,0);
GetTime(hour, minute, second, s100);
tamos:= hour*360000.00+minute*6000.00+second*100.00+s100*1.0;
LIGARELE(2);
DELTA:= 100 * (TP / NTP);
DADOS(NTP + 1);
DELTA:= 100 * (TON / NTON);
DADOS(NTON);
DESLIGARELE(2);
DELAY(200);
DESLIGARELE(4);
DESLIGARELE(5);
Close(arg);
GR_DADOS;
GRAVADADOS;
End;

```

Inicialmente, gera-se a interrupção para o microcomputador através da instrução SetIntVec(\$B,Caquisição), de forma que possam ser iniciadas as aquisições. Abre-se então, um arquivo GRAF para armazenar os dados de temperatura adquiridos em memória RAM.

As rotinas do Turbo Pascal, SetTime e GetTime são utilizadas para zerar o relógio do microcomputador e para iniciar a contagem do tempo para as aquisições dos dados de temperatura.

O relé 2 é acionado determinando a partida do motor de indução através do fechamento do contator principal CM₁. São adquiridos os dados de temperatura para os tempos de operação TP e Ton, com os intervalos entre as aquisições definidas por DELTA, através da subrotina de aquisição de dados DADOS(NTP + 1) e DADOS(NTON).

Decorrido o tempo de operação do motor de indução, o mesmo é desligado pelo comando do relé 2. O mesmo procedimento é adotado para os demais relés previstos para o ensaio.

O arquivo de dados GRAF é fechado. Gravam-se o arquivo de dados para a obtenção das curvas (GR_DADOS), que nada mais é do que se renomear o arquivo GRAF, e o arquivo de dados para a planilha GRAVADADOS, finalizando o ensaio do motor de indução.

Terminado o ensaio, retorna-se automaticamente ao menu principal podendo-se escolher qualquer uma das opções possíveis, inclusive a realização de um novo ensaio.

```
ESCREVE(22,01,'*****');
ESCREVE(22,02,'* ENSAIO DE MAQUINAS ELETRICAS *');
ESCREVE(22,03,'*****');
ESCREVE(12,06,'1 - CALIBRAR SENSORES');
ESCREVE(12,08,'2 - ENSAIO DA MAQUINA');
ESCREVE(12,10,'3 - GRAFICOS');
ESCREVE(12,12,'4 - PLANILHA DE ENSAIO');
ESCREVE(12,14,'5 - SAIR DO PROGRAMA');
ESCREVE(12,18,'* ESCOLHA A OPCAO DESEJADA: ');
```

Os mesmos procedimentos devem ser realizados para os ensaios dos outros regimes de funcionamento do motor de indução, estabelecidos por norma e previstos neste programa.

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA EXPERIMENTAL E RESULTADOS

5.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados a descrição do sistema experimental utilizado e os resultados dos ensaios para a obtenção do comportamento térmico do motor de indução trifásico, com rotor em gaiola, sob diversas condições de funcionamento previstos pelas normas brasileira [6] e internacional [8].

Nestes ensaios, realizados em laboratório, foram utilizados um sistema de aquisição de dados e um sistema de automatização de ensaios, desenvolvidos nos capítulos anteriores.

Uma vez que o sistema permite que se possa trabalhar tanto com alimentação senoidal (rede) quanto com alimentação não-senoidal (inversor de tensão), pode-se realizar todos os regimes previstos por norma ou idealizar novos regimes.

Permite-se ainda a variação da carga no eixo do motor visto que a carga utilizada, para a realização dos ensaios, foi um ventilador industrial com entrada de ar ajustável.

5.2 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA EXPERIMENTAL

O sistema experimental está dividido em duas partes, utilizando os seguintes equipamentos (figura 5.1) :

- a)- Sistema de aquisição de dados e automatização :
 - a.1)- placa de aquisição de dados e acionamento de relés;

- a.2)- circuitos de sensoriamiento das temperaturas e condicionamento de sinais;
 - a.3)- circuitos optoacopladores;
 - a.4)- circuitos de relés;
 - a.5)- fonte de alimentação simétrica (+/-15V);
 - a.6)- fonte de alimentação regulável;
 - a.7)- microcomputador - padrão IBM-PC.
- b)- Sistema de acionamento :
- b.1)- motor de indução trifásico com rotor em gaiola, com os seguintes dados de placa :
 - potência nominal : 3 cv;
 - tensão nominal : 220 V (Δ);
 - corrente nominal : 9,2 A;
 - corrente de partida : 7 In;
 - velocidade nominal : 1710 rpm;
 - frequência : 60 Hz;
 - fator de potência : 0,85;
 - fator de serviço : 1,25;
 - classe de isolamento : B;
 - regime : S1;
 - rendimento : 80 %;
 - b.2)- inversor de tensão trifásico com as seguintes características :
 - potência : 2,2kW;
 - tensão : 220V;
 - corrente : 12A;
 - aplicação : acionamento de motor de indução;
 - V/Hz constante de 7 a 60 Hz (operação em até 115 Hz);
 - modo de operação : PWM (modulação por largura de pulso).
 - b.3)- Carga :
 - ventilador tubular com entrada de ar lateral;

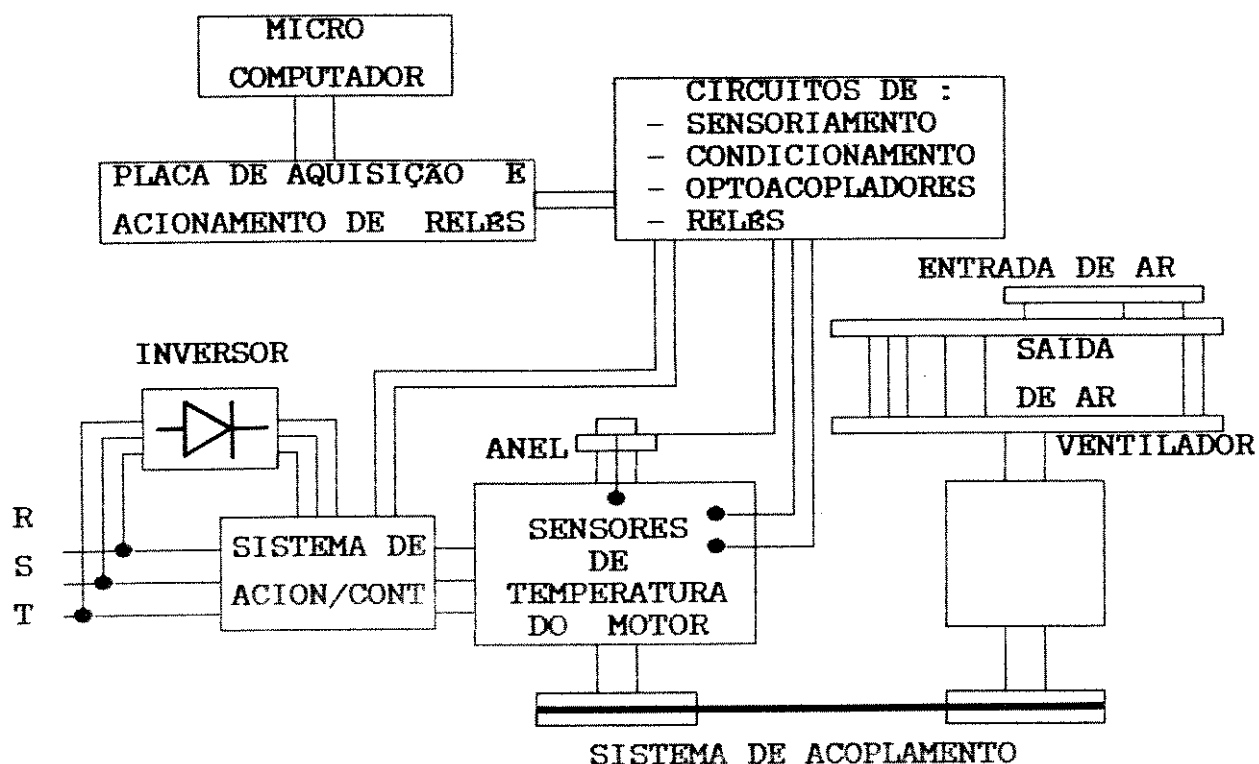


Figura 5.1 : Diagrama de blocos do sistema experimental.

A abertura total da entrada de ar do ventilador tubular é ajustada para o motor de indução na condição nominal.

São definidas duas aberturas para a entrada de ar do ventilador. Através de um eletroímã, comandado pelo relé 5, visto no capítulo 3, pode-se ter a entrada de ar totalmente fechada (motor em vazio) ou a entrada de ar com abertura que forneça ao motor carga nominal.

O motor de indução e o ventilador tubular (carga) são acoplados mecanicamente através de um sistema de polias e correia, como mostrado na figura 5.1.

5.3 - ENSAIOS

Para a realização dos ensaios do motor de indução trifásico, visando obter seu comportamento térmico utilizando o sistema de aquisição de dados e automatização de ensaios, foram utilizados os seguintes regimes de funcionamento previstos em [6] e [8].

5.3.1 - REGIME S1 - REGIME CONTÍNUO

Este regime é caracterizado pelo funcionamento do motor em carga constante durante um tempo suficiente para que o motor atinja o equilíbrio térmico (figura 5.2).

Neste caso, o tempo de funcionamento deve ser de, no mínimo, 3 vezes a maior constante de tempo do motor de tal modo que a máxima temperatura do motor, para a carga em questão, seja atingida.

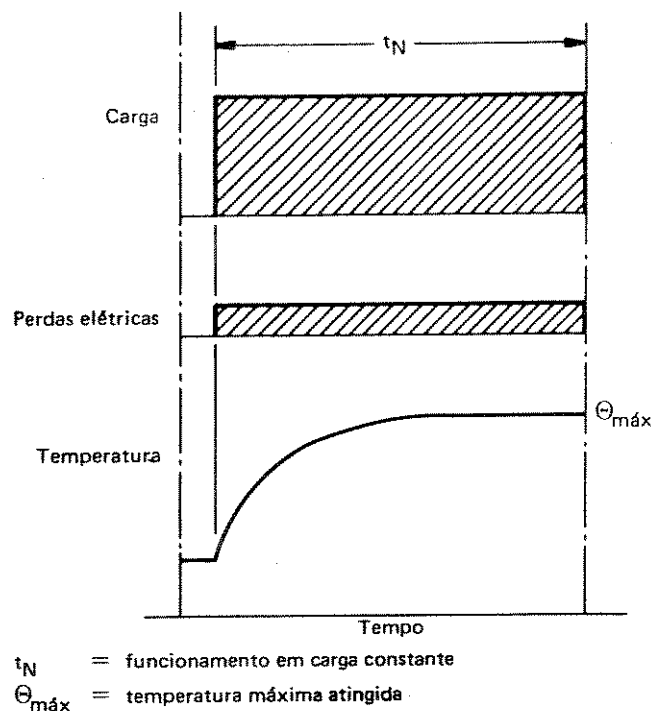


Figura 5.2 : Regime contínuo S1 [10].

Foram realizados três ensaios do motor de indução neste regime, com duração de 2 horas :

a) Motor com carga nominal alimentado diretamente da rede elétrica (220V) - alimentação senoidal.

b) Motor com carga nominal alimentado por um inversor de tensão (220V) em frequência de 60Hz - alimentação não senoidal.

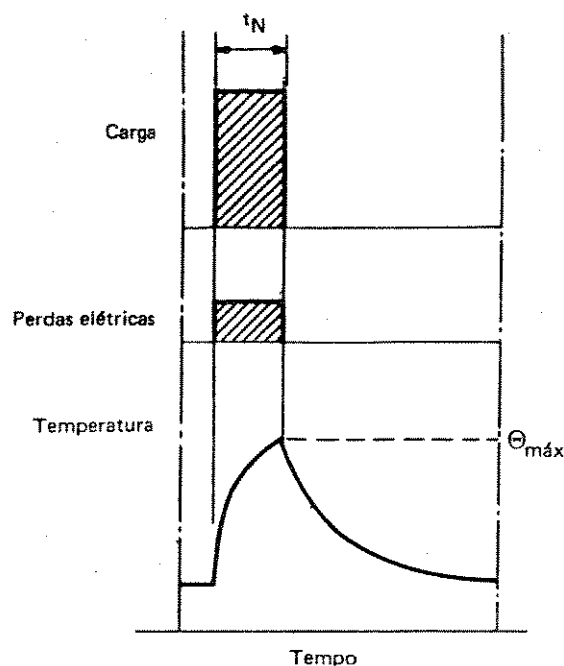
c) Motor com carga nominal alimentado por inversor de tensão, com frequência 30Hz com a correspondente tensão de aproximadamente 130V para manter V/f aproximadamente constante - alimentação não senoidal.

5.3.2 - REGIME S2 - REGIME DE TEMPO LIMITADO

Este regime é caracterizado pelo funcionamento do motor, em carga constante, durante um dado intervalo de tempo, menor do que o necessário para que o motor entre em regime permanente, seguido de um intervalo de tempo de repouso desenergizado, tal que a máquina atinja a temperatura de fluido de refrigeração, antes de nova operação (figura 5.3).

Neste regime, o motor não atinge a temperatura máxima de S1. A norma [6] recomenda os seguintes intervalos de tempo de funcionamento em carga constante : 10, 30, 60 e 90 minutos.

Foi realizado o seguinte ensaio : Funcionamento em carga nominal, com alimentação senoidal a partir da rede elétrica (220V), durante 1 hora, a seguir repouso de 2 horas até a máquina atingir o equilíbrio térmico com o ar ambiente.



t_N = funcionamento em carga constante
 $\Theta_{máx}$ = temperatura máxima atingida durante o ciclo

Figura 5.3 : Regime de Tempo Limitado S2 [10].

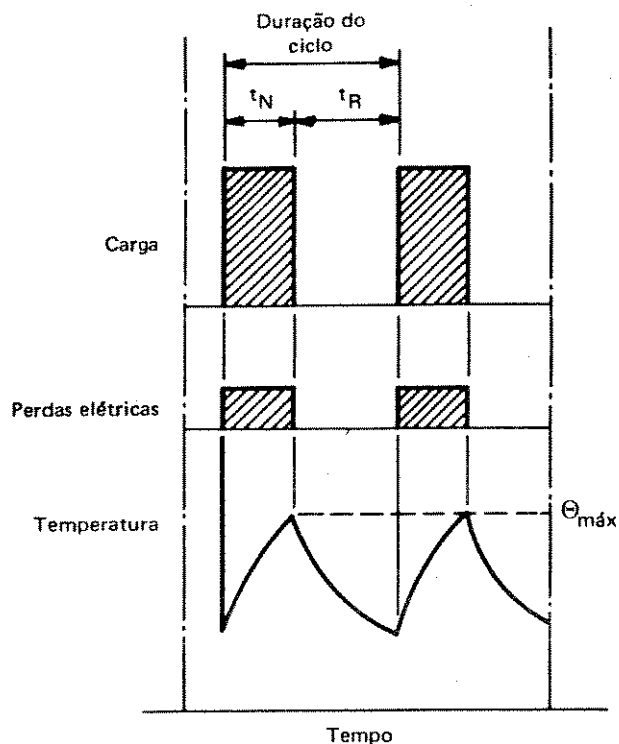
5.3.3 - REGIME S3 - REGIME INTERMITENTE PERIÓDICO

Este regime é caracterizado por uma sequência de ciclos idênticos com duração $t_c = t_N + t_R$, que incluem um período de funcionamento em carga constante, de duração t_N , e um de repouso, com duração t_R . Neste regime o ciclo é tal que a corrente de partida não afeta significativamente a elevação de temperatura e a duração do ciclo t_c é pequena, máximo de aproximadamente 10 minutos, para que o equilíbrio térmico seja alcançado após algum tempo (figura 5.4).

Define-se como fator de duração do ciclo com sendo o número :

$$FDC = \frac{t_N}{t_c} \times 100\%$$

A norma [6] padroniza fatores de duração de ciclo de 15%, 25%, 45% e 60%.



t_N = funcionamento em carga constante
 t_R = repouso
 $\Theta_{máx}$ = temperatura máxima atingida durante o ciclo

Figura 5.4 : Regime Intermitente Periódico S3 [10].

Foi realizado o seguinte ensaio : Funcionamento com carga nominal e tensão nominal, senoidal, da rede elétrica (220 V), utilizando os seguintes tempos : t_N = 7,2 minutos; t_R = 4,8 minutos; t_c = 12 minutos e número de ciclos N = 10.

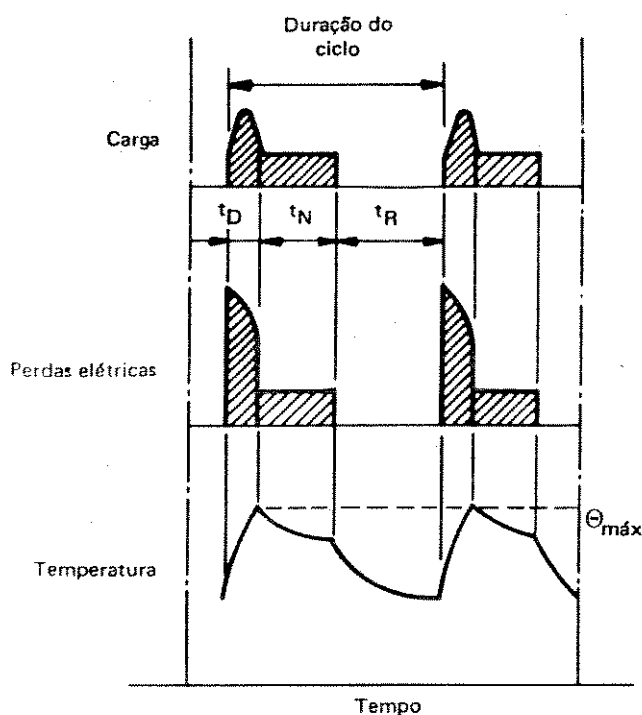
5.3.4 - REGIME S4 - REGIME INTERMITENTE PERIÓDICO COM PARTIDAS

Este regime é caracterizado por uma sequência de ciclos idênticos com duração $t_c = t_d + t_N + t_R$, onde se inclui um período significativo de partida (t_d), um de funcionamento em carga constante (t_N) e outro de repouso (t_R) (figura 5.5). A mesma consideração feita em S3 para t_c é válida.

Define-se, analogamente ao S3 :

$$FDC = \frac{t_D + t_N}{t_C} \times 100\%$$

A padronização da norma [6], apresentada no regime S3, vale também aqui e nos regimes seguintes a serem apresentados.



- t_D = partida
- t_N = funcionamento em carga constante
- t_R = repouso
- $\Theta_{máx}$ = temperatura máxima atingida durante o ciclo

Figura 5.5 : Regime Intermitente Periódico com Partidas S4 [10].

Foram realizados dois ensaios com carga nominal e tensão nominal, senoidal, da rede elétrica :

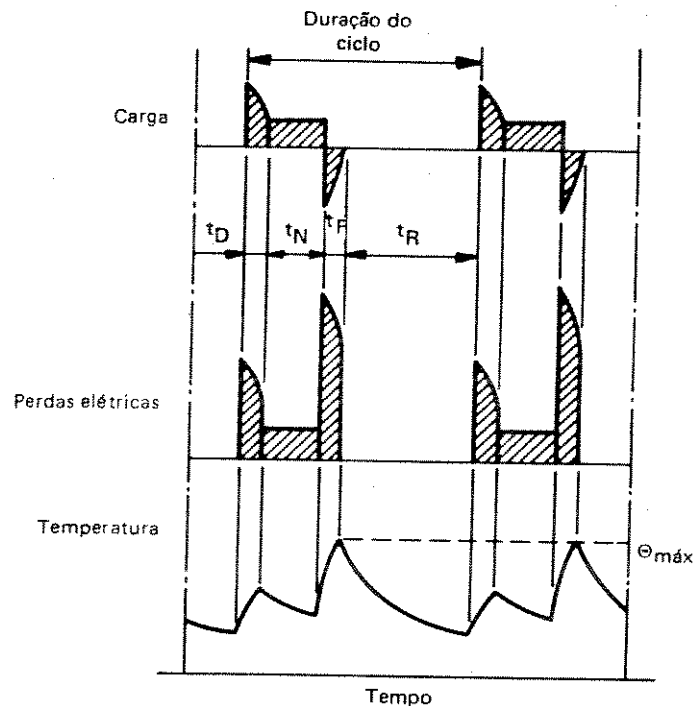
- a)- t_D = 10 segundos; t_N = 7,03 minutos; t_R = 4,8 minutos; t_C = 12 minutos; FDC = 60%; total de 10 ciclos.
- b)- t_D = 10 segundos; t_N = 2 minutos; t_R = 1 minuto; t_C = 3 minutos; FDC= 66,67% (não padronizado); total de 20 ciclos.

