
Universidade Federal da Paraíba

Centro de Ciências e Tecnologia

Coordenação dos Cursos de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica

**Sistema Computadorizado de Aferição e de
Calibração de Medidores de Energia Elétrica**

José Wallington Pereira Leal

Campina Grande, Paraíba

1997

José Wallington Pereira Leal

Sistema Computadorizado para Aferição e Calibração de Medidores de Energia Elétrica

Dissertação submetida à Coordenação dos Cursos de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba - Campus II como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO : PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO

Dr. Antonio Marcus Nogueira Lima
Orientador

Campina Grande, Paraíba, Brasil

© José Wallington Pereira Leal, Março de 1997



L435s Leal, Jose Wallington Pereira
Sistema computadorizado de afericao e de calibracao de
medidores de energia eletrica / Jose Wallington Pereira
Leal. - Campina Grande, 1997.
93 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Eletrica) -
Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e
Tecnologia.

1. Energia Eletrica - 2. Tecnologia e Microcomputadores
3. Dissertacao I. Lima, Antonio Marcus Nogueira, Dr. II.
Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) III.
Título

CDU 621.317(043)

**SISTEMA COMPUTADORIZADO DE AFERIÇÃO E DE CALIBRAÇÃO DE
MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA**

JOSÉ WALLINGTON PEREIRA LEAL

Dissertação Aprovada em 25.03.1997


PROF. ANTONIO MARGUS NOGUEIRA LIMA, Dr., UFPB

Orientador


PROF. MARIA DE FÁTIMA QUEIROZ VIEIRA TURNELL, Ph.D., UFPB
Componente da Banca


PROF. JOSÉ SÉRGIO DA ROCHA NETO, D.Sc., UFPB

Componente da Banca

CAMPINA GRANDE - PB

Março - 1997

Dedicatória

Dedico este trabalho a meus Pais:

Vital Batista Leal †
Emília Pereira Leal

Agradecimentos

A realização e a concretização deste trabalho é fruto de muito esforço, dedicação e colaboração, quer seja diretamente ou indiretamente de muitas pessoas e instituições. Das pessoas não faltaram entusiasmo e paciência na orientação dos trabalhos desenvolvidos como também na elaboração do presente texto.

Agradeço especialmente a:

- Ao Professor Orientador Antonio Marcus Nogueira Lima pelo entendimento dos momentos de orientação e de incentivo para conclusão do trabalho;
- Ao Professor Benedito Antonio Luciano pelas sugestões e o apoio de sempre;
- À todos Funcionários e Professores do Departamento de Engenharia Elétrica da UFPB;
- Ao Professor/Engenheiro e Irmão Reginaldo Pereira Leal por tudo que fez e fará nos momentos difíceis;
- À Escola Técnica Federal da Paraíba (ETFPB);
- À Companhia de Eletricidade da Borborema (CELB);
- À Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica;
- Aos Professores Elias Antonio Freire (ETFPB) e Paulo Márcio C. Passos (ETER) pelas sugestões para apresentação deste trabalho e pela amizade;
- À Marta Lúcia de Souza, com muito carinho, pela digitação de textos deste trabalho e pela paciência de saber esperar o momento certo;
- Finalmente, a meus Pais e Irmãos por tudo.....
- Enfim, a DEUS.

Resumo

Este trabalho apresenta uma proposta de desenvolvimento de um sistema computadorizado de aferição e de calibração de medidores de energia elétrica (medidor watt-hora), utilizando-se uma placa de aquisição e de processamento de dados, compatível com vias IBM-PC baseada no microcontrolador MC68HC11. Este sistema utiliza-se da tecnologia de microcomputadores, permitindo aferir e calibrar medidores watt-hora usando o método de comparação com um medidor padrão ou o método potência versus tempo.

São feitas considerações sobre o projeto e implementação de *software e hardware* de baixo custo para placas como ferramenta de desenvolvimento de aplicações baseadas em microcontroladores. Esta ferramenta de desenvolvimento está centrada em microcomputadores compatíveis com o padrão IBM-PC, empregando uma placa com o microcontrolador em questão. A comunicação entre o PC e a placa é realizada através de uma memória comum compartilhada. Duas configurações de placas são apresentadas.

Abstract

This work presents the proposal of a computer based energy meter calibration system. A MC68HC11 microcontroller based data acquisition board compatible with the IBM-PC bus is used. The system allows the calibration of watt-hour meter, employing either the comparison method based on a reference standard or the time and power method.

The design and implementation considerations for low cost software and hardware for plug-in boards to be used as an environment for the development of microcontroller based applications, are presented and discussed. This development environment is centred around an IBM-PC compatible microcomputer and a microcontroller based plug-in board. The communication between the IBM-PC and the plug-in board is through a common shared memory. Two configurations for plug-in boards are also presented.

Sumário

Dedicatória	iv
Agradecimentos	v
Resumo	vi
Abstract	vii
Lista de figuras	xiii
Lista de tabelas	xv
Lista de abreviaturas e siglas	xvi
Capítulo 1	
Introdução	01
Capítulo 2	
Medidor watt-hora	06
2.1 Histórico do medidor watt-hora	06
2.2 Medidor de energia elétrica do tipo indução ou Ferraris	11
2.2.1 Estator	12
2.2.2 Elemento Frenador	14
	viii

2.2.3 Elemento Móvel	14
2.2.4 Mecanismo Registrador	14
2.3 Princípio de funcionamento	15
2.4 Classificação dos medidores de energia elétrica	17
2.4.1 Medidor monofásico de dois fios	18
2.4.2 Medidor monofásico de três fios	18
2.4.3 Medidor polifásico de três fios	18
2.4.4 Medidor polifásico de quatro fios	18
2.5 Constantes do medidor watt-hora	18
2.6 Resumo	19

Capítulo 3

Aferição e calibração de medidor watt-hora	20
3.1 Definição de aferição e sua finalidade	20
3.2 Definição de calibração	21
3.3 Verificação das margens de calibração	22
3.4 Condições de funcionamento do medidor watt-hora	22
3.5 Tipos de ajustes	23
3.5.1 Ajuste de carga nominal	23
3.5.2 Ajuste de carga indutiva	24
3.5.3 Ajuste de carga pequena	25