5.3.5 - REGIME S5 - REGIME INTERMITENTE PERIÓDICO COM FRENAÇÃO ELÉTRICA

Este regime é caracterizado por uma sequência de ciclos idênticos com duração $t_c = t_D + t_N + t_F + t_R$ consistindo de um período de partida (t_D), um de funcionamento em carga constante (t_N), um de frenagem elétrica rápida (t_F) e outro de repouso (t_R) (figura 5.6). A mesma consideração feita em S3 par t_c é válida.

Define-se :

$$FDC = \frac{t_D + t_N + t_F}{t_c} \times 100\%$$



- t_D = partida
- t_N = funcionamento em carga constante
- t_F = frenagem elétrica
- t_R = repouso
- $\Theta_{máx}$ = temperatura máx. atingida durante o ciclo

Figura 5.6 : Regime Intermitente Periódico com Frenagem Elétrica S5 [10].

No ensaio do motor para este tipo de regime, com funcionamento em carga nominal, com alimentação diretamente da rede elétrica (220V), foram utilizados os seguintes tempos em minutos: $t_c = 10$; $t_d = 0,17$; $t_n = 5,67$; $t_f = 0,17$; $t_r = 4$; número de ciclos = 12.

O tipo de frenação utilizado foi por inversão de fase que tem efeito térmico equivalente a 3 partidas sucessivas do motor, visto que a corrente que circula no motor, durante a frenação é igual à corrente de partida do motor [9].

Pelo fato deste tipo de frenação apresentar alto conjugado o motor foi ensaiado desacoplado do ventilador, já que este apresenta inércia muito grande, podendo-se ter danos mecânicos no motor.

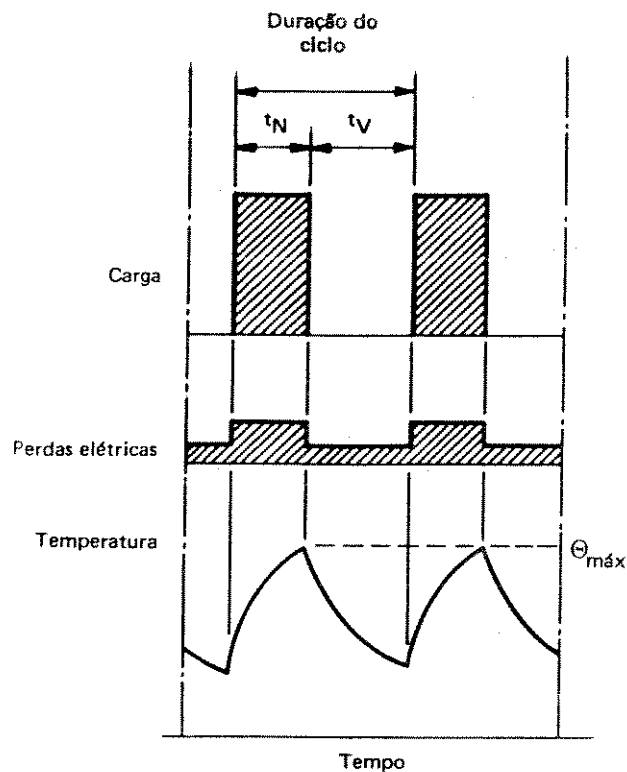
5.3.6 - REGIME S6 - REGIME DE FUNCIONAMENTO CONTÍNUO COM CARGA INTERMITENTE

Este regime se caracteriza por uma sequência de ciclos idênticos, com duração $t_c = t_n + t_v$, constituído de um período de funcionamento em carga constante (t_n) e outro de funcionamento em vazio (sem carga mas girando) (t_v) (figura 5.7). A mesma consideração feita em S3 para t_c é válida.

Define-se :

$$FDC = \frac{t_n}{t_c} \times 100\%$$

Neste regime o motor foi ensaiado com carga nominal, alimentado diretamente da rede elétrica (220V), com os seguintes tempos em minutos : $t_n = 5$; $t_v = 5$; número de ciclos = 12.



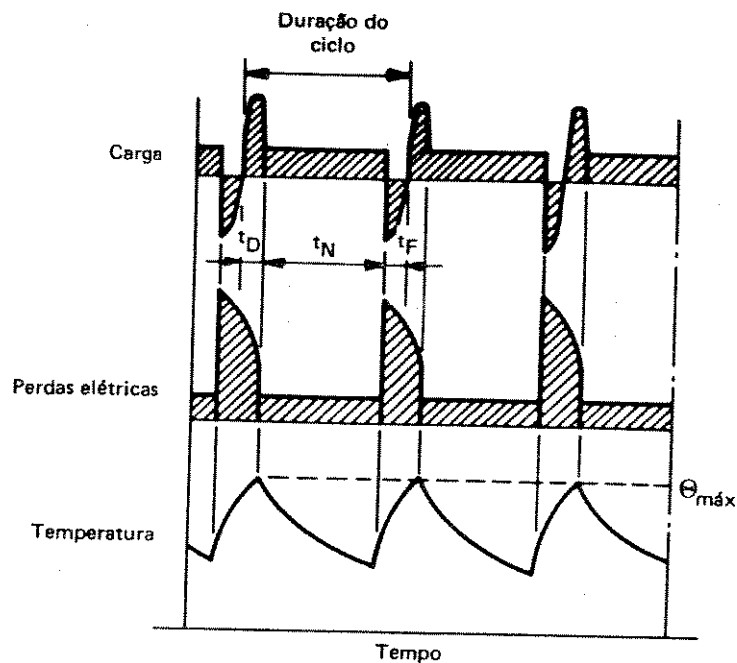
- t_N = funcionamento em carga constante
 t_V = funcionamento em vazio
 $\Theta_{máx}$ = temperatura máxima atingida durante o ciclo

Figura 5.7 : Regime de Funcionamento Contínuo com Carga Intermitente S6 [10].

5.3.7 - REGIME S7 - REGIME INTERMITENTE COM FRENAÇÃO ELÉTRICA

Este regime é caracterizado por uma sequência de ciclos idênticos com duração $t_c = t_D + t_N + t_F$ e $FDC = 1$ (figura 5.8).

Neste regime o ensaio foi realizado com carga nominal, alimentação da rede elétrica (220V), com os seguintes tempos em minutos : $t_D = 0,17$; $t_N = 11,67$; $t_F = 0,17$; número de ciclos = 10.



- t_D = partida
- t_N = funcionamento em carga constante
- t_F = frenagem elétrica
- $\Theta_{máx}$ = temperatura máxima atingida durante o ciclo

Figura 5.8 : Regime Intermitente com Frenagem Elétrica S7
[10].

5.3.8 - REGIME S8 - REGIME DE FUNCIONAMENTO CONTÍNUO COM MUDANÇA PERIÓDICA NA RELAÇÃO CARGA / VELOCIDADE

Este regime é caracterizado por uma sequência de ciclos idênticos, com duração $t_c = t_D + t_{N1} + t_{F1} + t_{N2} + t_{F2} + t_{N3}$, consistindo de um período de partida, um de funcionamento com carga constante correspondente a uma velocidade pré-determinada n_1 (t_{N1}) seguido de frenagem (t_{F1}), operação com carga constante em velocidade n_2 (t_{N2}), frenagem (t_{F2}) e carga constante à velocidade n_3 (t_{N3}) (figura 5.9). A mesma consideração de S3 é válida para t_c .

Define-se os fatores de duração do ciclo como :

$$FDC = \frac{t_{D1} + t_{N1}}{t_c} \times 100\%$$

$$FDC = \frac{t_{F1} + t_{N2}}{t_c} \times 100\%$$

$$FDC = \frac{t_{F2} + t_{N3}}{t_c} \times 100\%$$

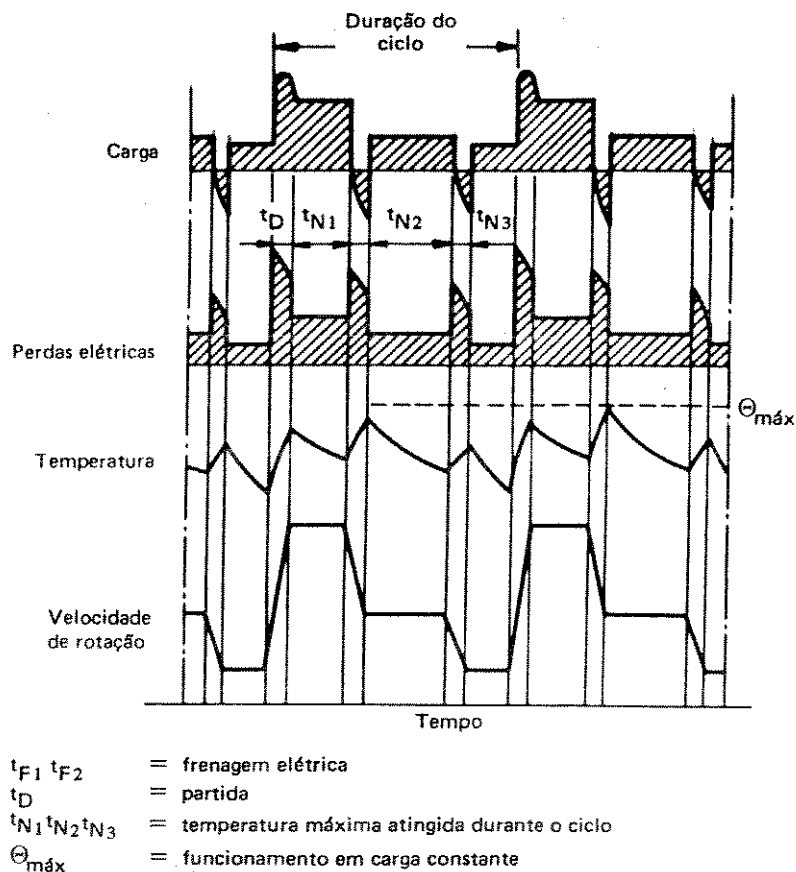


Figura 5.9 : Regime de Funcionamento Contínuo com Mudança Periódica na Relação Carga / Velocidade S8 [10].

O regime S8 não pode ser realizado devido a característica da carga utilizada. Porém, foi realizado um ensaio com variação de velocidade utilizando-se o inversor de tensão. O motor alimentado pelo inversor de tensão, partiu com tensão de 220V, 60Hz (t_D = 0,17 minutos) e permaneceu funcionando durante um intervalo de tempo t_{N1} = 5,83 minutos quando a tensão passou para

cerca de 130V, 30Hz durante um intervalo de tempo $t_{nz} = 6$ minutos. O número de ciclos foi de 10.

5.4 - RESULTADOS

Apresenta-se os resultados obtidos nos ensaios descritos no item anterior. Os ensaios foram realizados automaticamente, a partir do teclado de um microcomputador conforme mostram as telas de vídeo das figuras 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14 e 5.15, referentes a um exemplo de ensaio do regime S5. Os resultados dos ensaios são apresentados através das curvas de elevação de temperatura no enrolamento do estator (curva a), de elevação de temperatura no núcleo do estator (curva b) e de elevação de temperatura no núcleo do rotor (curva c).

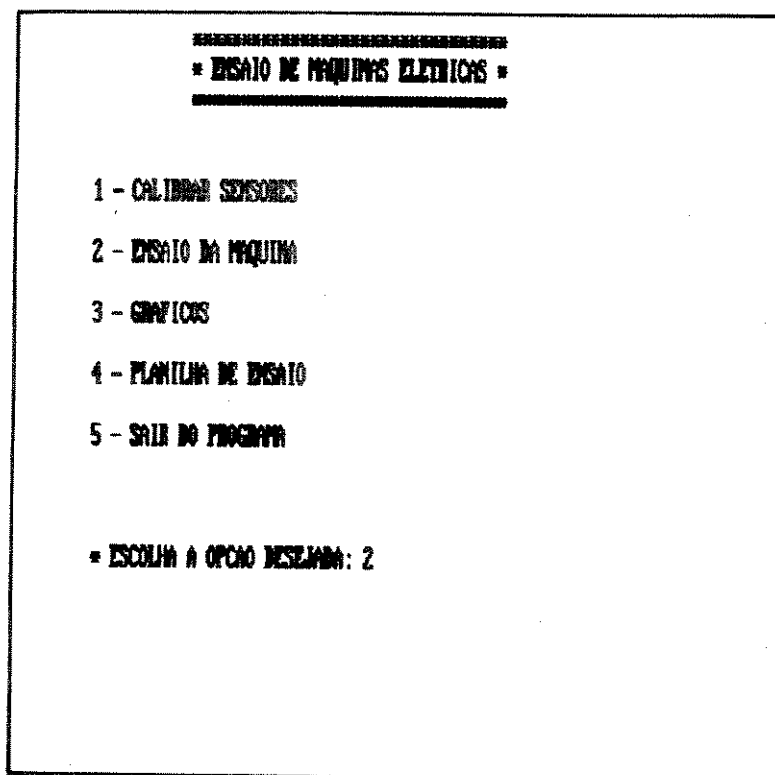


Figura 5.10 : Tela 1 - Menu principal.

*** CARACTERÍSTICAS DA MÁQUINA ***

- DADOS DE PLACA -

TIPO:	MOTOR	VELOCIDADE CRÍTICA:	1710.00
POTÊNCIA (CV):	3.00	TIPO DE REGIME:	SI
TENSÃO (V):	220.00	CLASSE DE ISOLAMENTO:	B
FREQUÊNCIA (HZ):	60.00	FATOR DE POTÊNCIA:	0.85
CORRENTE NOMINAL (A):	9.20	FATOR DE SERVIÇO:	1.25
CORRENTE DE PARTIDA :	7.00	RENDIMENTO (%):	88.00

Figura 5.11 : Tela 2 - Dados do motor a ser ensaiado.

*** ENSAIO DA MÁQUINA ***

PARTIDA DA MÁQUINA : B

A - CARGA NOMINAL

B - EM VAZIO

* COM INVERSOR ? S/N: N

Figura 5.12 : Tela 3 - Seleção do tipo de carga e alimentação do motor.

*** ENSAIO DA MAQUINA ***

S1 : REGIME CONTINUO

S2 : REGIME DE TEMPO LIMITADO

S3 : REGIME INTERMITENTE PERIODICO

S4 : REGIME INTERMITENTE PERIODICO COM PARTIDAS

S5 : REGIME INTERMITENTE PERIODICO COM FREMÇÃO ELETRICA

S6 : REGIME CONTINUO COM CARGA INTERMITENTE

S7 : REGIME COM FREMÇÃO ELETRICA

S9 : ENSAIO COM MOTOR BLOQUEADO

ESCOLHA O TIPO DE ENSAIO : S5

Figura 5.13 : Tela 4 - Seleção do regime de funcionamento do motor.

* ENSAIO : S5

* TEMPOS (seg) :

* TEMPO DE PARTIDA - TP : 5

* TEMPO DE LIGADO - TON : 20

* TEMPO DE FREMÇÃO ELETRICA - TE : 5

* TEMPO EM VAZIO - TV : 0

* TEMPO DE REPOUSO - TOFF : 5

* NUMERO DE CICLOS - N : 10

* NUMERO DE PONTOS :

- NTP : 5 - NTE : 5 - NTOFF : 5

- NTON : 20 - NTV : 0

Figura 5.14 : Tela 5 -Escolha dos tempos de operação, número de ciclos e número de aquisição para cada tempo de operação.

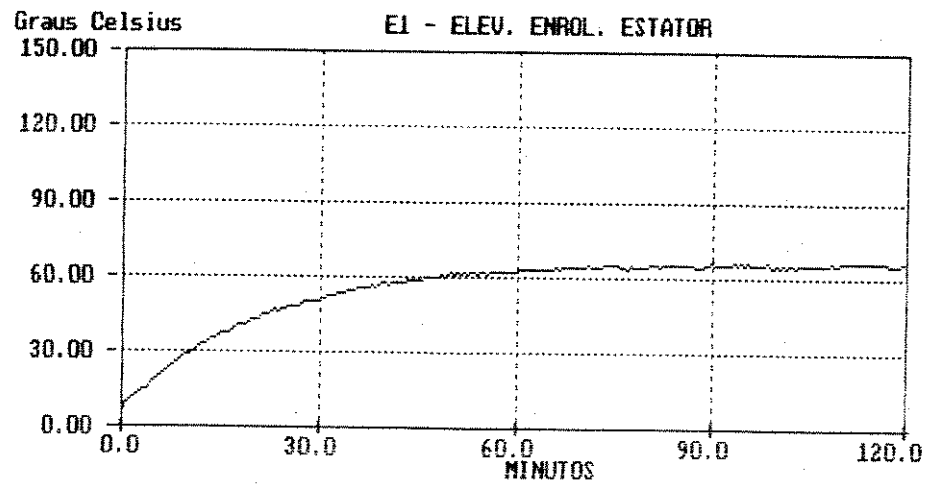
* MÁQUINA ENSAIADA : MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO - CAIOLA							
POTENCIA (CV)	: 3.0	TIPO DE REGIME	: S1				
TENSÃO (V)	: 220.00	CLASSE ISOLAMENTO	: B				
FREQUENCIA (HZ)	: 60	FATOR DE SERVIÇO	: 1.25				
VELOCIDADE (RPM)	: 1.78-6003	FATOR DE POTENCIA	: 0.85				
CORRENTE NOMINAL (A)	: 9.20	RENDIMENTO (%)	: 80.00				
CORRENTE DE PARTIDA (IP/IN)	: 7.00						
* TIPO DE ENSAIO : S5 : REGIME INTERMITENTE PERIÓDICO COM FREIAMENTO ELÉTRICO SEM INVERSON DE FREQUENCIA - F = 60HZ							
TEMPO (SEG)	TEMPERATURA (C)			ELEVAÇÃO (C)			
t	T1	T2	T3	T4	E1	E2	E3
0.00	22.3	22.3	22.4	23.3	0.0	0.1	1.1
25.00	22.1	23.2	22.4	22.9	1.1	0.3	0.8
175.00	21.3	20.5	25.6	27.5	7.2	4.3	6.1

Figura 5.15 : Tela 6 - Planilha de ensaio do motor de indução

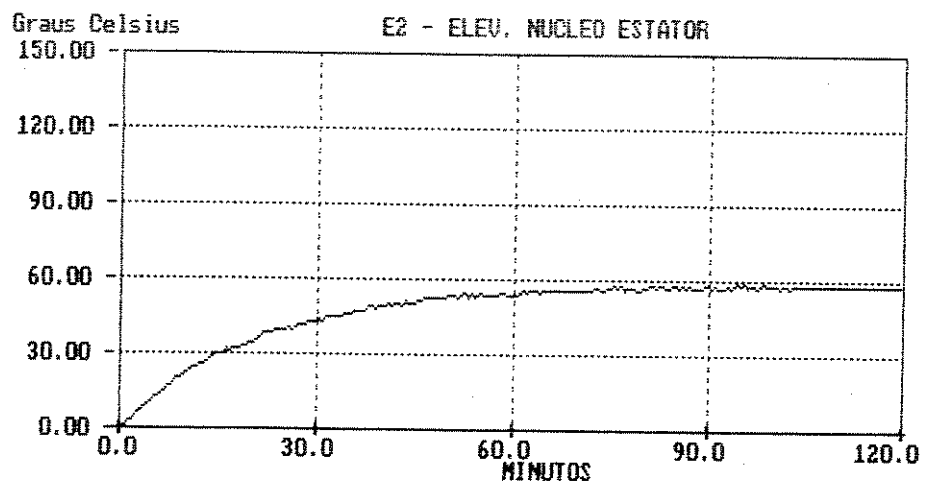
* ARQUIVO DE DADOS PARA GRÁFICOS (S-G.DAT) : SSG.DAT	
* ARQUIVO DA PLANILHA DE DADOS (S-P.DAT) : SSP.DAT	

Figura 5.16 : Tela 7 - Arquivos para gráficos e planilhas.

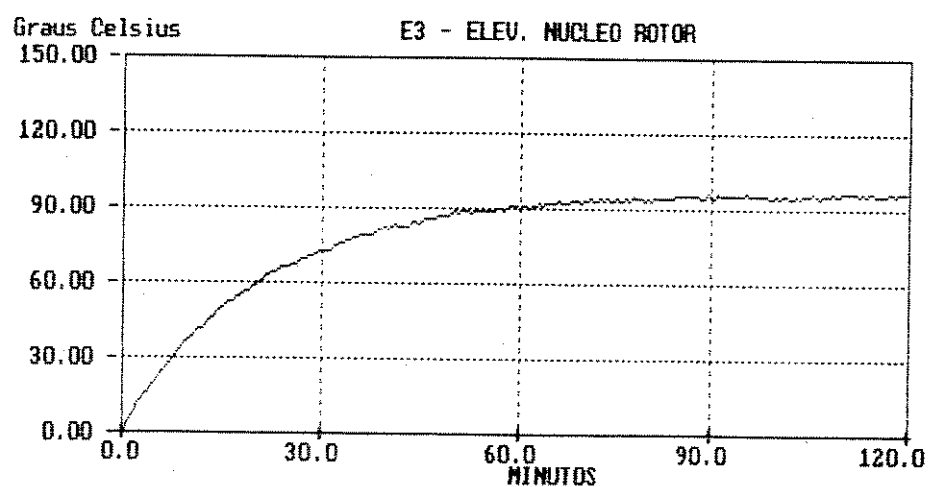
5.4.1 - REGIME S1



(a)

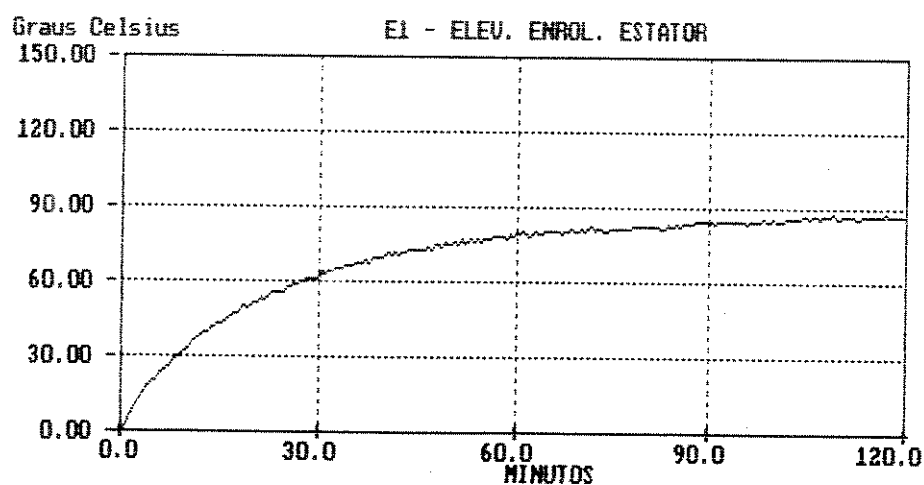


(b)

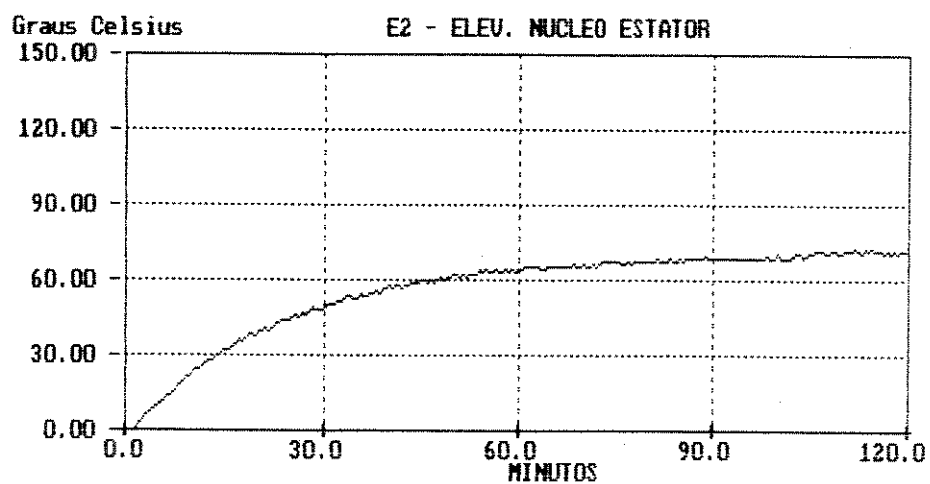


(c)

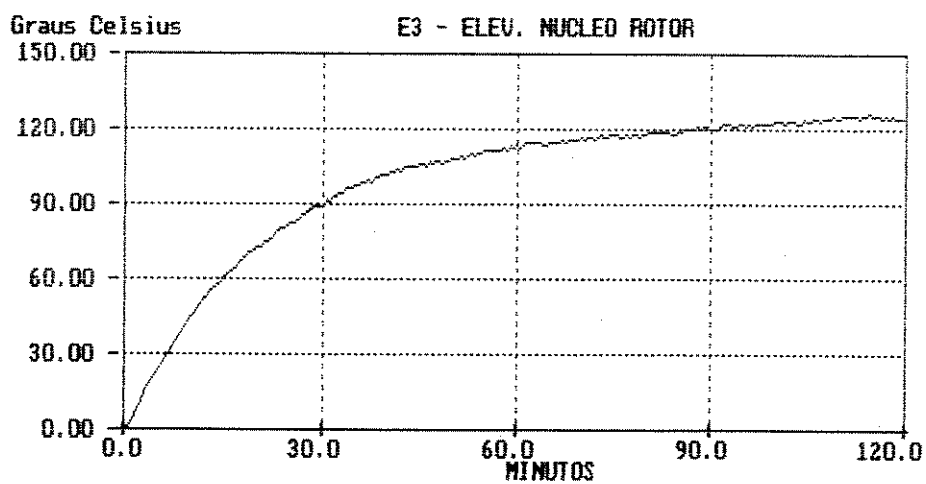
FIGURA 5.17 - Elevações de temperatura do motor, em regime S1, com carga nominal alimentado diretamente da rede elétrica (220V) - alimentação senoidal.



(a)

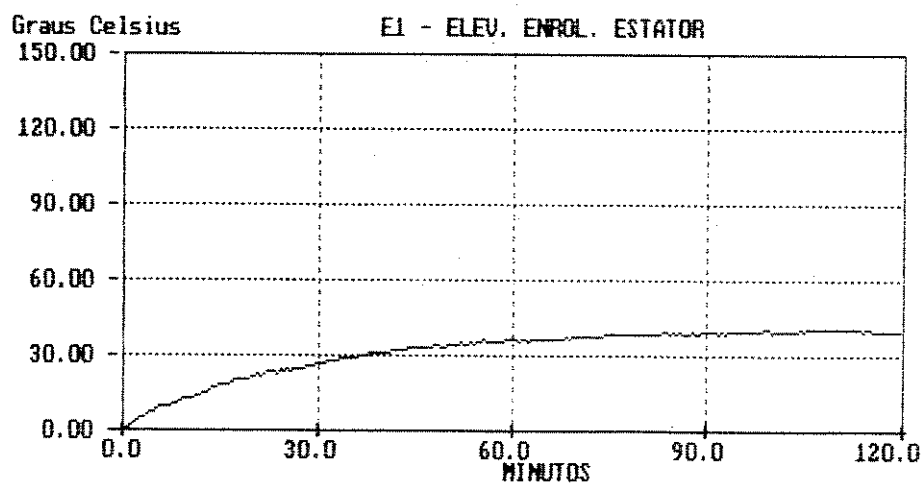


(b)

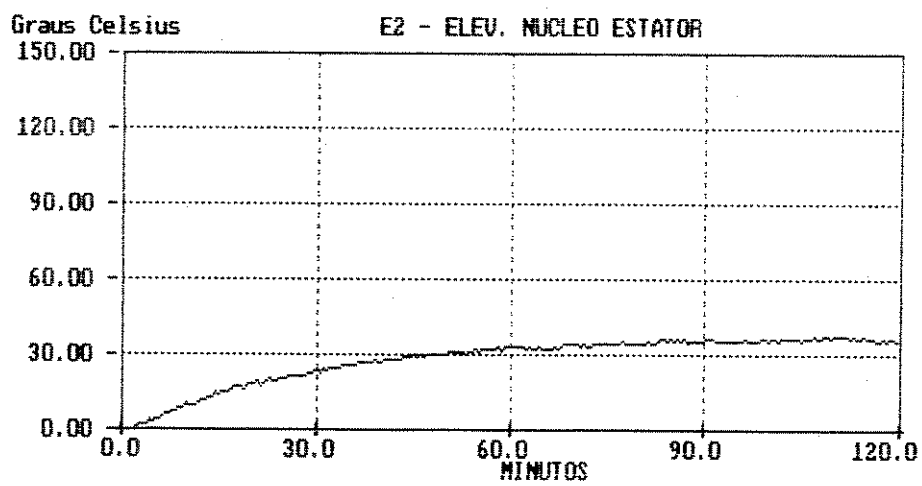


(c)

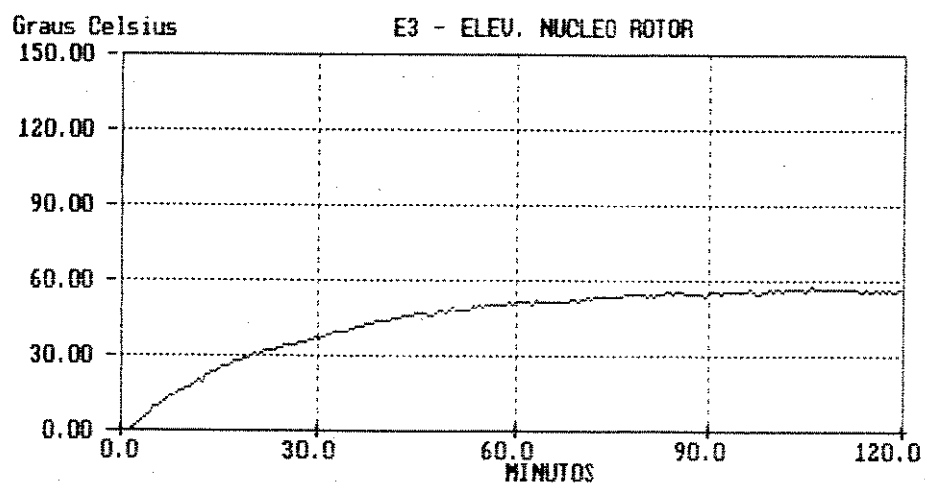
FIGURA 5.18 - Elevações de temperatura do motor, em regime S1, com carga nominal alimentado por inversor de tensão (220V), em frequência de 60Hz - alimentação não senoidal.



(a)



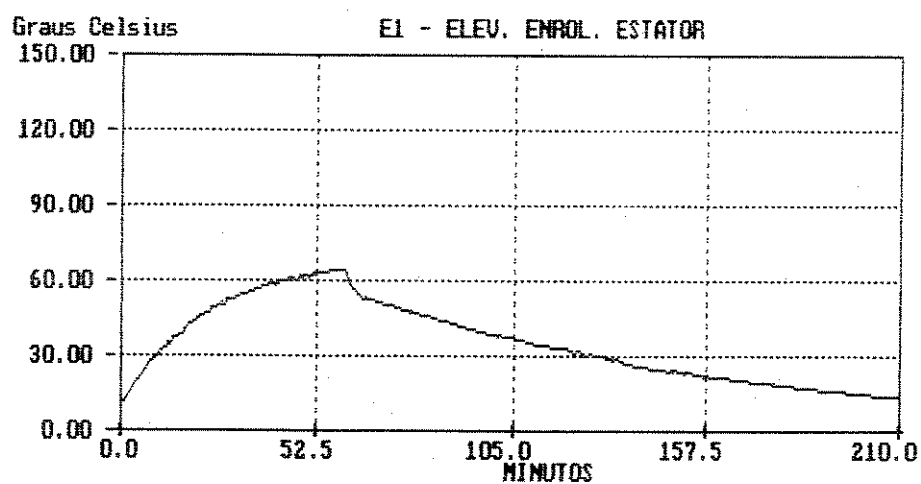
(b)



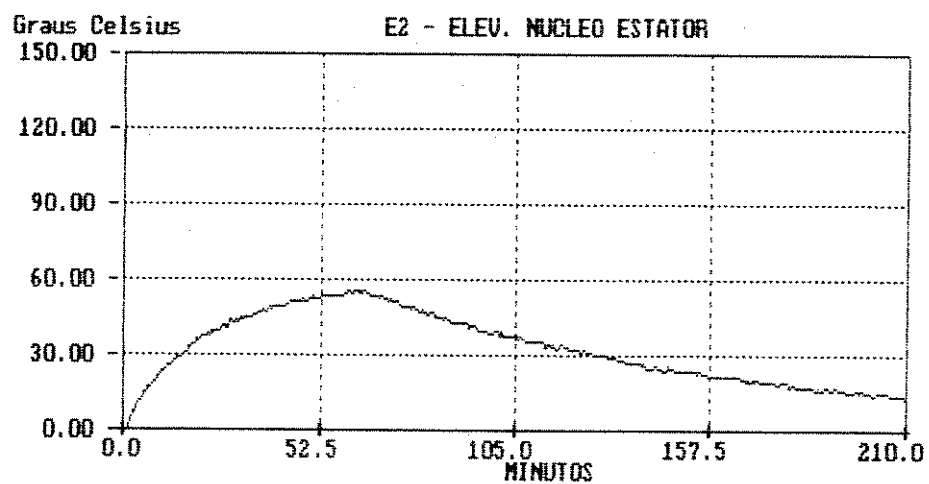
(c)

FIGURA 5.19 - Elevações de temperatura do motor, em regime S1, com carga nominal alimentado por inversor de tensão (130V) em frequência de 30Hz - alimentação não senoidal.

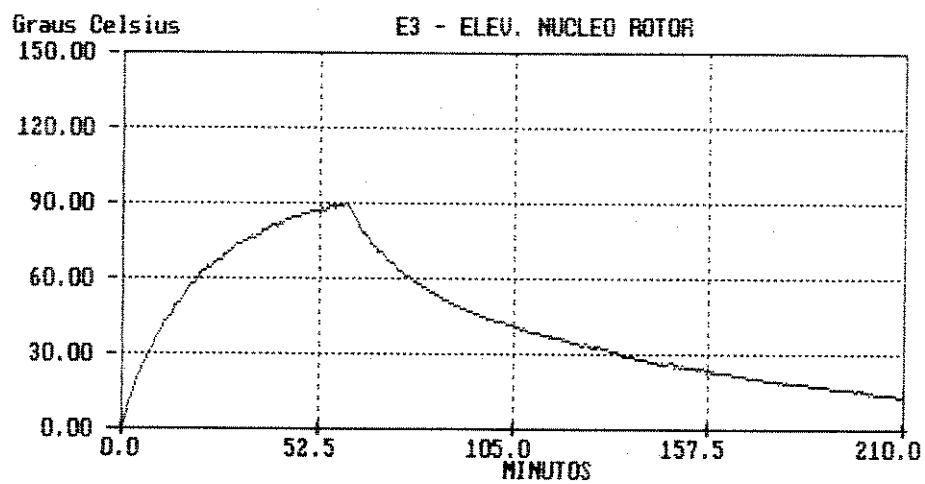
5.4.2 - REGIME S2



(a)



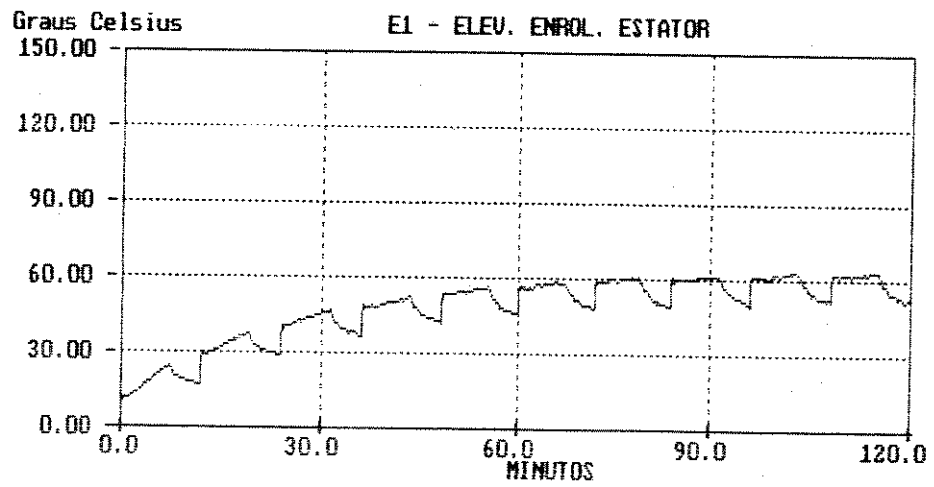
(b)



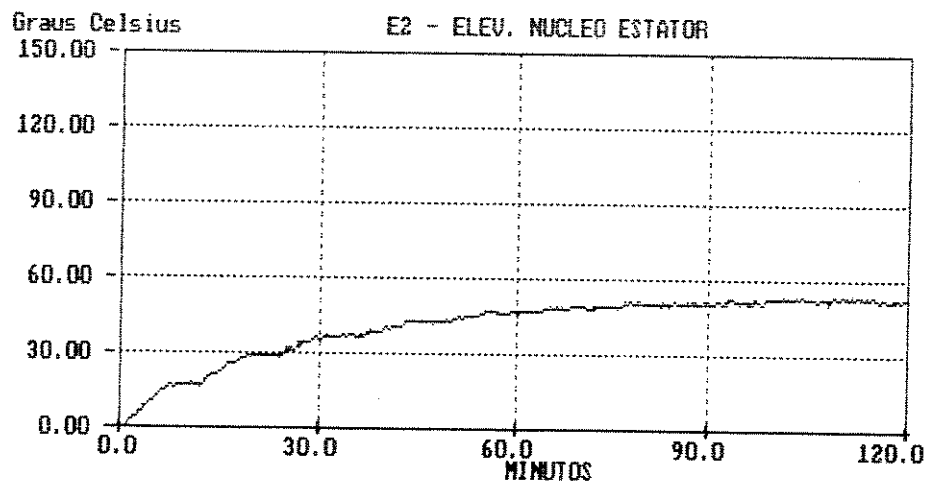
(c)

Figura 5.20 : Elevações de temperatura do motor, em regime S2, com carga nominal alimentado diretamente da rede elétrica (220 V) - alimentação senoidal.

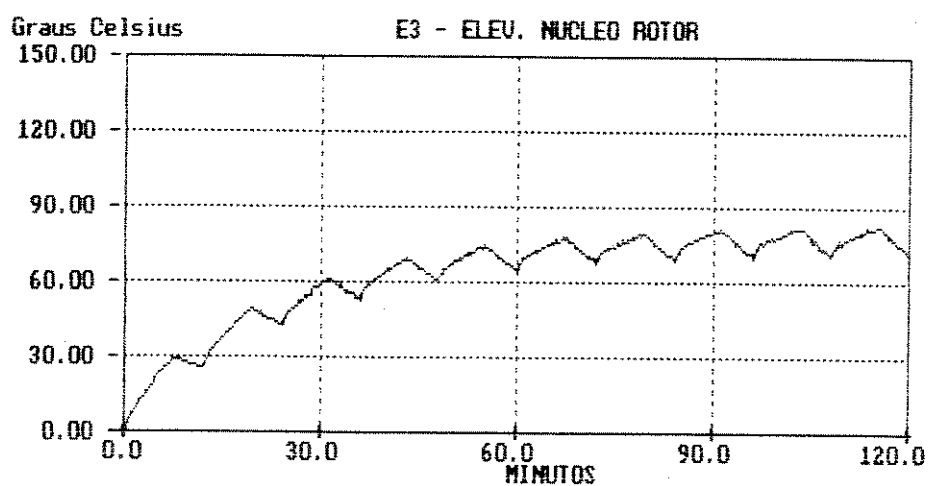
5.4.3 - REGIME S3



(a)



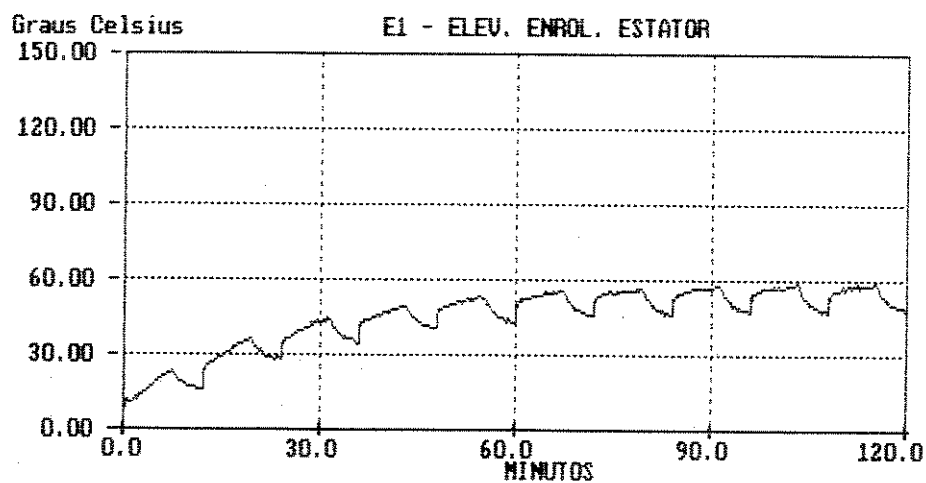
(b)



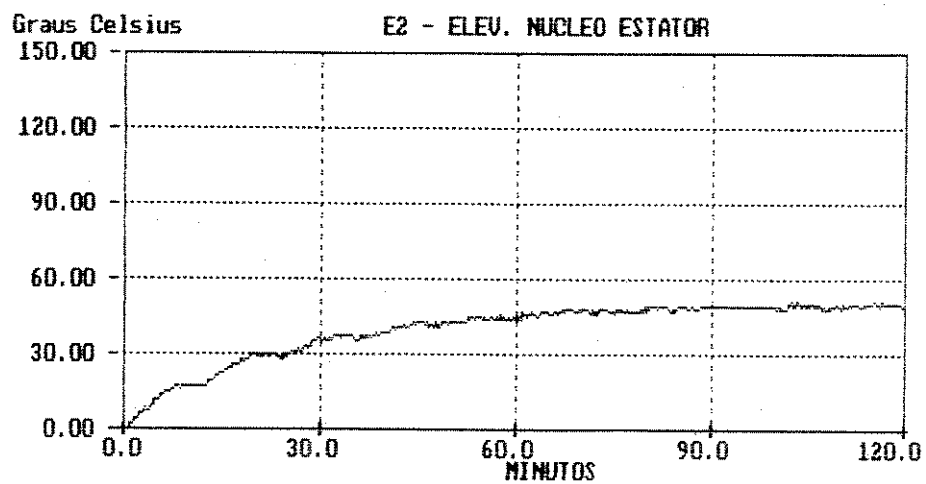
(c)

Figura 5.21 : Elevações de temperatura do motor, em regime S3, com carga nominal alimentado diretamente da rede elétrica (220 V) - alimentação senoidal.