3.6 Mesas de aferição e de calibração de medidor watt-hora	26
3.6.1 Tipos de mesas de aferição e de calibração	27
3.7 Resumo	31
Capítulo 4	
Sistemas de aquisição de dados e de controle	32
4.1 Introdução	33
4.1.1 <i>Hardware</i>	33
4.1.2 Métodos de transferência de dados para sistemas de aquisição de dados baseado em microcomputador	36
4.1.3 <i>Software</i>	37
4.1.4 Sistema de aquisição baseado em microcomputador IBM PC ou compatível	38
4.2 Ambientes de desenvolvimento	41
4.3 Aplicação de engenharia de <i>software</i> baseada em microcontrolador	42
4.4 Exemplo de desenvolvimento de um <i>software</i> típico	44
4.5 Desenvolvimento dos ambientes de <i>hardware</i>	46
4.5.1 Descrição da arquitetura da placa 1	49
4.5.2 Descrição da arquitetura da placa 2	53
4.6 Funcionamento da placa 2	55
4.6.1 Microcontrolador MC68HC11	56
4.6.2 Mapa de memórias da placa 2	57

4.6.3 Memória EPROM	58
4.6.4 Memória de trabalho (RAM)	58
4.6.5 Memória compartilhada (RAM)	59
4.6.6 Chaveamento da memória compartilhada	59
4.6.7 Comunicação microcomputador IBM-PC e placa 2	61
4.6.8 Conversor A/D da placa 2	61
4.7 <i>Software</i>	62
4.7.1 Programa residente em EPROM	62
4.7.2 Programa de aquisição de dados	62
4.8 Resumo	63

Capítulo 5

Proposta de um sistema de aferição e de calibração de medidor watt-hora	65
5.1 Sistema de aferição convencional	65
5.2 Sistema computadorizado proposto de aferição e de calibração	67
5.2.1 Fontes de corrente e de tensão	69
5.2.2 Circuito para medição da velocidade do disco do medidor	69
5.2.3 Placa inteligente para aquisição 68HC11	71
5.2.4 Circuitos de condicionamento	72
5.2.5 Circuitos de amostragem analógica de tensão e de corrente	73
5.3 Descrição do <i>software</i> do sistema computadorizado	74

5.3.1 <i>Software</i> de linguagem de alto nível	74
5.3.2 <i>Software</i> de linguagem de baixo nível	75
5.4 Resumo	75
Capítulo 6	
Conclusão	76
Apêndice A - Listagem do programa residente em EPROM da placa 2	79
Apêndice B - Listagem do programa GERS19.COM	85
Referências bibliográficas	89

Lista de figuras

1.1	Estrutura básica do método de comparação.	03
1.2	Estrutura básica do método potência x tempo.	03
2.1	Vista isométrica do medidor watt-hora.	12
2.2	Vista frontal do estator.	13
2.3	Mostrador tipo ponteiro.	15
2.4	Mostrador tipo ciclométrico.	15
2.5	Fluxos magnéticos da bobina de corrente e de tensão.	16
2.6	Correntes parasitas i_j induzidas no disco e sentido de rotação do disco.	17
2.7	Correntes parasitas i_v induzidas no disco e sentido de rotação do disco.	17
3.1	Configuração básica de uma mesa com carga resistiva.	26
3.2	Configuração básica de uma mesa com carga fantasma.	27
3.3	Configuração básica de uma mesa trifásica.	31
4.1	Sistema de aquisição de dados e de controle	33
4.2	Estrutura básica funcional de um sistema de aquisição de dados	36
4.3	Sequência dos vários eventos neste paradigma.	43
4.4	Diagrama de blocos da placa 1.	47
4.5	Diagrama de blocos da placa 2.	48
5.1	Estrutura básica do sistema de aferição convencional.	67

5.2	Estrutura básica do sistema proposto.	68
5.3	Circuito eletrônico do sensor ótico.	70
5.4	Circuito de retificação.	72
5.5	Circuito de detecção de cruzamento de zero.	73
5.6	Circuitos de amostragem analógica de tensão e de corrente.	73

Lista de tabelas

3.1	Condições de calibração e os erros admissíveis para cada teste de calibração.	21
4.1	Tipos de conversor A/D.	34
4.2	Mapa de endereçamento do microcontrolador 68HC11 da placa 2.	57
4.3	Endereços possíveis para endereçamento da memória compartilhada .	60
5.1	As tolerâncias permitidas para cada teste.	66

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
V.I.M.	- Vocabulário Internacional de Metrologia
INMETRO	- Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
CPU	- <i>Central Processing Unit</i> (Unidade Central de Processamento)
MCU	- <i>Microcontroller Unit</i> (Microcontrolador)
E/S	- Entrada/Saída
RAM	- <i>Random Access Memory</i> (Memória de Acesso Aleatório)
EPROM	- <i>Erasable Programmable Read Only Memory</i> (Memória Somente de Leitura Apagável e Programável)
EEPROM	- <i>Electrically Erasable Programmable Read Only Memory</i> (Memória Somente de Leitura Eletricamente Apagável e Programável)
ROM	- <i>Read Only Memory</i> (Memória Somente de Leitura)
IBM-PC	- <i>International Business Machines-Personal Computer</i>
IC	- <i>Integrated Circuit</i> (Circuito Integrado)
VLSI	- <i>Very Large Scale Integration</i> (Integração em Altíssima Escala)
CMOS	- <i>Complementary Metal Oxid Silicon</i> (Semicondutor Óxido Metálico Complementar)
HCMOS	- <i>High Density CMOS</i> (CMOS Alta Densidade)
EVM	- <i>Evaluation Module</i> (Módulo de Desenvolvimento)
EVB	- <i>Evaluation Board</i> (Placa de Desenvolvimento)