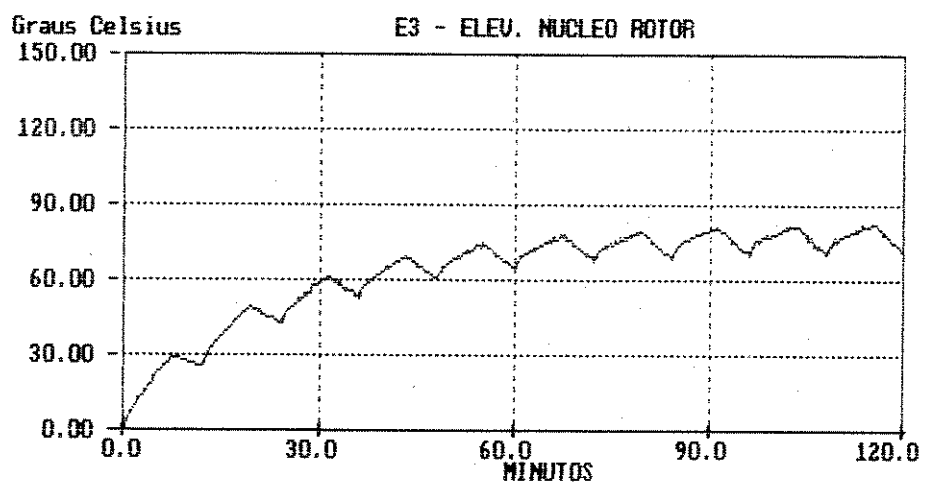
5.4.4 - REGIME S4



(a)



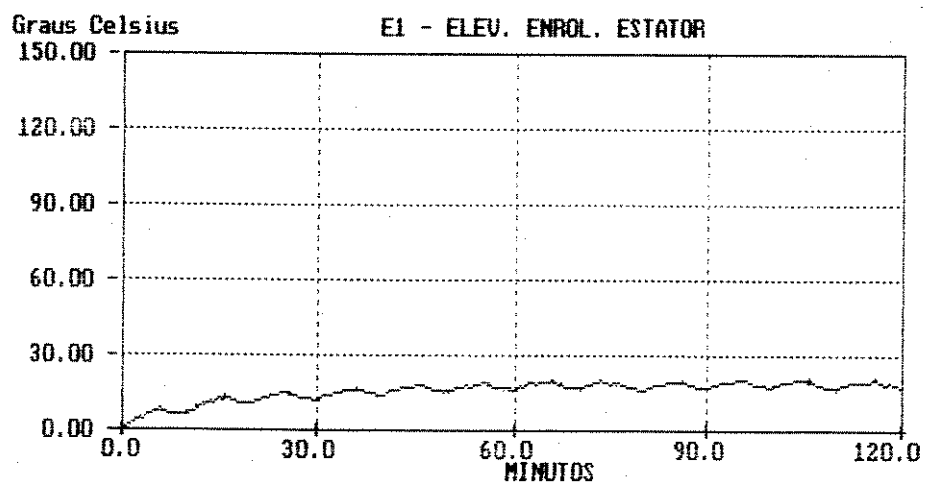
(b)



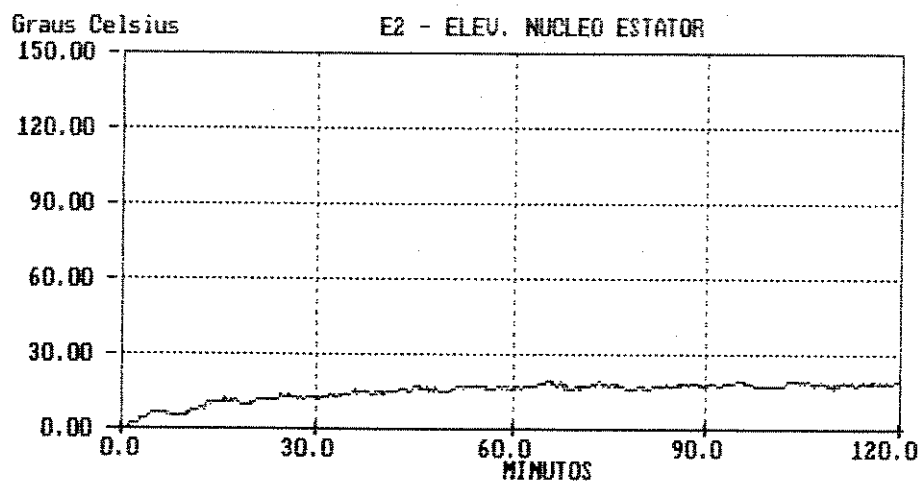
(c)

Figura 5.22 : Elevações de temperatura do motor, em regime S4, com carga nominal alimentado diretamente da rede elétrica (220 V) - alimentação senoidal.

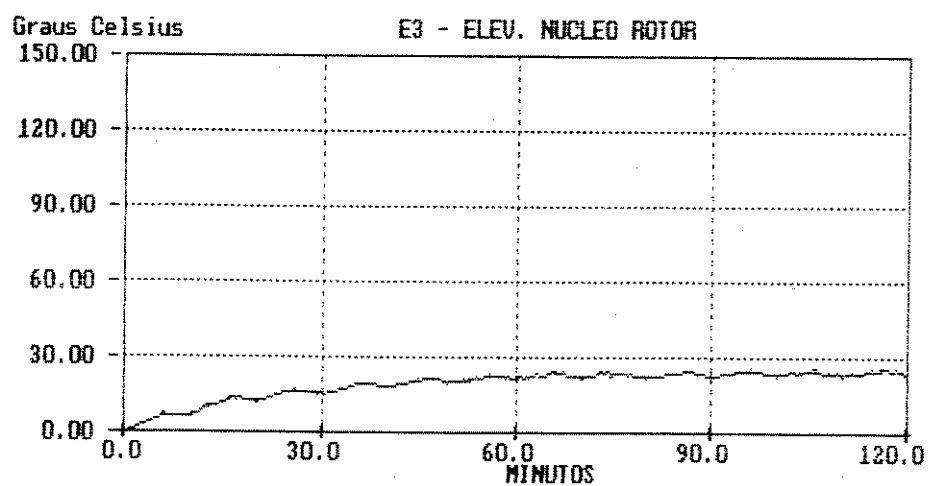
5.4.5 - REGIME S5



(a)



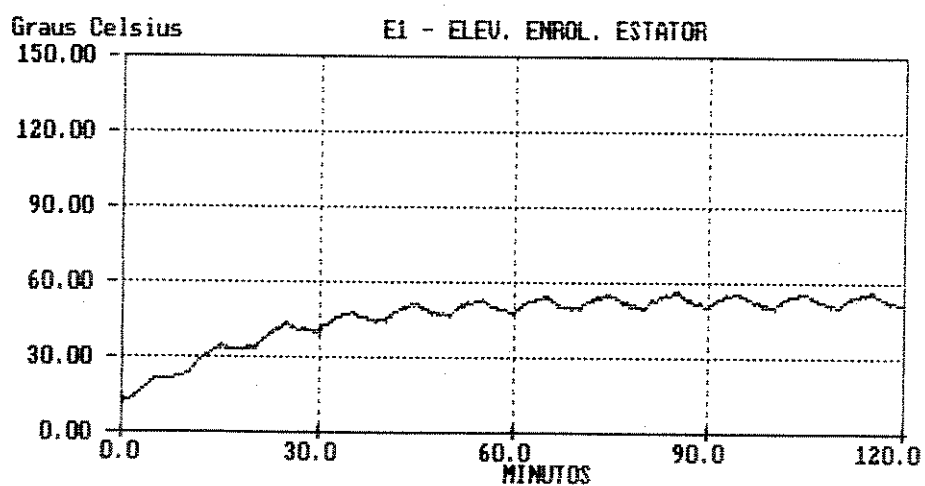
(b)



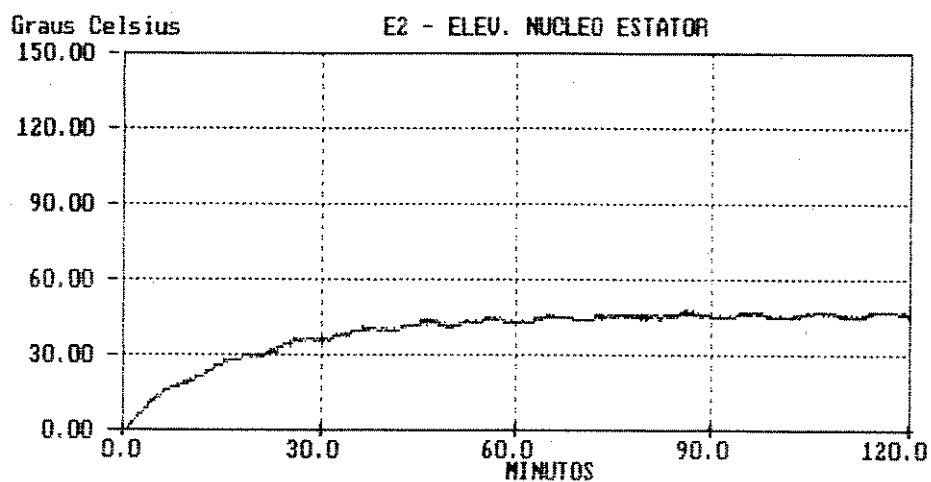
(c)

Figura 5.23 : Elevações de temperatura do motor, em regime S5, operando em vazio alimentado diretamente da rede elétrica (220 V) - alimentação senoidal.

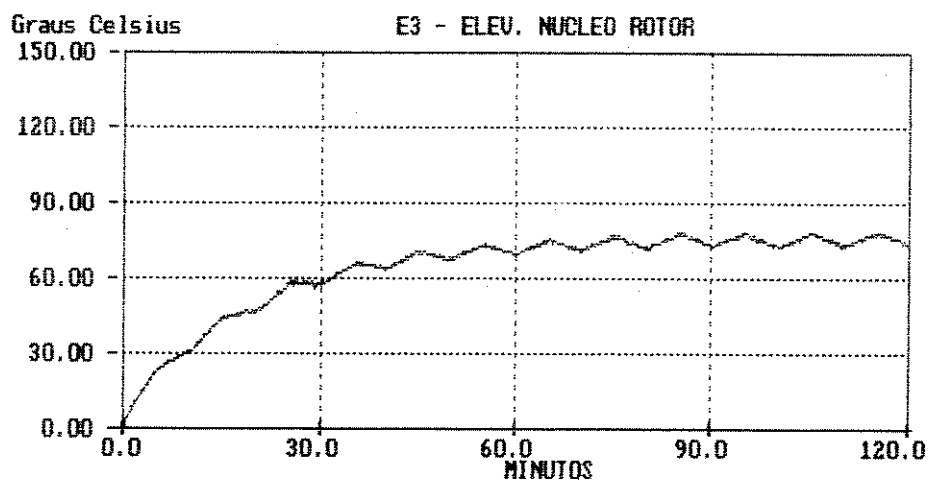
5.4.6 - REGIME S6



(a)



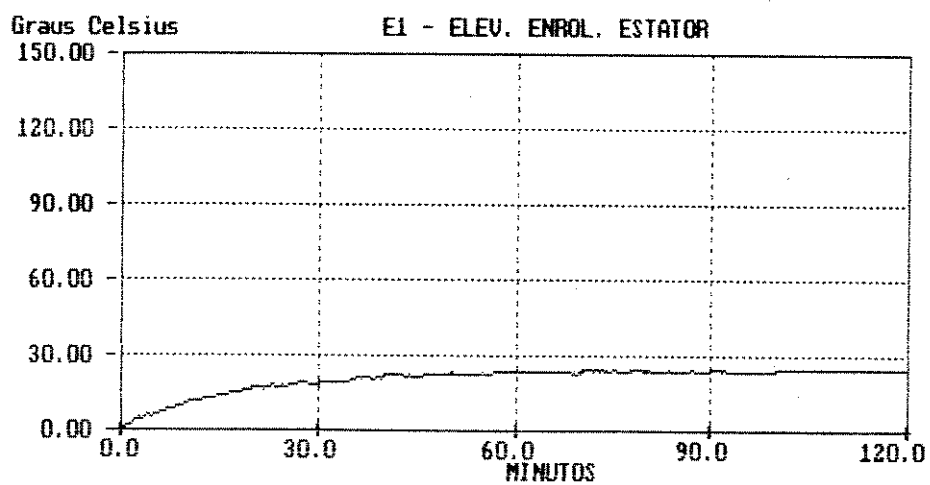
(b)



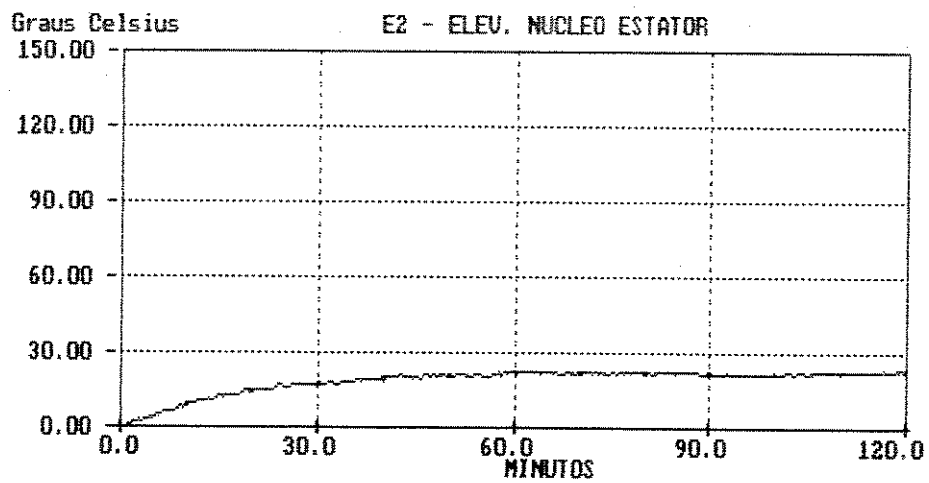
(c)

Figura 5.24 : Elevações de temperatura do motor, em regime S6, com operação alternada - vazio / carga nominal alimentado diretamente da rede elétrica (220 V) - alimentação senoidal.

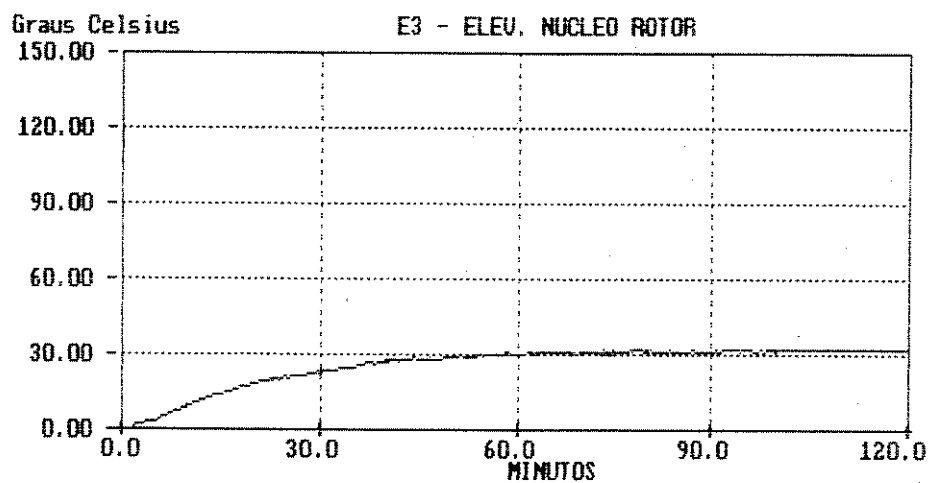
5.4.7 - REGIME S7



(a)



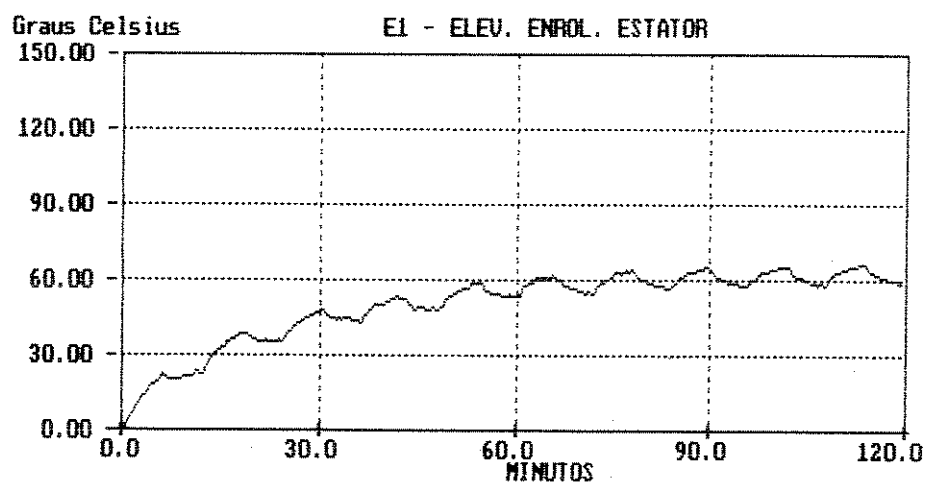
(b)



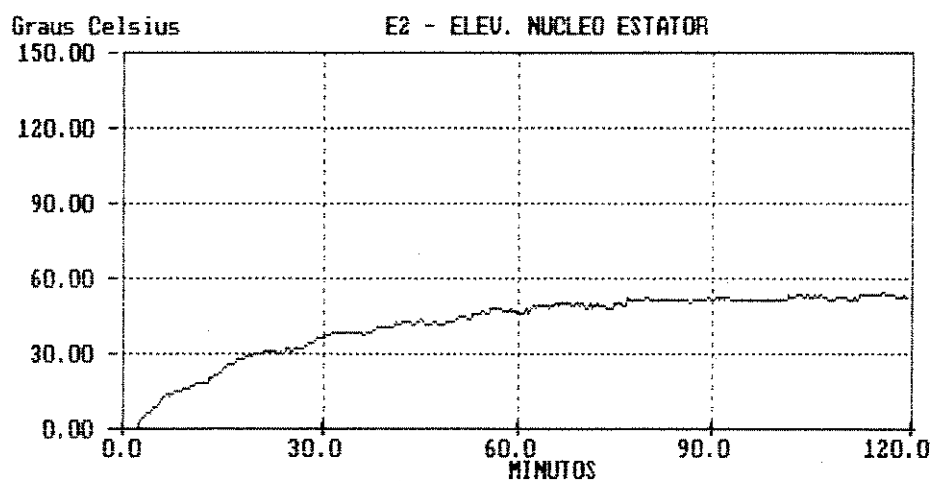
(c)

Figura 5.25 : Elevações de temperatura do motor, em regime S7, operando em vazio alimentado diretamente da rede elétrica (220 V) - alimentação senoidal.