PIB	- <i>Plug-in Board</i> (Placa de Conexão)
MS-DOS	- <i>Microsoft-Disk Operating System</i> (Sistema Operacional em Disco da Microsoft)
FFT	- <i>Fast Fourier Transform</i> (Transformada Rápida de Fourier)
ADC	- <i>Analog Digital Converter</i> (Conversor Analógico/Digital)
DAC	- <i>Digital Analog Converter</i> (Conversor Digital/Analógico)
D/A	- Digital/Analógico
A/D	- Analógico/Digital
ACIA	- <i>Asynchronous Communications Interface Adapter</i> (Interface de Comunicação Serial Assíncrona)
SCI	- <i>Serial Communication Interface</i> (Interface de Comunicação Serial)
GPIB	- <i>General Purpose Interface Bus</i> (Barramento de Interface de Utilização Geral)
DSP	- <i>Digital Signal Processor</i> (Processador Digital de Sinais)
EISA	- <i>Extension to Industry Standard Architecture</i> (Arquitetura de Padrão Industrial Estendida)
ISA	- <i>Industry Standard Architecture</i> (Arquitetura de Padrão Industrial)
PCI	- <i>Peripheral Component Interface</i> (Interface de Componentes Periféricos)

Capítulo 1

Introdução

Os medidores monofásicos de energia elétrica (medidor watt-hora), tipo indução (eletrodinâmico) existem há cerca de cem anos. Devido a seu elevado grau de confiabilidade, exatidão, robustez mecânica e baixo custo de fabricação, são bastantes utilizados para medição do consumo de energia elétrica em nível residencial e/ou comercial [10].

A utilização e o grau de exatidão e de calibração dos medidores de energia elétrica baseiam-se nos aspectos econômicos em conjunto com os aspectos de ordem técnica [30]. Dessa forma, sua utilização depende da quantidade de energia a ser medida e/ou com a natureza da energia a ser consumida.

Atualmente, os medidores do tipo indução são utilizados para medição de energia elétrica de consumidores residenciais, e portanto de baixo consumo, principalmente em sistema monofásico; enquanto para consumidores de grande quantidade de energia elétrica, as concessionárias utilizam os medidores eletrônicos ou de outra modalidade de tarifação

diferenciada de energia elétrica, de modo que os custos empregados sejam economicamente viáveis para com os consumidores e as concessionárias de energia elétrica.

As concessionárias de energia são responsáveis pelo processo de medição da quantidade de energia elétrica, para fins de faturamento. A concessionária tem um grande interesse que o seu medidor instalado tenha um perfeito funcionamento e correto desempenho. Portanto, antes de ser instalado, o medidor a ser utilizado na medição de energia elétrica deve passar por um processo de aferição e de calibração que garanta uma medição correta da energia elétrica consumida [2].

O processo de aferição e de calibração de um medidor consiste em compará-lo com um medidor padrão a fim de determinar os seus erros, onde as bobinas de corrente e de potencial destes ligadas, respectivamente, em série e em paralelo com as bobinas de corrente e de potencial do medidor sob aferição e calibração [2].

O medidor padrão é projetado e construído especialmente para serviços de aferição e de calibração, possuindo maior exatidão que o medidor comum. Normalmente, deve ser classe 0,5 (os erros não excedem a 0,5% para todos os valores de corrente entre 10% da corrente nominal e a corrente máxima, com fator de potência unitário) ou melhor podendo ter repetibilidade da ordem de $\pm 0,1\%$ [1].

No processo de aferição e de calibração, o medidor sob ensaio e o medidor padrão são submetidos a três aferições (carga nominal, carga indutiva e carga pequena), definidas no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) [1]. Os processos de aferição de medidores de energia ativa podem ser classificados em dois tipos: método de comparação e método potência versus tempo.

O método de comparação é utilizado no local da instalação do medidor ou na concessionária de energia elétrica, mediante a comparação com um medidor padrão, empregando o processo comparativo do número de rotações do disco dos dois medidores, para determinar a operação correta do medidor sob ensaio [27]. Neste processo, a carga

pode ser artificial ou a própria carga do consumidor. A Figura 1.1, apresenta a estrutura básica deste método.

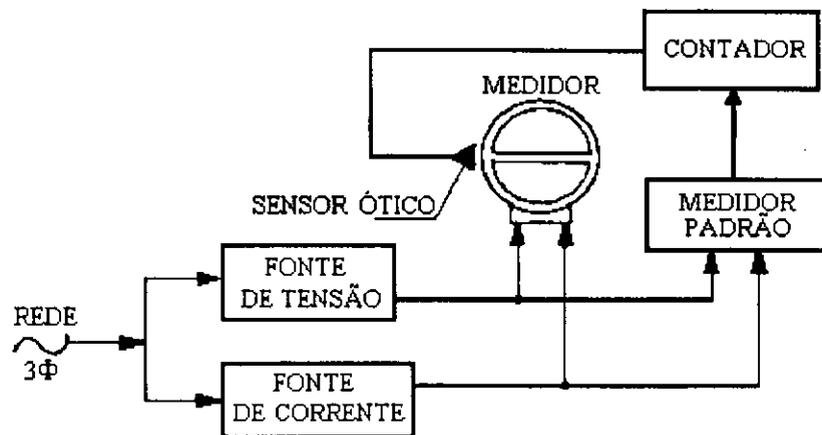


Figura 1.1 - Estrutura básica do método de comparação.

O método potência versus tempo apresenta resultados satisfatórios, sendo bastante usado em laboratórios, e geralmente utiliza-se de wattímetros e cronômetro analógico ou digital (contador digital), podendo ser realizado com carga do consumidor ou com carga artificial, não havendo a necessidade de um medidor padrão. Este método consiste em aplicar tensão e corrente elétrica constantes ao medidor em teste durante um intervalo de tempo pré-determinado, o qual é medido utilizando-se um cronômetro. Transcorrido este tempo, multiplica-se a potência medida pelos wattímetros pelo tempo, o que resulta na energia elétrica consumida durante este intervalo de tempo, a qual é comparada com a energia elétrica registrada pelo medidor em teste neste mesmo intervalo de tempo. A Figura 1.2, apresenta a estrutura básica do método potência x tempo.

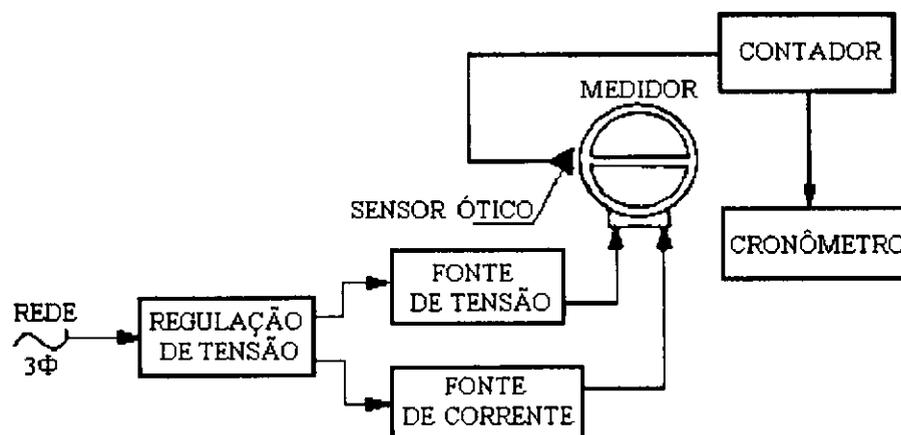


Figura 1.2 - Estrutura básica do método potência x tempo.

Atualmente, existem diversos tipos de mesa de aferição e de calibração que permitem realizar os métodos de aferição e de calibração acima citados. Nas mesas convencionais, as fontes de tensão e de corrente não dispõem de componentes eletrônicos nos circuitos de geração de tensão e de corrente. Toda geração é obtida por transformadores (realizada por meios elétricos), onde o chaveamento elétrico pode ser manual ou automático [31]. Os circuitos adicionais (contadores, indicadores de ângulo de fase, controle da sequência de aferição) que complementam a estrutura da mesa são eletrônicos.

A automatização das mesas permite uma sequência de ensaios, independentemente do operador. O operador deixa de agir diretamente no processo de aferição, tornando-o mais rápido e menos susceptível a erros.

Com o avanço da tecnologia digital e o advento dos computadores, os problemas inerentes ao processo de calibração e de aferição têm sido pesquisados pelos fabricantes e concessionárias, para os quais equipamentos, métodos de calibração e de aferição, condições de ambiente, margens de erros admissíveis, dentre outros aspectos são considerados muito importantes. Isto permitiu o desenvolvimento de mesas de aferição e de calibração digitais e computadorizadas (semi-automáticas ou automáticas), onde a geração de tensão, de corrente, e de ângulo de fase é feita por meio de circuitos eletrônicos. Entretanto, a maioria destas mesas de aferição e de calibração exploram os recursos computacionais, apenas para calcular e indicar erros percentuais, visualização de dados, interfaceamento entre a máquina e o homem, emissão de relatórios e armazenamento de dados e controle do sistema.

Com objetivo de inovar e agregar novas tecnologias de automação ao processo de aferição e de calibração, propomos um sistema computadorizado para aferição e calibração de medidores energia elétrica em laboratórios. O sistema proposto requer a utilização de um microcomputador IBM-PC ou compatível, uma placa compatível com barramento microcomputador IBM-PC para aquisição e tratamento digital das grandezas elétricas (tensão, corrente, ângulo de fase, frequência), dispositivo ótico para medição de

velocidade de rotação do conjunto móvel dos medidores de energia elétrica, além fontes de corrente e tensão controladas ou não pela placa de aquisição.

No capítulo 5 deste trabalho mostraremos, detalhadamente, a proposta de um sistema computadorizado para aferição e calibração de medidores energia elétrica em laboratórios baseado em todas as características acima citadas inclusive o desenvolvimento e implementação de placas de aquisição, compatível com barramento microcomputador IBM-PC que podem ser utilizadas, genericamente, em sistemas de instrumentação eletrônica e controle de processos; e mais especificamente, no sistema computadorizado proposto para aferição e calibração de medidores energia elétrica.

Capítulo 2

Medidor watt-hora

Este capítulo descreve uma visão histórica da evolução do medidor watt-hora, composição física e princípio de funcionamento do mesmo, tipos de medidores e suas características básicas de identificação, necessários para o entendimento do processo de medição de energia elétrica e do processo de aferição e de calibração do medidor watt-hora.

2.1 Histórico do medidor watt-hora

Os medidores de energia elétrica (medidor watt-hora) têm sido instrumentos essenciais de uma concessionária de energia elétrica ou na indústria elétrica durante mais de 90 anos. Desde 1879, quando Tomas Edison tornou prático o primeiro equipamento elétrico, a lâmpada incandescente, ele teve a visão plena da contribuição que esta nova energia traria para nossa civilização. Ele queria aquecer lares, acionar motores de fábrica,

bondes, enfim, ele queria satisfazer todas as necessidades do homem por meio da eletricidade.

Ao mesmo tempo, ele percebeu que nunca a eletricidade poderia vir a ser usada em escala comercial a menos que existisse um meio prático de vendê-la. Ela devia ser vendida. Porém, essa era uma tecnologia nova e os problemas eram muitos. Thomas Edison e os homens que com ele trabalharam, tinham que vender a idéia desta nova energia, antes mesmo de poder vender a própria eletricidade [33].

Um dos primeiros problemas para Edison foi o projeto de um medidor prático que pudesse garantir ao consumidor uma medição exata da energia elétrica por ele consumida. A primeira solução encontrada por ele foi o medidor eletro-químico, desenvolvido em 1881. Comparado com os medidores atuais, o instrumento dele era muito rudimentar e ineficiente.

O medidor de watt-hora eletro-químico operava de acordo com seguinte princípio: se dois eletrodos estiverem mergulhados numa solução química, um dos eletrodos deteriorar-se-á e passará a sua massa para o outro eletrodo na proporção direta da corrente que passa através da solução. Isto significa aumentar o peso de um dos eletrodos. Portanto, era necessário pesar os eletrodos antes e depois do processo de cobrança da energia consumida.