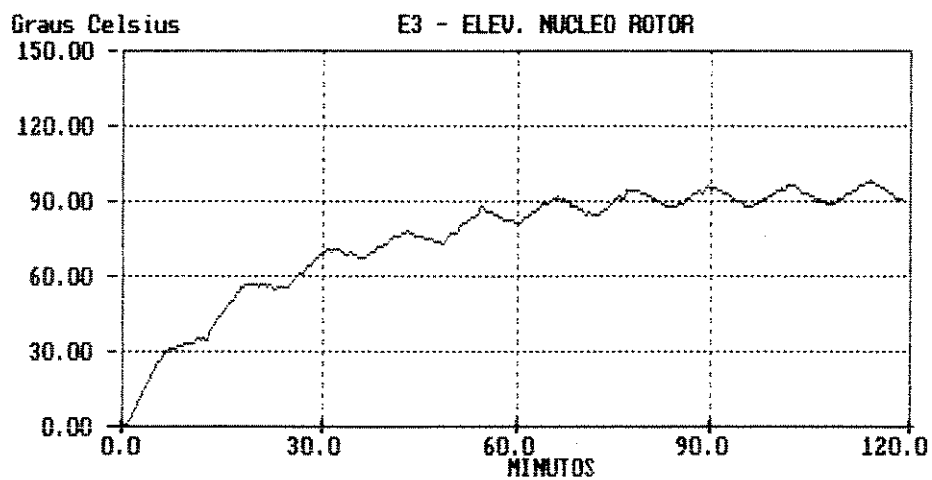
5.4.8 - REGIME S8



(a)



(b)

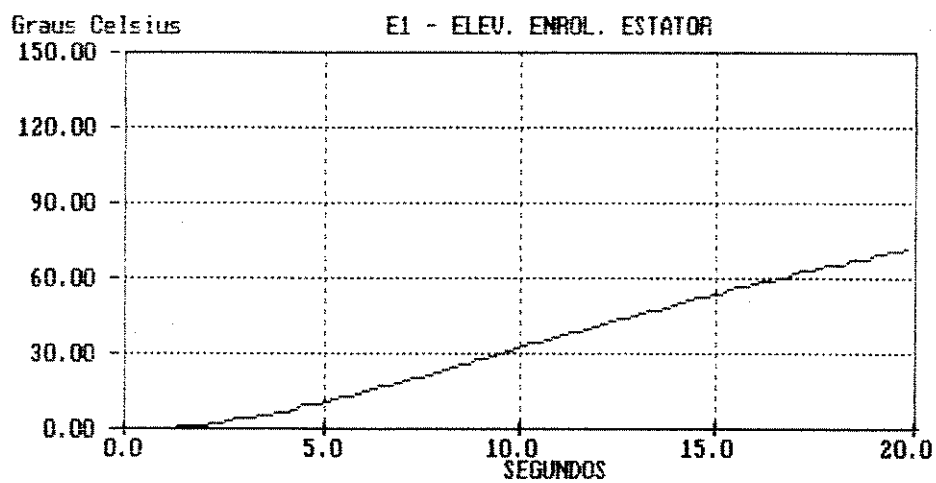


(c)

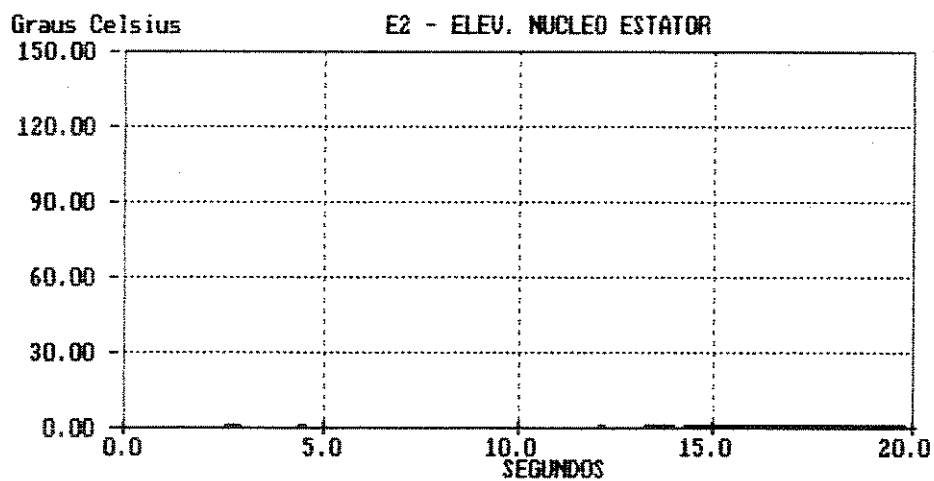
Figura 5.26 : Elevações de temperatura do motor, em regime S8, com mudança periódica na relação carga / velocidade, com carga nominal alimentado por inversor de tensão (220 V / 130 V) em frequência 60 Hz e 30 Hz - alimentação não senoidal.

5.4.9 - ENSAIOS NÃO PADRONIZADOS PELAS NORMAS

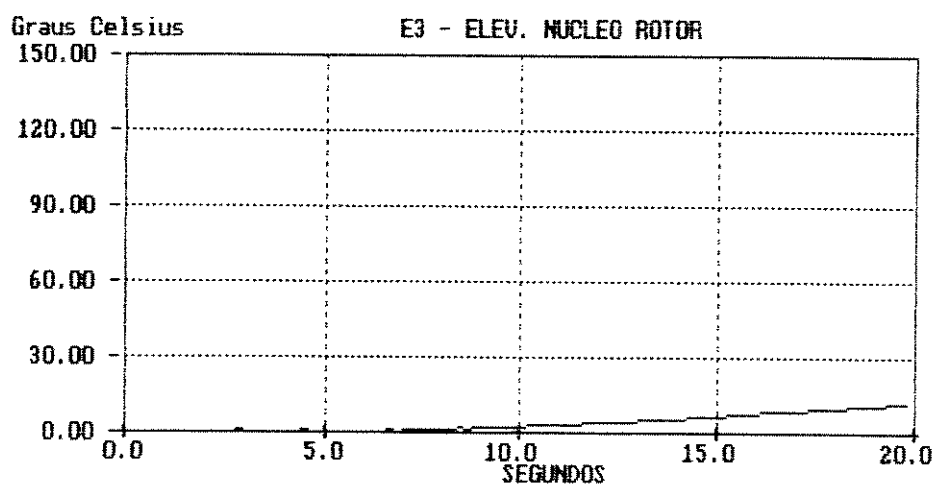
5.4.9.1 - ENSAIO DE ROTOR BLOQUEADO A FRIO



(a)



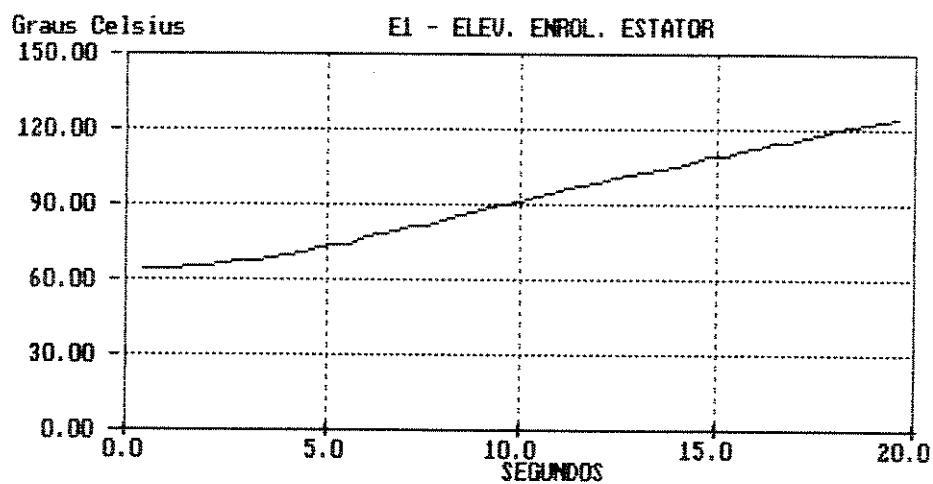
(b)



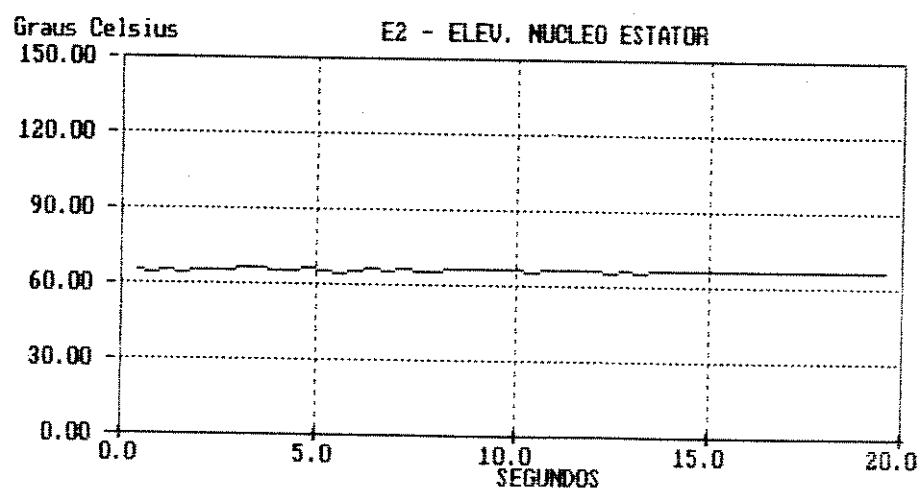
(c)

Figura 5.27 : Elevações de temperatura do motor, em ensaio de rotor bloqueado a frio, com carga nominal alimentado diretamente da rede elétrica (220 V) - alimentação senoidal.

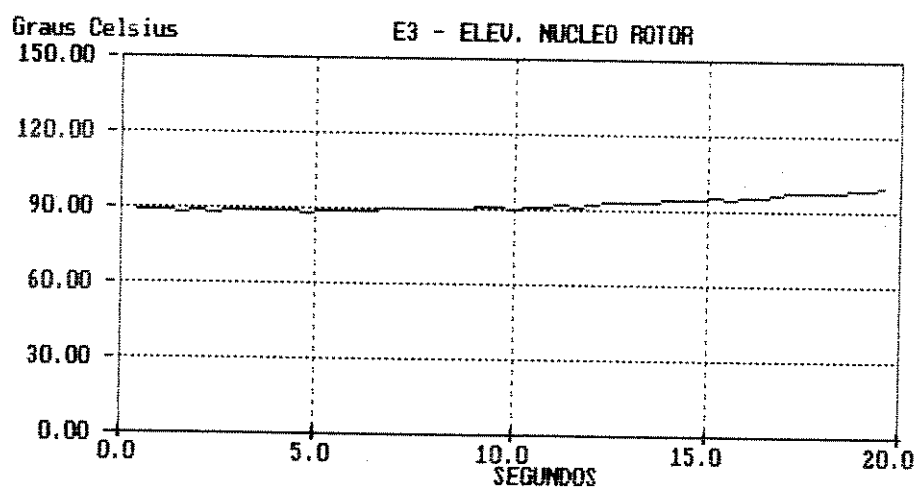
5.4.9.2 - ENSAIO DE ROTOR BLOQUEADO A QUENTE



(a)



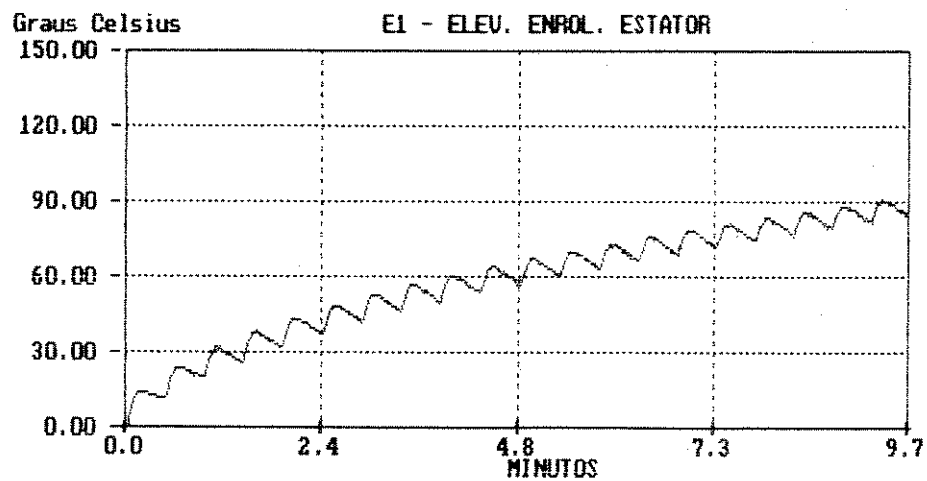
(b)



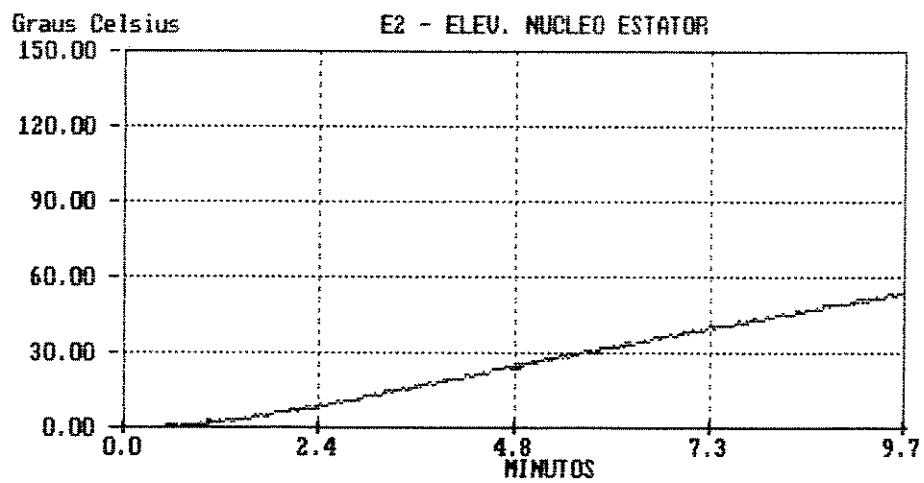
(c)

Figura 5.28 : Elevações de temperatura do motor, em ensaio de rotor bloqueado a quente, com carga nominal alimentado diretamente da rede elétrica (220 V) - alimentação senoidal.

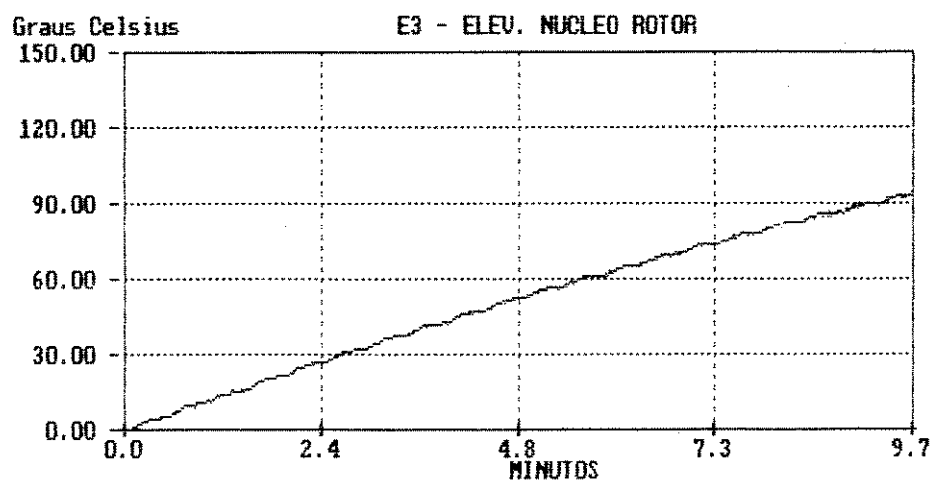
5.4.9.3 - ENSAIO COM PARTIDAS SUCESSIVAS



(a)



(b)



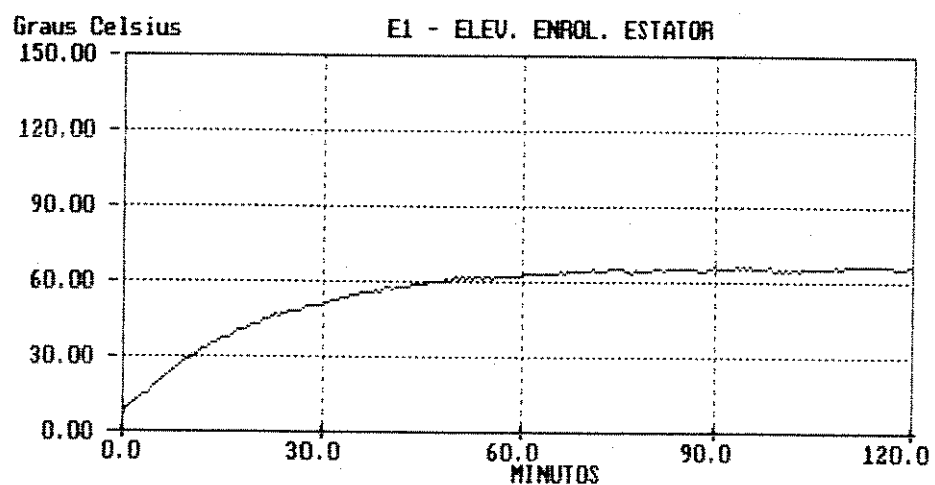
(c)

Figura 5.29 : Elevações de temperatura do motor, em ensaio com partidas sucessivas (20), com carga nominal alimentado diretamente da rede elétrica (220 V) - alimentação senoidal.

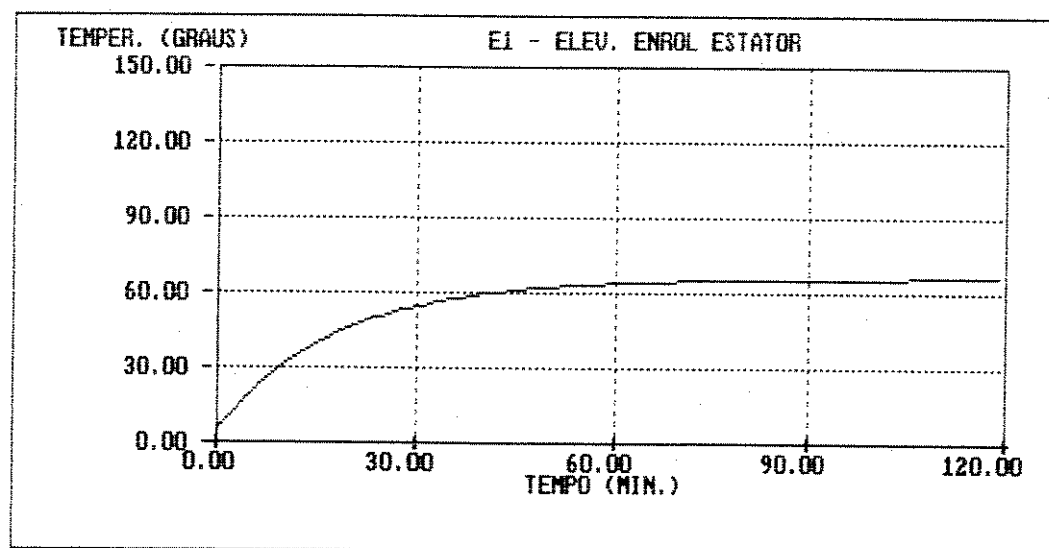
5.5 - COMPARAÇÕES

Os resultados obtidos através dos ensaios, utilizando o sistema de aquisição de dados e automatização de ensaios, são comparados com os resultados das simulações obtidas através do modelo matemático térmico desenvolvido em [1].