Obviamente, não se tratava de um medidor de leitura direta. A leitura desse medidor criou uma série de problemas para os leituristas, ou, como era chamado naquela época, para o calculista. Sempre havia erros na determinação dos pesos corretos dos pequenos eletrodos. Uma das providências tomadas na época para agradar o cliente e mantê-lo confiante, foi a de pesar os eletrodos na presença do próprio consumidor. Este tipo de medidor, com alguns aperfeiçoamentos, foi utilizado por alguns anos, mas já era obsoleto antes da introdução de circuitos de corrente alternada.

Desde a época deste primeiro medidor, muitas pessoas se dedicaram ao desenvolvimento do aparelho de medição que pudessem dar plena satisfação ao consumidor e as companhias distribuidoras de energia elétrica.

Foram pioneiros neste campo, homens como Thomson, Shalleberger, Lamphier e Duncan. Estes homens pertenciam a companhias que, atualmente, fabricam medidores conhecidos pela sua confiabilidade. Thomson fundou uma companhia que mais tarde tornou-se parte da General Electric; o primeiro empreendimento de Lamphier foi a fundação da Companhia Elétrica Sangamo; Shalleberger ficou com a Companhia de Produtos Elétricos Westinghouse e Duncan foi o fundador da Companhia que leva seu nome.

Dentre os primeiros medidores registradores, o de maior destaque foi desenvolvido pelo professor Elihu Thomson, que mereceu o Grande Prêmio na Exposição de Paris, em 1889. Este foi o primeiro medidor prático capaz de medir realmente watt-hora. Este aparelho que podia ser usado, indiferentemente, tanto em circuitos de corrente contínua, quanto em circuitos de corrente alternada, tornou-se rapidamente o medidor padrão nas indústrias.

Apesar de sua precisão não estivesse à altura dos padrões modernos, a exatidão era notável quando comparada com qualquer outro tipo de medidor da época. O aparelho funcionava de acordo com o princípio de um pequeno motor *shunt*. As bobinas de campo, de fio, eram ligadas em série com a linha, ao passo que o enrolamento da armadura era levado para um comutador e ligado em paralelo com a linha. Um disco de cobre, montado no eixo da armadura, rodando entre os pólos de três ímãs permanentes, servia de freio. O que contribuiu muito para o sucesso prático do aparelho foi um pequeno comutador, com superfícies de contato de prata pura, que garantia baixa resistência e atrito reduzido e uniforme. Esse medidor, aperfeiçoado há quase 100 anos, é ainda hoje aplicado, sem modificação alguma, em todos os medidores de motor-comutador para corrente contínua, de qualquer fabricação.

Naquela mesma época, Oliver B. Shalleberger desenvolveu uma outra espécie de medidor para operar exclusivamente em corrente alternada. O aparelho não era um medidor de watt-hora e sim um medidor de ampère-hora. Em 1888 Shalleberger recebeu um patente por este novo medidor [29].

O medidor de ampère-hora incluía pelo menos alguns dos princípios básicos do medidor de watt-hora de corrente alternada dos dias atuais. O instrumento era, de certa maneira, muito mais simples que o medidor de watt-hora atual, e Shalleberger acreditou que o seu medidor tomaria conta do mercado.

O medidor de ampère-hora tinha apenas um par de bobinas através das quais passava a corrente em linha. Um segundo par de bobinas, com certo deslocamento angular, mas muito próximo das bobinas de corrente, recebia energia por indução destas bobinas. O disco, ou elemento móvel, era situado entre duas bobinas. Como elemento frenante era usado um dispositivo de alertas que encontrava resistência no ar.

A simplicidade e o baixo custo do medidor de Shalleberger deixou crer que ele havia encontrado a solução para o problema da medição. As companhias de energia elétrica passaram a adotá-lo imediatamente. Porém, tornando-se cada vez maior o emprego da corrente alternada, o medidor de Shalleberger, que media ampère-hora em vez de watt-hora (que representa a medida real da energia elétrica), fez com que a preferência passasse para o wattímetro-registrador de Thomson, que já descrevemos. Poucos anos depois, tanto Duncan quanto Lamphier introduziram novos aperfeiçoamentos no campo da medição. A maior parte das inovações que eles introduziram prendia-se aos projetos básicos de Thomson e Shalleberger.

Em 1894, Shalleberger realizou a maior descoberta no campo da medição, para a época. Ele transformou o medidor de indução, que anteriormente só registrava ampère-hora em medidor watt-hora. Esta descoberta tornou-se parte vital no campo da medição.

As pessoas familiarizadas com os conceitos da medição, o método que ele descobriu é conhecido como o processo de defasamento em atraso. Este princípio será explanado mais adiante.

Thomsom fez em 1897, uma das primeiras adaptações do projeto de Shalleberger com este medidor. Este foi o primeiro medidor do tipo de indução produzido pela GENERAL ELETRIC COMPANY, e substituiu o velho wattímetro-registrador, do tipo comutador, de 1889, para funcionar em corrente alternada. Apesar dos avanços esses aparelhos não eram tão eficientes se comparados ao nossos modernos padrões. Eles precisavam de constantes cuidados para mantê-los operando com razoável precisão. Mas, representaram um excelente ponto de partida, se levarmos em consideração os obstáculos enfrentados pelos pioneiros da ciência da medição.

Por parte da indústria, a confiança nesses pioneiros aparece nas especificações do ano de 1890, quando dominavam o sistema de iluminação a gás. As companhias requeriam um medidor que tivesse ajuste de carga pequena adaptável às condições locais. Portanto tinha que ser um medidor que não rodasse em vazio, que fosse preciso em carga pequena, um medidor que fosse substancialmente à prova de poeira e, finalmente, um medidor que pudesse funcionar por seis meses sem fazer manutenção, no que diz respeito à limpeza e calibração.

Assim foi apresentado, pela primeira vez, o medidor que se distinguiu por ser compacto e espaçoso internamente, por possuir alto torque, facilidade de ajuste, amplo registrador de quatro ponteiros, grande estabilidade mecânica e acima de tudo, confiabilidade e longa vida. Este é o medidor de watt-hora, de indução tipo T, e desde então, não houve modificações radicais em sua concepção [29].

Ele sintetizava todas as pesquisas e os desenvolvimentos feitos por Edison, Shalleberger, Thomsom, Ducan, Lamphier e muitos outros pioneiros que lançaram as primeiras idéias básicas de medição; idéias que utilizamos nos dias atuais. Ao longo do tempo houve um grande aperfeiçoamento em materiais e técnica. A indústria elétrica, as

concessionárias de energia elétrica e os fabricantes estão sempre pesquisando para projetar medidores mais eficientes e sofisticados [33].

2.2 Medidor de energia elétrica do tipo indução ou Ferraris

Energia não é a mesma coisa que potência, a qual é uma quantidade instantânea. Energia inclui a função tempo ou quanto a potência tem sido aplicada. Energia é igual à potência multiplicada pelo tempo. Portanto, quando queremos medir energia, deveremos utilizar um instrumento de medição que medirá ou avaliará a quantidade de potência utilizada durante um determinado intervalo de tempo [28].

A unidade básica de medição de energia elétrica é watt-hora e o dispositivo que mede watt-hora é conhecido como medidor watt-hora. Por exemplo, um medidor watt-hora avaliará 1 kWatt-hora (1kWh) se conectado por um período de 2 horas em um circuito (carga) que consome uma potência de 500 watts.

O medidor moderno de watt-hora é um dispositivo de medição de energia elétrica ativa de preço razoável e de um bom grau de exatidão para uma grande faixa de carga (consumidores) e de condições ambientais para longos períodos de tempo, apresentando baixa ou quase nenhuma manutenção. O medidor consiste de um rotor (disco de alumínio) em que o torque é proporcional ao fluxo de potência [6], um freio magnético para retardar a velocidade do rotor e um registrador para contar o número de rotações que o disco executa. Portanto, se a velocidade do rotor é proporcional à potência, então o número de rotações será proporcional a energia. A Figura 2.1 apresenta na vista isométrica do medidor watt-hora, a qual mostra as partes essenciais em suas posições relativas e serve para mostrar o princípio de funcionamento do medidor.

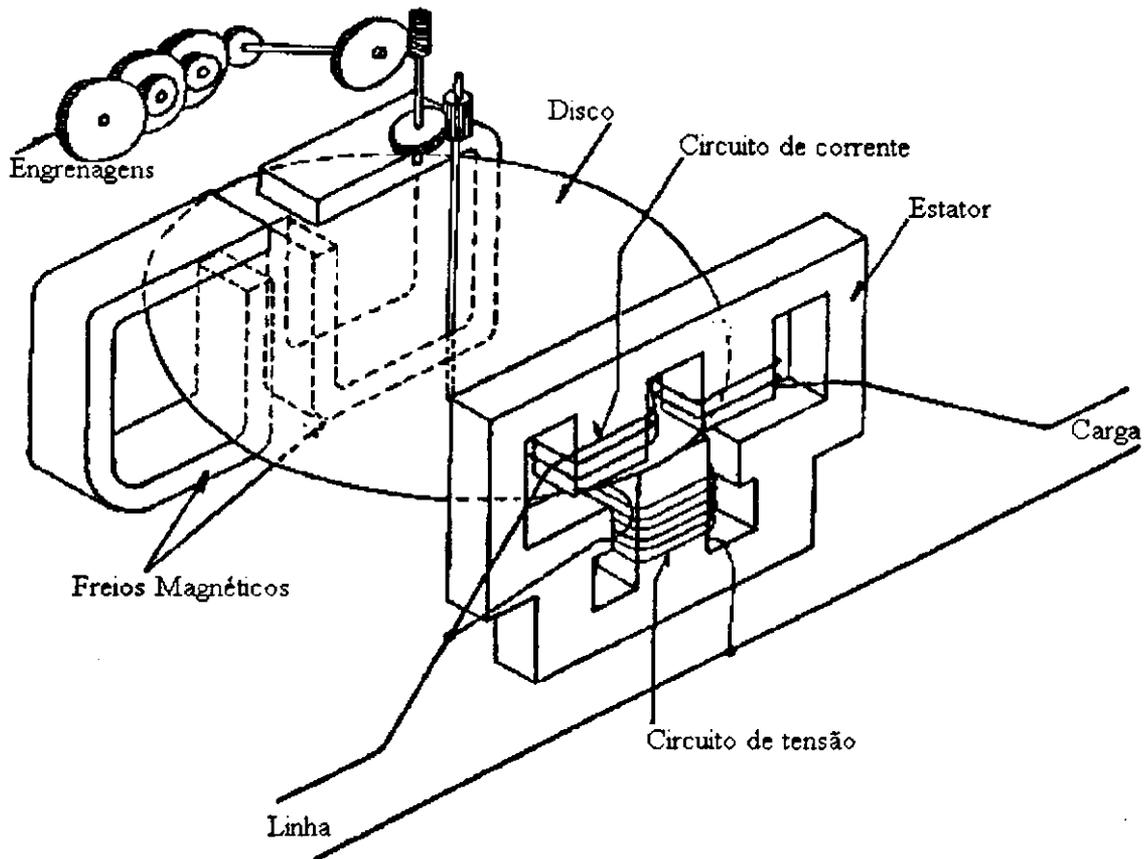


Figura 2.1- Vista isométrica do medidor watt-hora.

O medidor watt-hora é constituído de quatro partes básicas: elemento motor ou estator (circuito de tensão e de corrente), elemento frenador (freio magnético), elemento móvel (disco ou rotor) e mecanismo registrador (engrenagens e mostrador).

2.2.1 Estator

O estator é constituído de dois circuitos magnéticos: circuito de corrente e de tensão, os quais são responsáveis pela geração dos fluxos magnéticos ϕ_i e ϕ_v , respectivamente; necessários à geração do conjugado motor C_m . A Figura 2.2 mostra uma vista frontal do estator, mostrando o sentido e a direção dos fluxos ϕ_i e ϕ_v , que interagem no elemento móvel (disco) do medidor watt-hora.