5.5.1 - REGIME S1



(a)

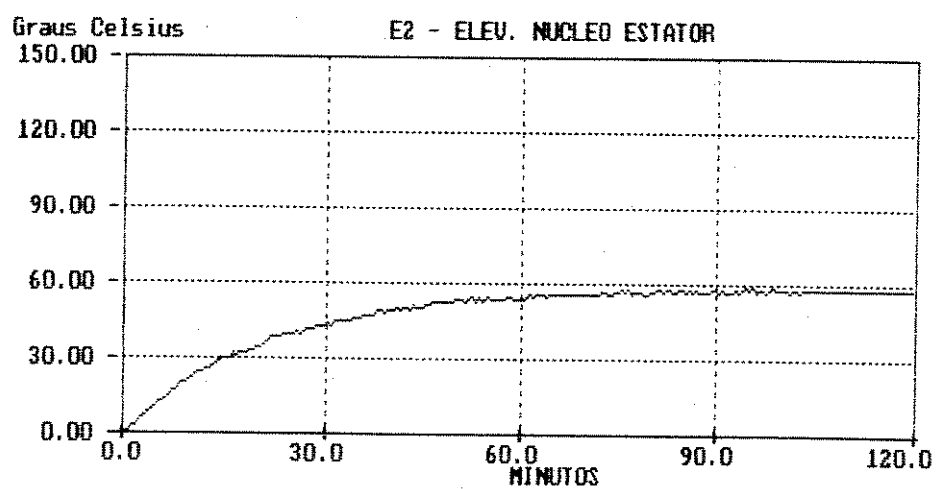


(b)

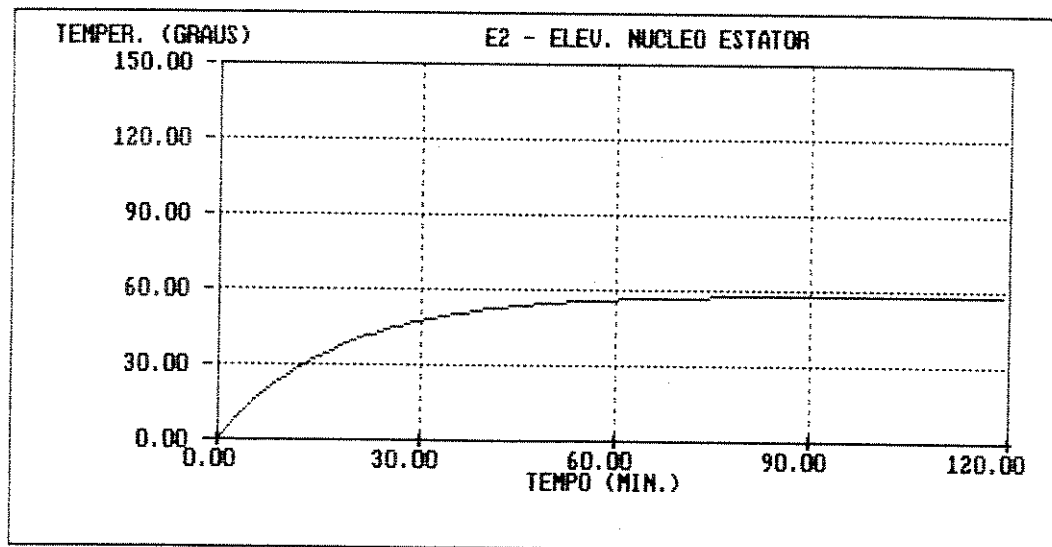
Figura 5.30 : Elevação de temperatura no enrolamento do estator do motor, em regime S1.

(a) Ensaio

(b) Simulação [1]



(a)

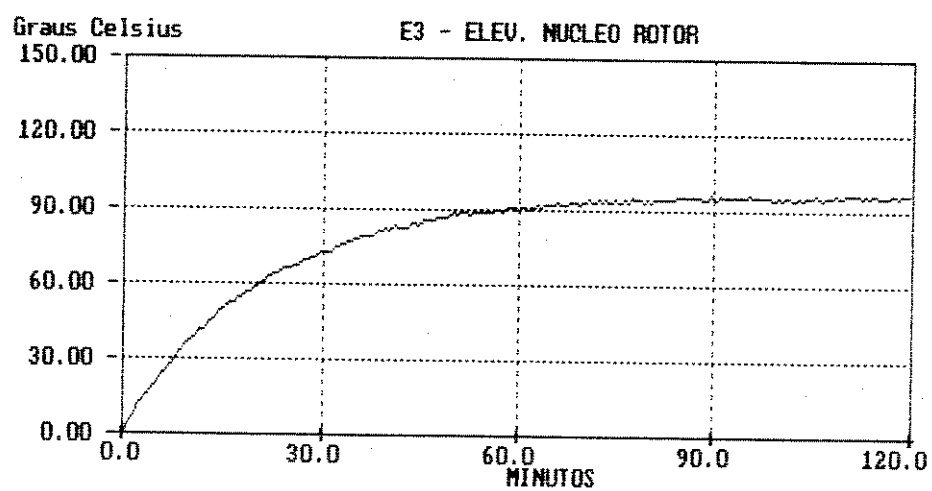


(b)

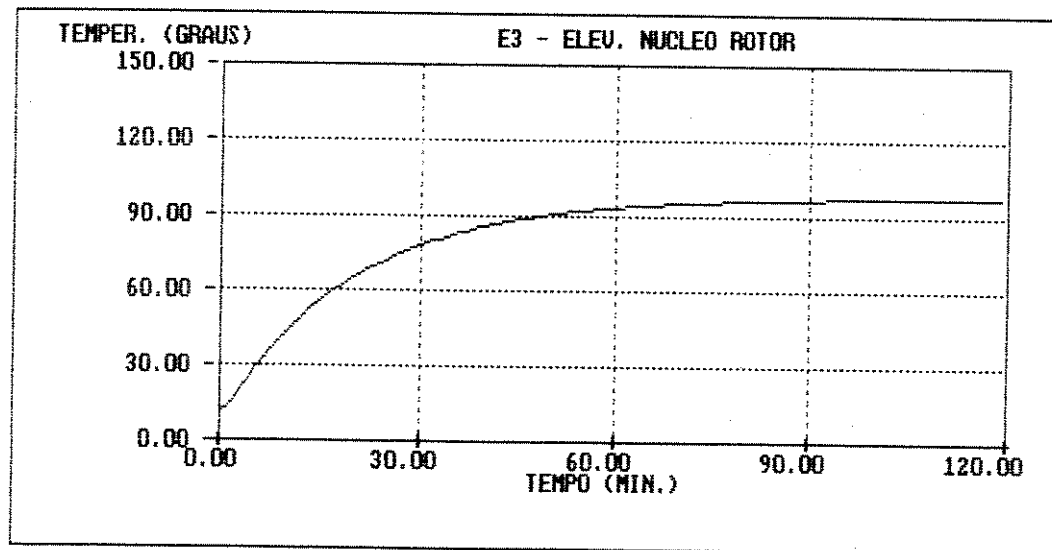
Figura 5.31 : Elevação de temperatura no núcleo do estator do motor, em regime S1.

(a) Ensaio

(b) Simulação [1]



(a)



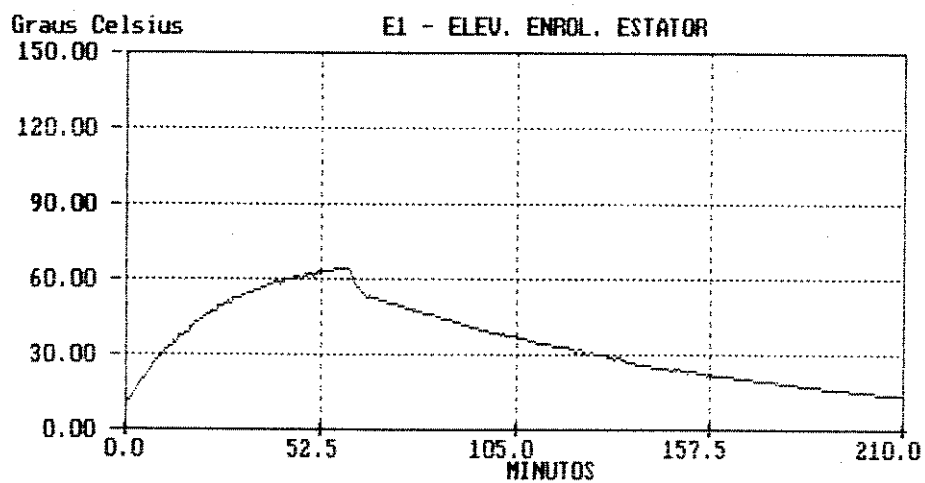
(b)

Figura 5.32 : Elevação de temperatura no núcleo do rotor do motor, em regime S1.

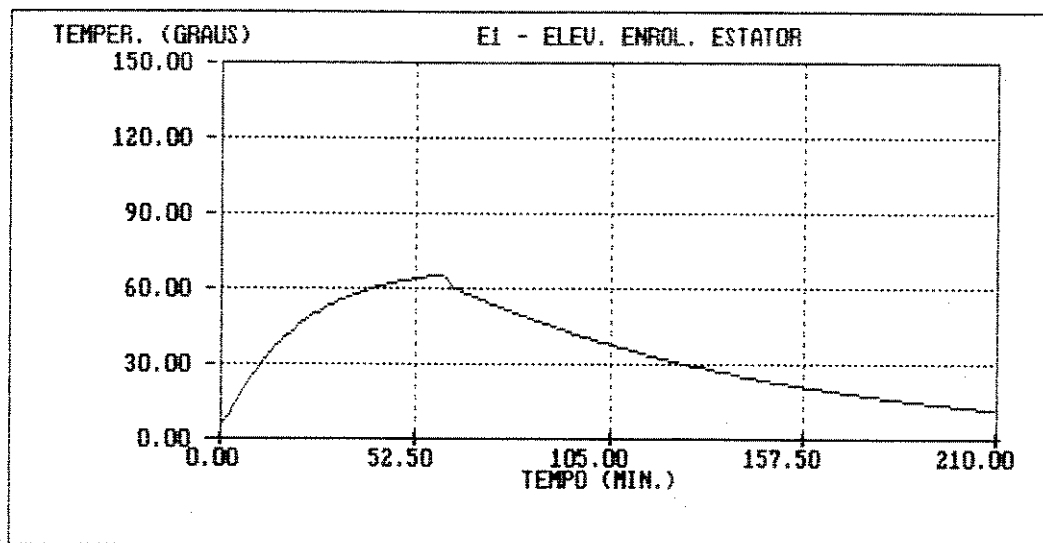
(a) Ensaio

(b) Simulação [1]

5.5.2 - REGIME S2



(a)

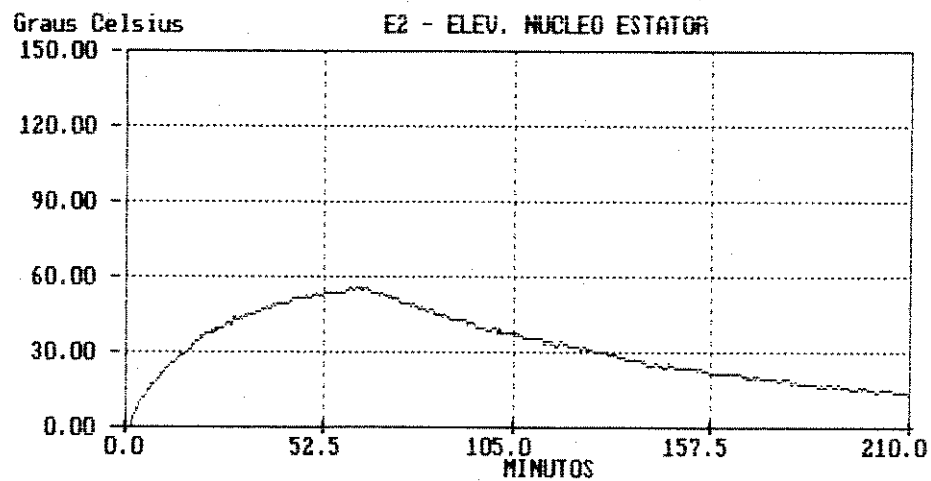


(b)

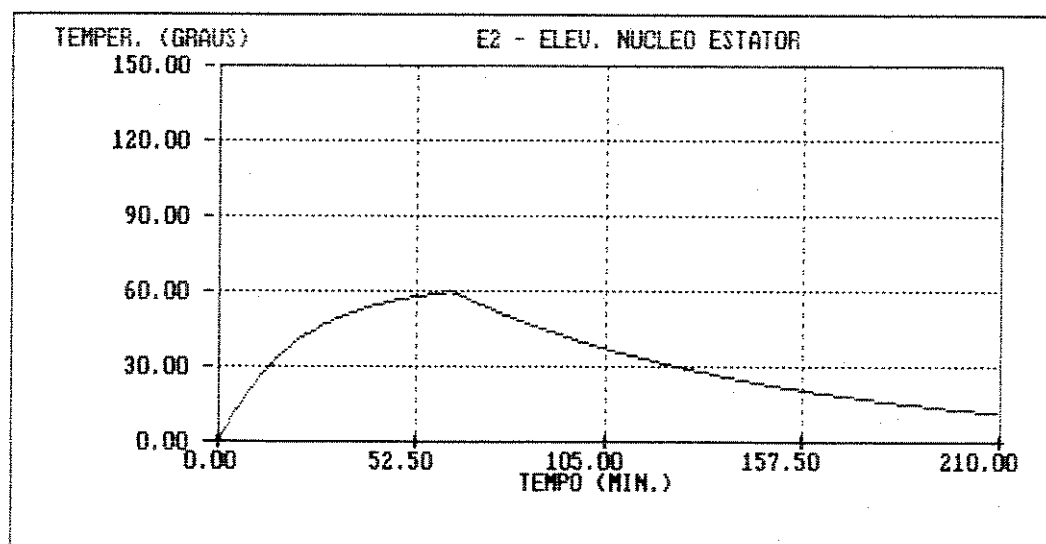
Figura 5.33 : Elevação de temperatura no enrolamento do estator, em regime S2.

(a) Ensaio

(b) Simulação [1]



(a)

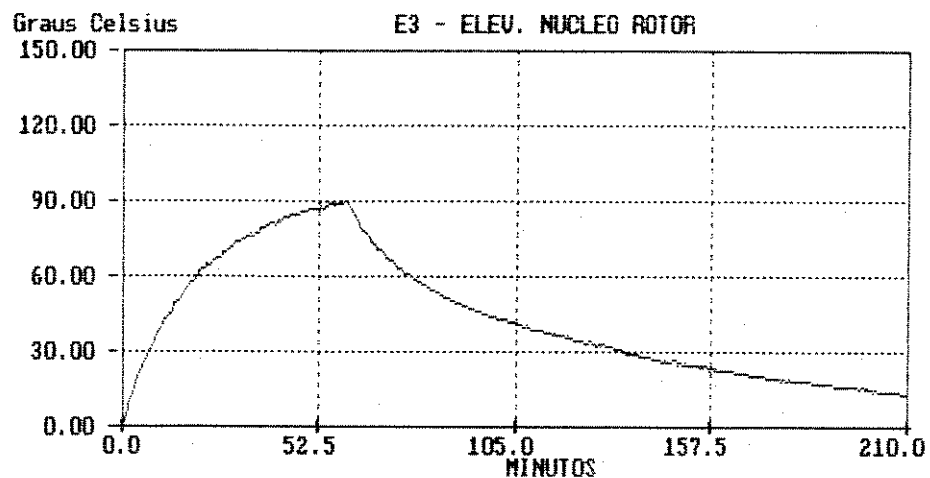


(b)

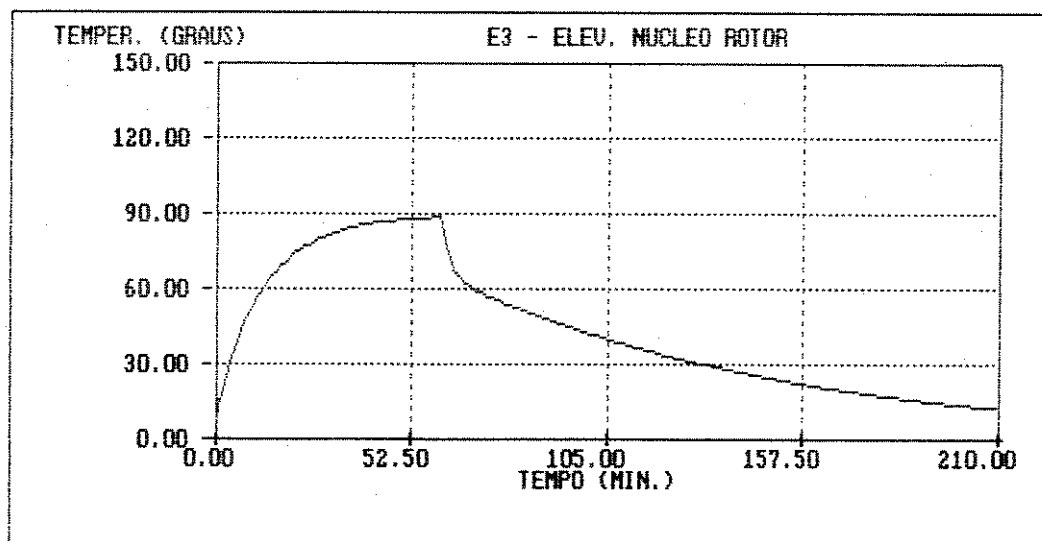
Figura 5.34 : Elevação de temperatura no núcleo do estator do motor, em regime S2.

(a) Ensaio

(b) Simulação [1]



(a)

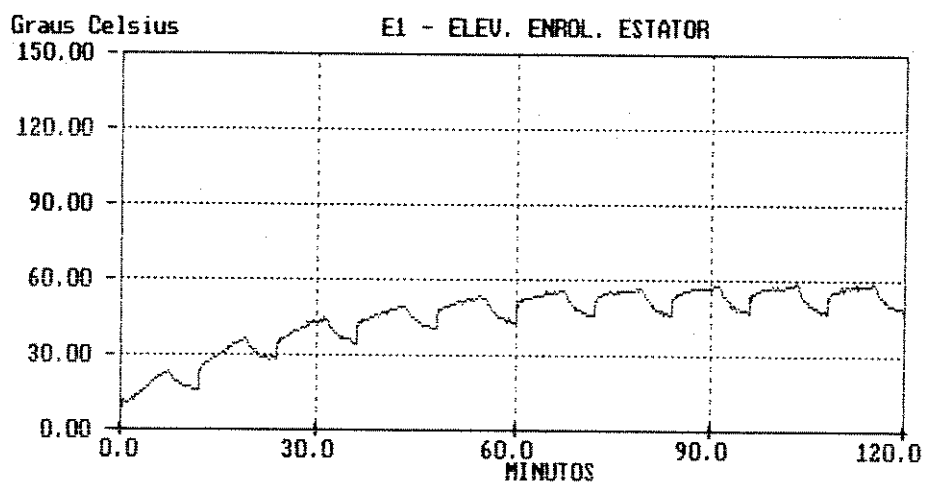


(b)

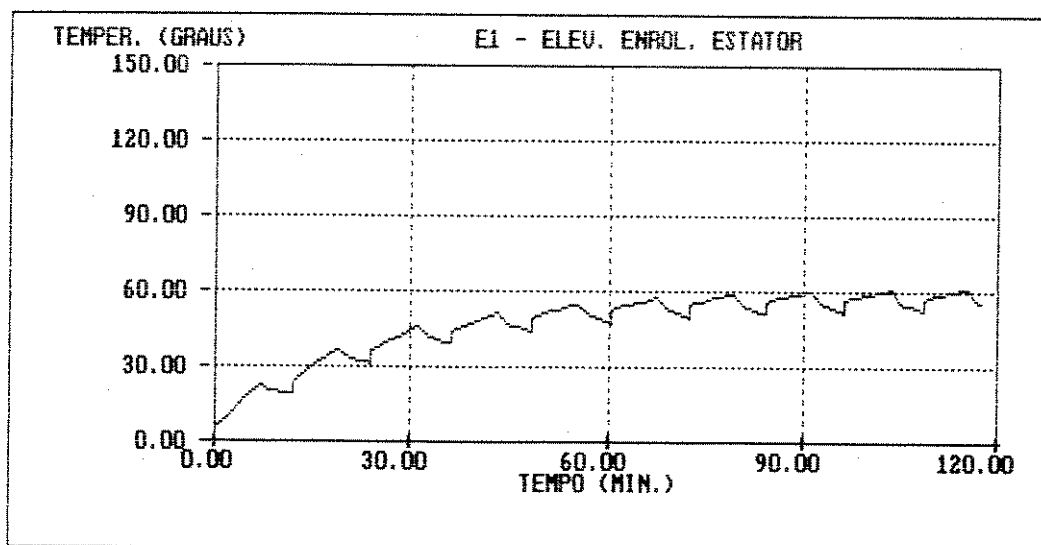
Figura 5.35 : Elevação de temperatura no núcleo do rotor do motor, em regime S2.