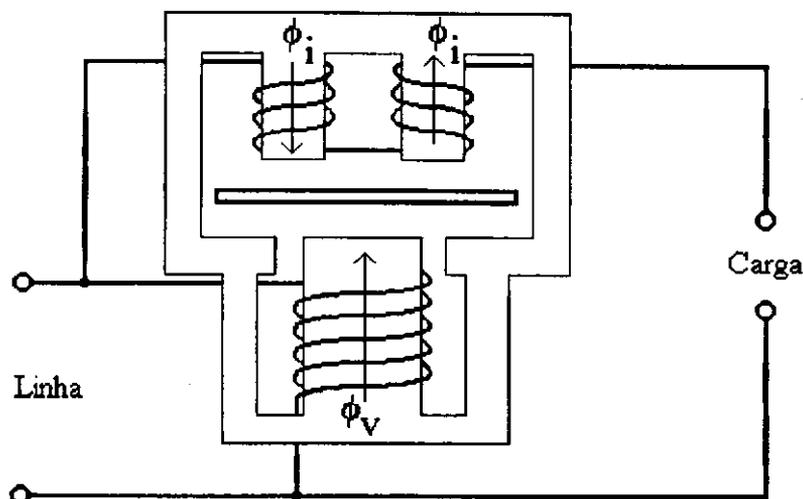


Figura 2.2 - Vista frontal do estator.

O circuito de tensão é composto de um núcleo formado pelo empilhamento de lâminas de material magneticamente mole (FeSi) e de uma bobina altamente indutiva, com um número elevado de espiras de fio de cobre. Esta bobina deve ser ligada em paralelo com a carga. O elevado grau de indução da bobina de tensão permite obtermos um defasamento entre a tensão e fluxo ϕ , bem próximo de 90 graus ($\pi/2$ radianos). Na prática, este defasamento pode ser ajustado de 80 a 85 graus.

No mesmo núcleo, o circuito de corrente é formado por uma bobina, com um número reduzido de espiras de fio grosso de cobre, a qual deve ser ligada em série com a carga; sua finalidade é criar o fluxo ϕ , que age sobre o conjugado motor C_m . A bobina de corrente também é indutiva, entretanto, apresenta um defasamento que está entre 45 a 60 graus. Sua impedância é bastante reduzida comparada com a impedância da carga; portanto, os efeitos resistivos da bobina de corrente sobre a corrente que nela circula são desprezíveis.

2.2.2 Elemento Frenador

É composto de um ou mais ímãs permanentes no entre-ferro, cujo objetivo é reduzir a velocidade do elemento móvel do medidor a um valor adequado aos procedimentos de aferição e de calibração e aos desgastes dos mancais apresentados quando estes são mecânicos.

2.2.3 Elemento Móvel

É composto por disco de alumínio puro, de baixa resistividade, forjado a um eixo de aço apoiado em mancais ou mantido por suspensão magnética que gira no entre-ferro principal do estator, com velocidade de rotação proporcional à potência consumida pela carga. Ao girar, aciona-se um sistema mecânico de engrenagens que registra, num mostrador, a energia consumida. Os mancais são conjuntos de peças com a finalidade de manter o elemento móvel em posição adequada, permitindo sua livre rotação.

2.2.4 Mecanismo Registrador

Conjunto destinado a registrar o número de rotações do elemento móvel, conforme uma relação pré-estabelecida, que mostre a energia consumida, em kWh no mostrador. O mostrador pode ser de dois tipos: ponteiro ou ciclométrico. As Figuras 2.3 e 2.4 mostram os dois tipos, respectivamente.

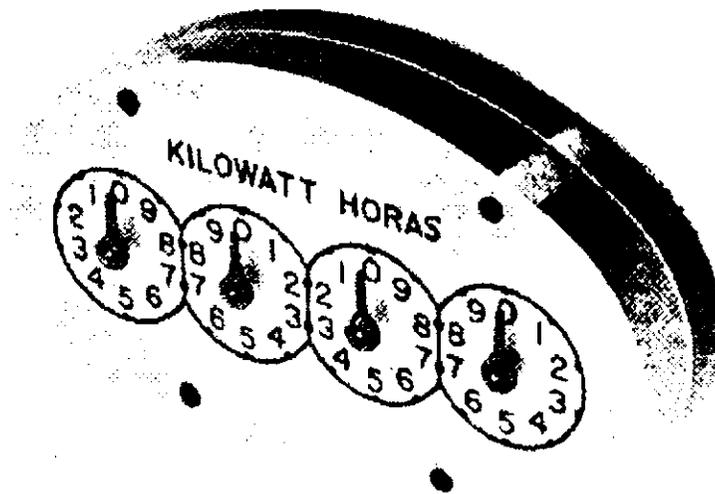


Figura 2.3 - Mostrador tipo ponteiro

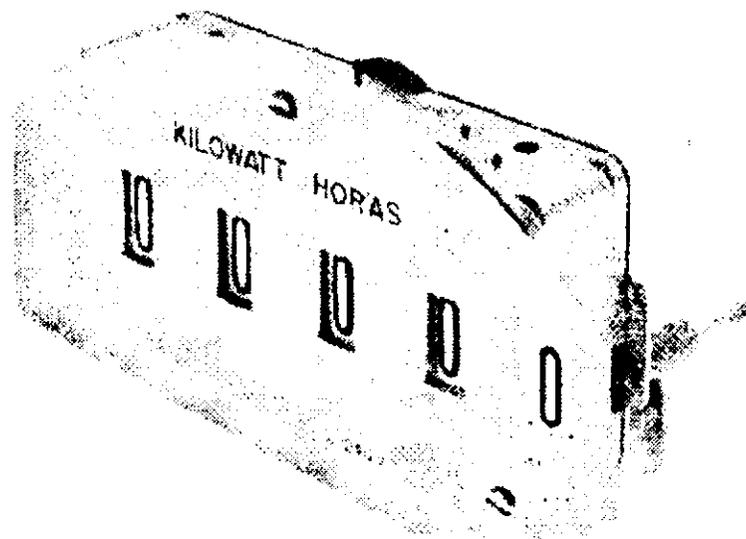


Figura 2.4 - Mostrador tipo ciclométrico

2.3 Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento do medidor de indução é baseado no fenômeno da interação eletromagnética que estabelece que um condutor metálico de comprimento l , totalmente imerso em um campo magnético uniforme B e perpendicular a l , quando circular uma corrente elétrica de intensidade I no mesmo, ficará sujeito a uma força F , cujo

sentido é dado pela regra da mão esquerda, com o dedo médio apontado para o sentido convencional da corrente I e a direção é perpendicular ao campo magnético \mathbf{B} e à corrente elétrica I . Quando o campo magnético \mathbf{B} forma ângulo β com o comprimento l , a força F é dada por :

$$F = B.I.l.\text{sen } \beta,$$

onde β é o ângulo entre \mathbf{B} e a direção de l no espaço. (2.1)

A carga com fator de potência unitário, os fluxos da bobina de corrente e de tensão estão defasados em 90 graus, conforme mostra a Figura 2.5.