(a) Ensaio (b) Simulação [1]

5.5.4 - REGIME S4

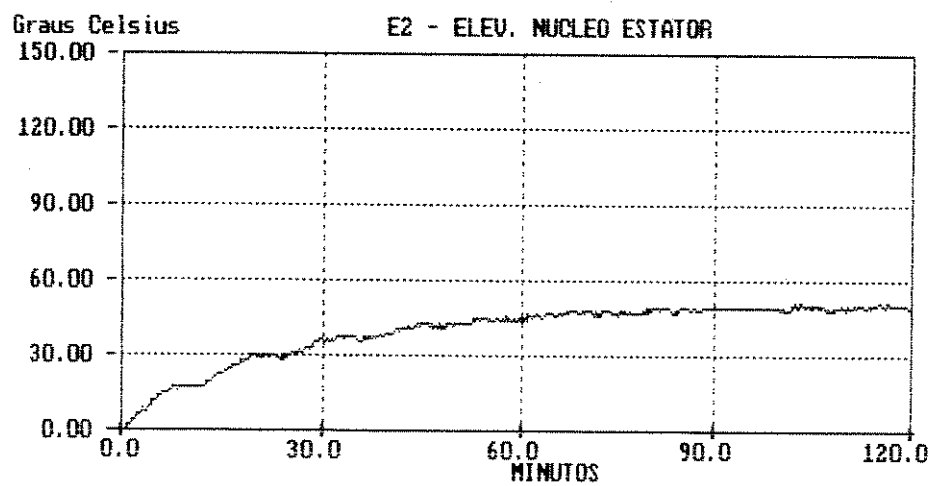


(a)

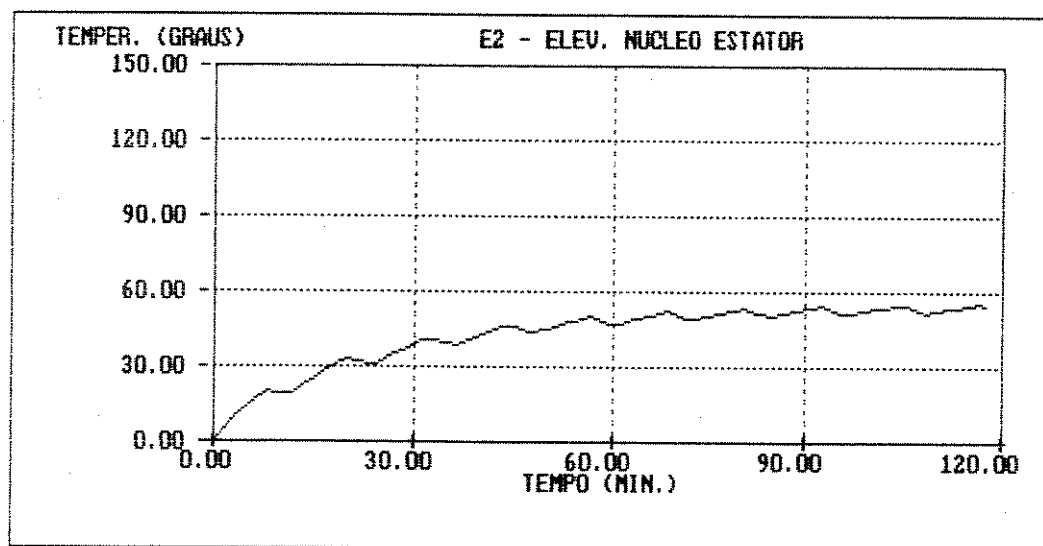


(b)

Figura 5.36 : Elevação de temperatura no enrolamento do estator do motor, em regime S4
(a) Ensaio (b) Simulação [1]



(a)

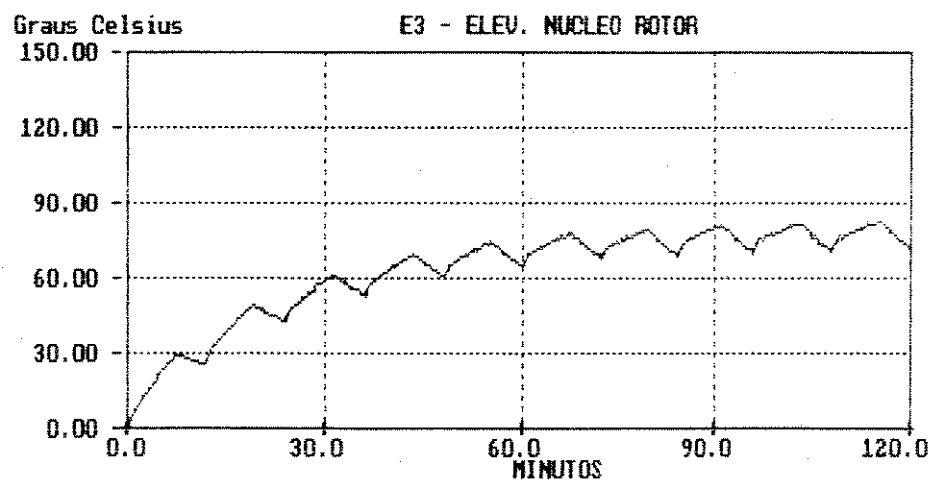


(b)

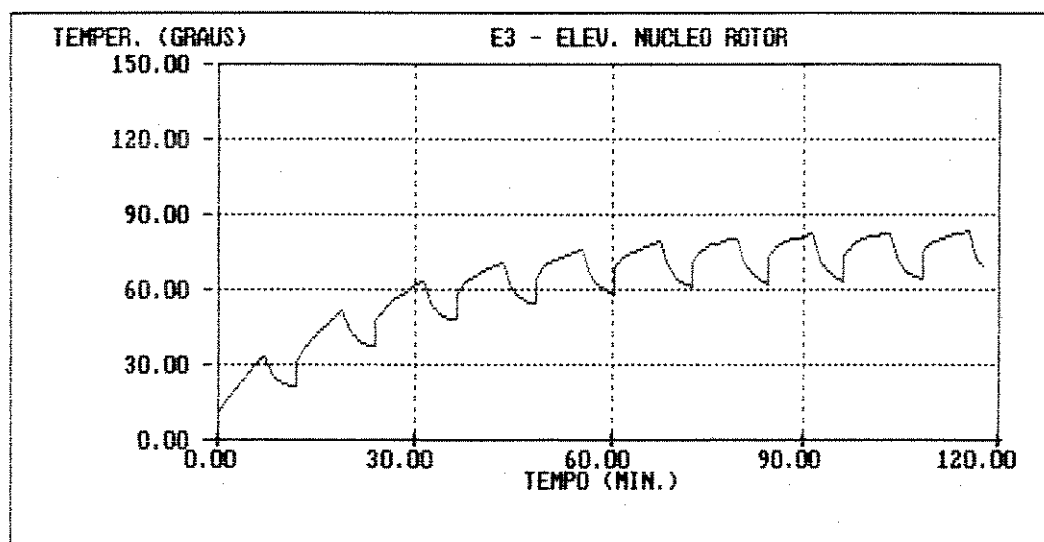
Figura 5.37 : Elevação de temperatura no núcleo do estator do motor, em regime S4.

(a) Ensaio

(b) Simulação [1]



(a)



(b)

Figura 5.38 : Elevação de temperatura no núcleo do rotor do motor, em regime S4.

(a) Ensaio

(b) Simulação [1]

Uma análise comparativa dos resultados obtidos nos ensaios e nas simulações, permite afirmar que existe uma precisão muito boa do modelo matemático térmico do motor de indução desenvolvido em [1].

Os resultados mostram que o sistema experimental desenvolvido, pode ser utilizado para validar modelos matemáticos térmicos de motores de indução. Possibilita também, o estudo correto do comportamento térmico do motor de indução sob diversas condições de funcionamento, permitindo que possam ser feitas simplificações matemáticas do modelo térmico do mesmo.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS

O sistema construído mostrou-se bastante útil e adequado à utilização para a qual foi proposto. Com ele pode-se fazer verificações de simulações térmicas dinâmicas e de regime permanente em máquinas elétricas.

A automatização do acionamento dos relés permite a elaboração de ensaios de carga de máquinas elétricas, via computador, onde qualquer ciclo de carga, independentemente dos padronizados pela norma, possa ser ensaiado.

Esse sistema serviu de base para a elaboração de um projeto maior de um Laboratório de Dinâmica de Máquinas Elétricas (*), que se encontra em andamento na Faculdade de Engenharia Elétrica da UNICAMP.

Este laboratório deverá funcionar em conjunto com um laboratório de computação para uso do método dos elementos finitos no projeto e operação de máquinas elétricas. Sua utilidade será na verificação da validade de modelos dinâmicos elétricos e térmicos de qualquer tipo de máquina, acionada ou não por conversores eletrônicos.

Estes laboratórios deverão ser integrados a outro laboratório de máquinas elétricas (*) a ser construído no Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia e Tecnologia na UNESP em Bauru.

Deve-se salientar também que esse sistema de aquisição de dados e acionamento de relés pode funcionar em proteção e acionamento da máquina elétrica em instalações elétricas bem como em áreas industriais de ensaios de máquinas elétricas e mesmo em outros sistemas onde a temperatura seja objeto de estudo.

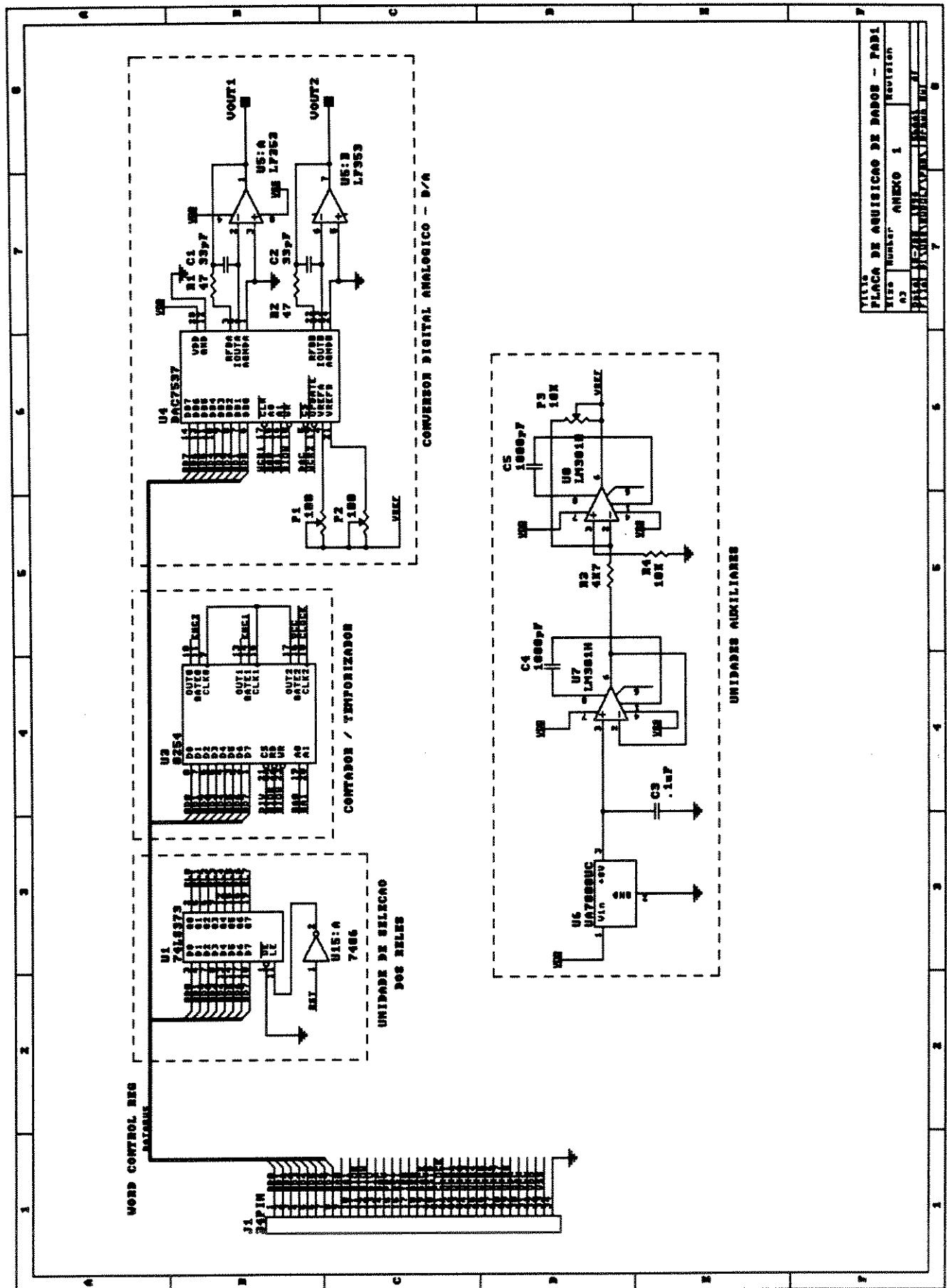
(*) - AMBOS FINANCIADOS PELA FAPESP.

Entretanto, nada impede que o mesmo seja utilizado para aquisição de outras grandezas físicas, havendo necessidade apenas de particulares condicionamentos de sinais.

Para isto, há a necessidade de se realizar alguns melhoramentos no sistema, como : a) utilizar uma tecnologia mais moderna para confecção de placas de circuito impresso, b) gerar uma nova versão de "lay-out" para a placa de aquisição de dados e controle, reforçando as linhas de alimentação e diminuindo as distâncias entre os componentes que fazem parte do sistema de aquisição de dados, evitando assim problemas relacionados a perdas de sinais de alimentação e de ruídos na placa, c) desenvolver malhas de aterramento que ofereçam terras de boa qualidade de forma a diminuir os efeitos causados pelos ruídos de alta frequência, d) desenvolver técnica adequada de colocação do sensor na máquina, principalmente em enrolamentos e no rotor, e) trabalhar com outros tipos de carga que exigem ciclos de intermitência como : transportadores, picadores de madeira, acionadores de comportas de usinas, acionadores de pontes rolantes e outros.

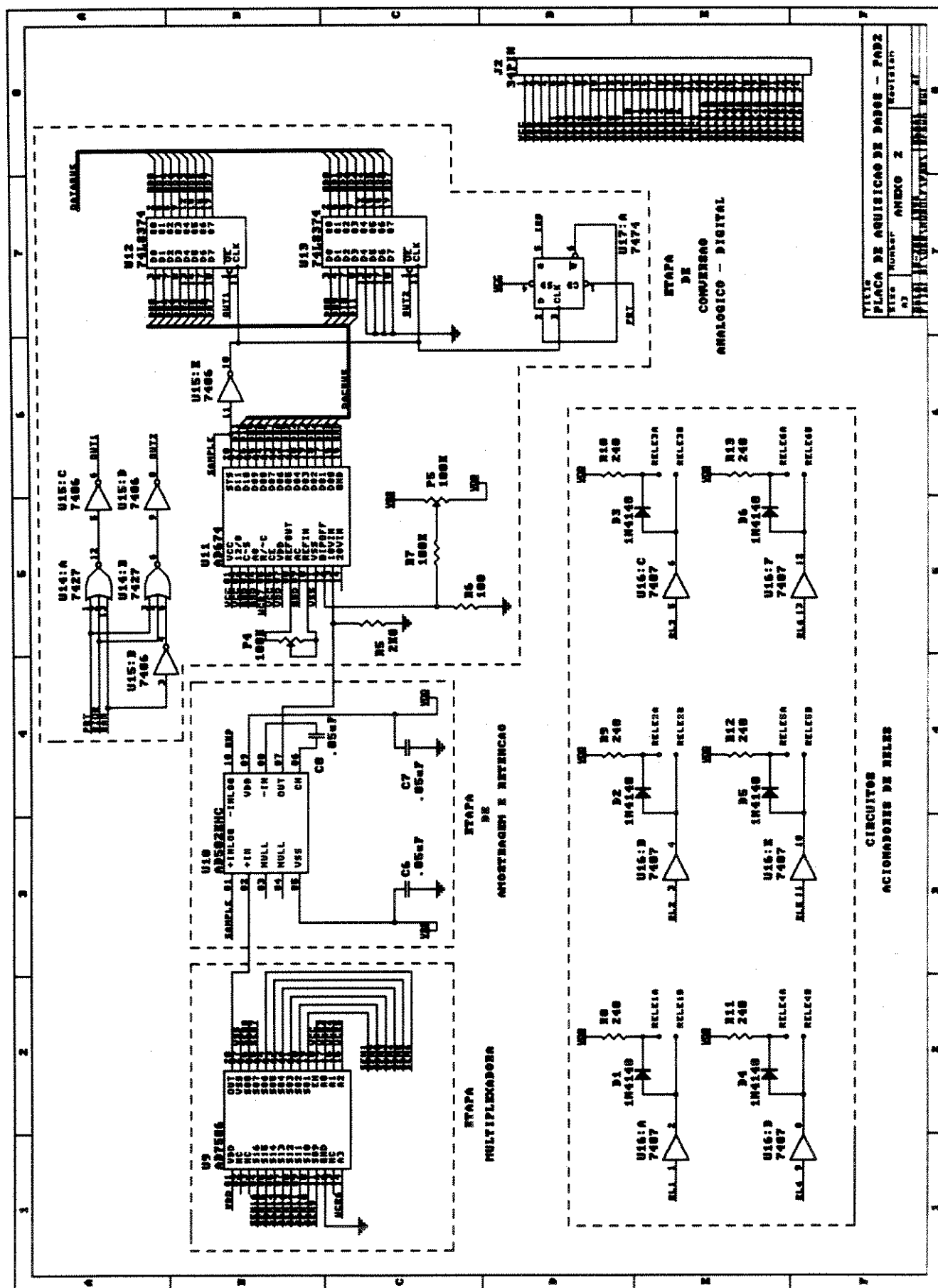
Como proposta para novos trabalhos pode-se citar : a) estudar uma técnica de colocação de sensores na barra do rotor, tanto para o motor pequeno quanto para o grande, tomando o cuidado para que a mesma não seja danificada e possa proporcionar a temperatura correta que se está medindo, b) desenvolver uma técnica de estimação dos parâmetros do circuito térmico, baseado nos resultados experimentais obtidos através do sistema de aquisição e automatização utilizado, c) elaborar uma bancada de ensaios mais completa, que além de permitir todos os ensaios térmicos, possa também realizar todos os ensaios eletromecânicos previstos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, para máquinas elétricas.

ANEXO 1



PLACA DE AQUISIÇÃO DE DADOS - PAD1	
VERSÃO "BUNKER" ANEXO 1	REVISÃO
DATA 15/08/2000	LOCAL 10000000000000000000
FEITO POR	REVISADO POR

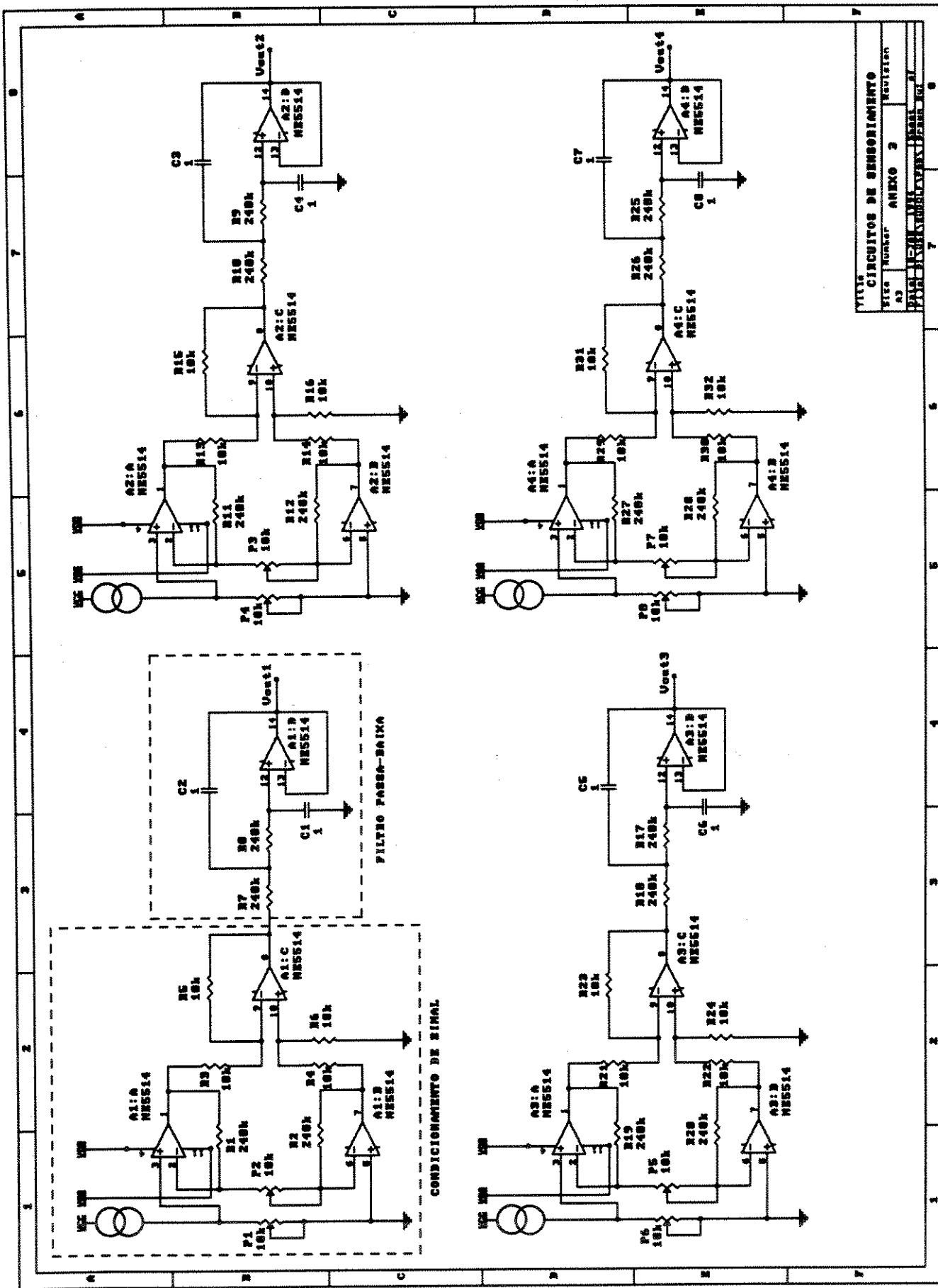
ANEXO 2



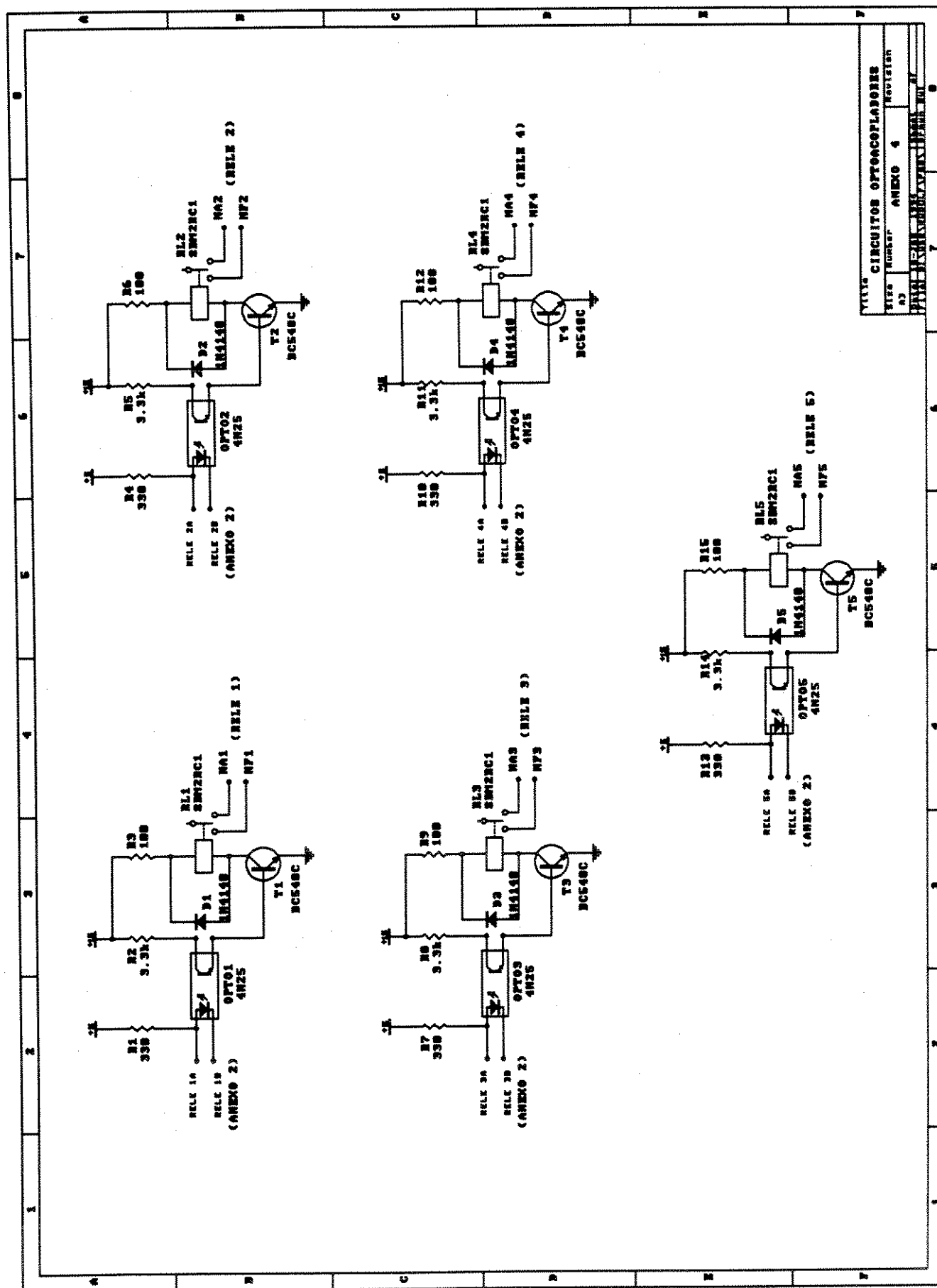
Placa de Aquisicao de Dados - PAD2

Item	Quantidade	Observacoes
1	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
2	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
3	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
4	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
5	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
6	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
7	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
8	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
9	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
10	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
11	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
12	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
13	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
14	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
15	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
16	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
17	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
18	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
19	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
20	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
21	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
22	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
23	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
24	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
25	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
26	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
27	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
28	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
29	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
30	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
31	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
32	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
33	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
34	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
35	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
36	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
37	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
38	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
39	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
40	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
41	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
42	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
43	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
44	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
45	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
46	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
47	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
48	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
49	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
50	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
51	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
52	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
53	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
54	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
55	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
56	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
57	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
58	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
59	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
60	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
61	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
62	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
63	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
64	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
65	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
66	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
67	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
68	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
69	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
70	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
71	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
72	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
73	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
74	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
75	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
76	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
77	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
78	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
79	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
80	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
81	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
82	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
83	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
84	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
85	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
86	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
87	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
88	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
89	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
90	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
91	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
92	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
93	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
94	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
95	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
96	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
97	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
98	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
99	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2
100	1	Placa de Aquisicao de Dados - PAD2

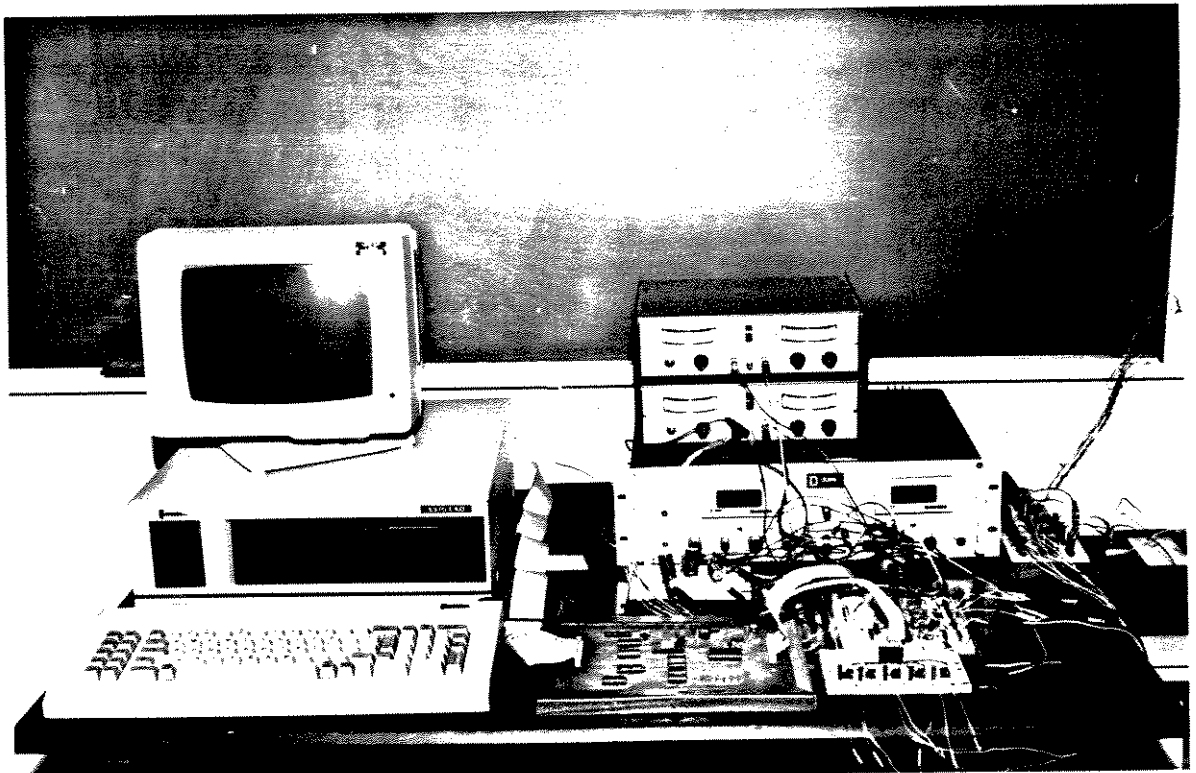
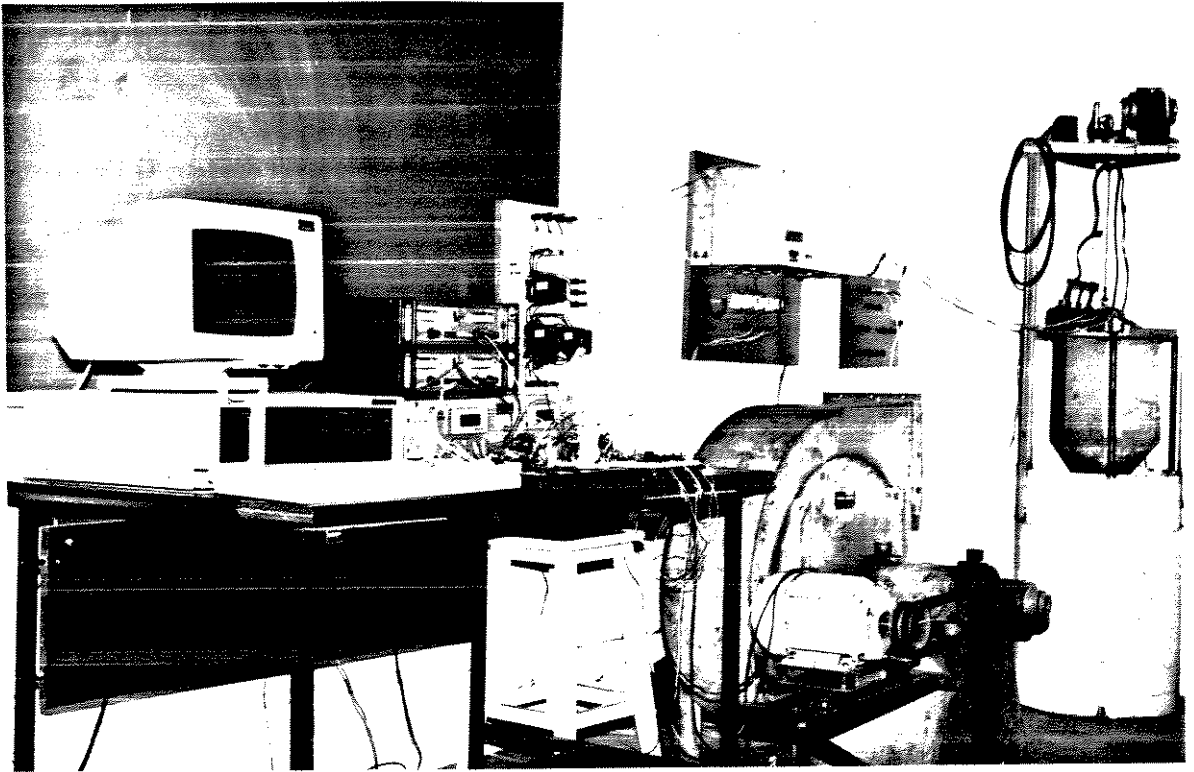
ANEXO 3

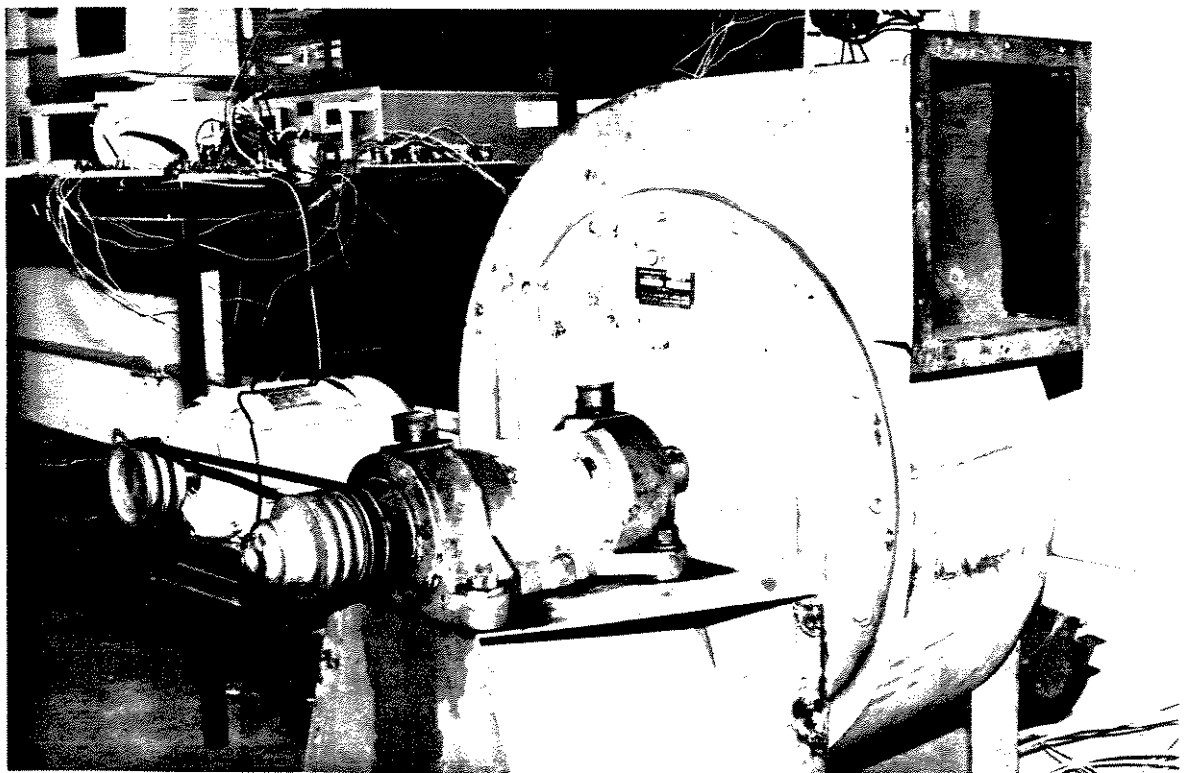
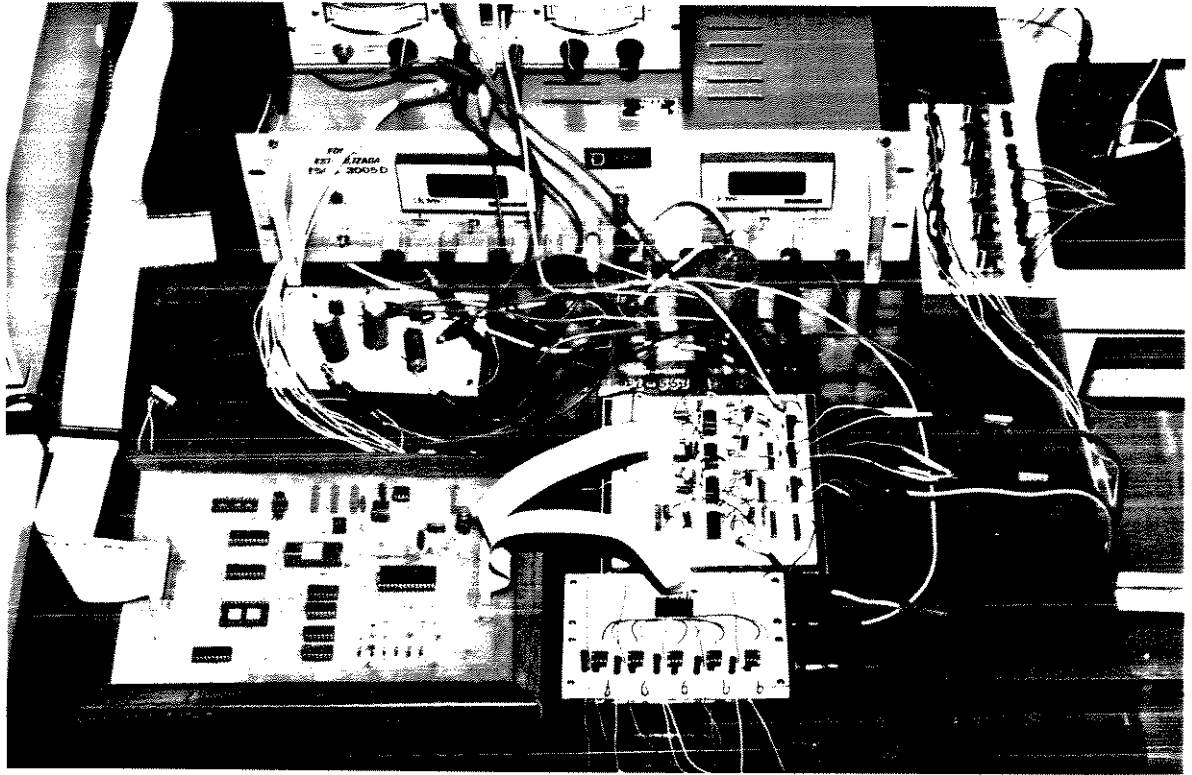


ANEXO 4



ANEXO 5





BIBLIOGRAFIA

- [1] - Avólio, E. - Uma Contribuição ao Estudo do Comportamento Térmico e do Desempenho Elétrico de Motores de Indução com Rotor em Gaiola", Tese de Doutorado Apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica da Unicamp, Campinas - SP, 1992
- [2] - De Sá, J. S. - "Contribuição à Análise do Comportamento Térmico de Motores de Indução Trifásicos com Rotor do Tipo Gaiola", Tese de Doutorado Apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica da Unicamp, Campinas - SP, 1989
- [3] - Zhu, D. S.; Champenois, G.; Gruszczynski, P. - "Coupling of Electrical And Thermal Models of an Induction Motor for Performance Predictions", Proc. International Conference on Electrical Machines, pp. 281-286, Massachusetts, USA, 1990
- [4] - Ruppert Filho, E.; Avólio, E. - "Estudo do Comportamento Térmico de um Motor de Indução Através de um Circuito Elétrico Análogo", II Seminário Internacional de Motores Elétricos e Acionamentos Reguláveis - SIMEAR, vol. 3, pp. 67-85, 1991
- [5] - Avólio, E.; Ruppert Filho, E. - "Análise do Desempenho de um Motor de Indução de Gaiola Alimentado por um Inversor de Tensão Através de Um Modelo Dinâmico", II Seminário Internacional de Motores Elétricos e Acionamentos Reguláveis - SIMEAR, vol. 3, pp. 103-120, 1991
- [6] - NBR 7094 - "Máquinas Elétricas Girantes - Motores de Indução - Especificação", Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, São Paulo, Brasil, 1981
- [7] - NBR 5457 - "Máquinas Girantes", Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, São Paulo, Brasil, 1980

- [8] - IEC 34-1 - "Rotating Electrical Machines - Part 1 : Rating and Performance", 8th edition, Genève Suisse, 1983
- [9] - Ruppert Filho, E.; Arango, H.; De Sá, J. S. - "Analysis of Squirrel Cage Induction Motor Rotor Bars Thermal Behavior", Proc. of International Conference on Electrical Machines, pp. 245-250, Massachusetts, USA, 1990
- [10] - Lobosco, O. S.; Dias, J. L. P. C. - "Seleção e Aplicação de Motores Elétricos", vol. 1 e 2, McGraw-Hill, São Paulo, 1988
- [11] - Data Acquisition and Conversion Handbook, INTERSIL, Manual de Fabricante, Califórnia, USA, 1980
- [12] - National Semiconductor - Linear Databook, NATIONAL, Manual de fabricante, Califórnia, USA, 1980
- [13] - Data Book, INTERSIL, Manual de Fabricante, Califórnia, USA, 1981
- [14] - Texas Instruments Data Book, Data Acquisition, Manual de Fabricante, 1981
- [15] - Lidsay, D. - "The Designer and Drafting of Printed Circuits", Bishop Graphics Inc.
- [16] - Philips Data Handbook, Integrated Circuits - Book IC11, Manual de Fabricante, 1988
- [17] - Stout, D. F.; Kaufman, M. - "Handbook of Operational Amplifier Circuit Design", McGraw-Hill, USA, 1976
- [18] - Gruiter, A. F. - "Amplificadores Operacionais - Fundamentos e Aplicações", McGraw-Hill, São Paulo, 1988
- [19] - Taub, H.; Schilling, D. - "Eletrônica Digital", McGraw-Hill, São Paulo, 1982

- [20] - Malvino, A. P. - "Microprocessadores e Microcomputadores", McGraw-Hill, São Paulo, 1984
- [21] - Swan, Ton - "Mastering Turbo Pascal 5.5", Third Edition, Hayden Books, USA, 1990
- [22] - Carrol, D.W. - "Programação em Turbo Pascal", McGraw-Hill, São Paulo, 1988