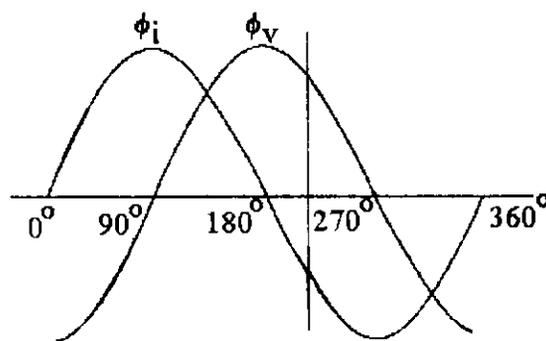


Figura 2.5 - Fluxos magnéticos da bobina de corrente e de tensão.

O fluxo ϕ_v da bobina de tensão ao passar através do disco, induz uma corrente i_v no disco que interage com o fluxo ϕ_i da bobina de corrente, dando origem a um conjugado em relação ao eixo do disco, fazendo-o girar. Ao mesmo tempo, o fluxo ϕ_i da bobina de corrente ao atravessar o disco, induz as correntes i_i , as quais interagem com o fluxo ϕ_v dando origem a um outro conjugado em relação ao eixo do disco que o girar. Estes dois conjugados atuam sobre o disco, no mesmo sentido, fazendo-o girar. O fluxo ϕ_v está em fase com a corrente que circula na bobina de tensão; e como esta bobina é altamente indutiva, a corrente desta bobina está atrasada em 90 graus em relação à tensão aplicada na bobina de tensão. A Figura 2.6 mostra as correntes parasitas i_i induzidas no disco pelo fluxo da bobina de corrente como também o sentido de rotação do disco.

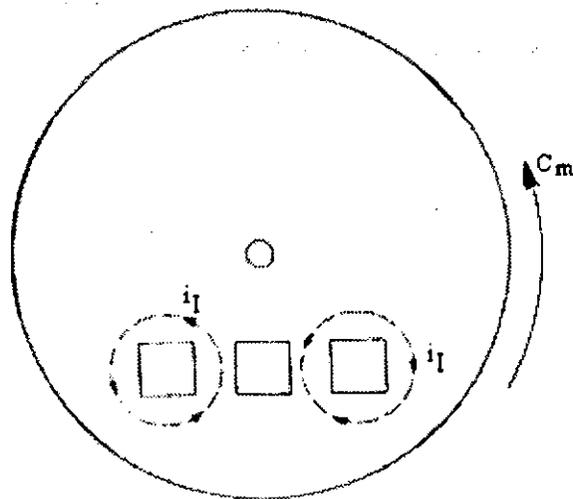


Figura 2.6 - Correntes parasitas i_I induzidas no disco e o sentido de rotação do disco.

A Figura 2.7 mostra as correntes parasitas i_V induzidas no disco pelo fluxo da bobina de tensão como também o sentido de rotação do disco.

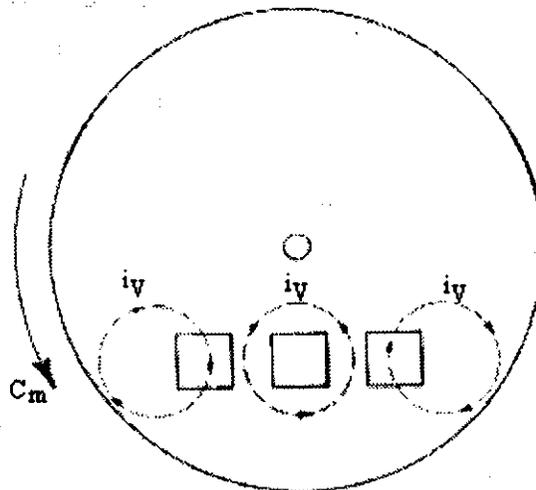


Figura 2.7 - Correntes parasitas i_V geradas no disco e o sentido de rotação do disco.

2.4 Classificação dos medidores de energia elétrica

Os medidores de energia elétrica podem ser classificados em duas grandes famílias: os medidores monofásicos e os medidores polifásicos.

2.4.1 Medidor monofásico de dois fios

É constituído de um elemento motor, uma bobina de tensão e uma bobina de corrente.

2.4.2 Medidor monofásico de três fios

É constituído de um elemento motor, uma bobina de tensão e duas bobinas de corrente. Utilizado na medição de circuitos monofásicos a três fios.

2.4.3 Medidor polifásico de três fios

É constituído de um ou dois elementos motores, duas bobinas de tensão e duas bobinas de corrente.

2.4.4 Medidor polifásico de quatro fios

É constituído de um ou três elementos motores, três bobinas de tensão e três bobinas de corrente.

2.5 Constantes do medidor watt-hora

A constante K_1 relaciona a velocidade de rotação do disco em watts. Este valor é determinado pelo o processo de calibração. Se:

R - número de revoluções do disco;

S - tempo em segundos;

R/S - velocidade de rotação (revolução por segundos)

Portanto, temos que :

$$\text{Watts} = K_t \cdot R/S \quad \text{ou} \quad K_t = \text{Watts} \cdot S/R$$

A constante watt-hora K_h ou constante do disco K_d representa o valor de energia elétrica registrada por revolução do disco expressa em watt-horas. Esta constante é determinada pelo processo de calibração. Ou melhor, é expressa em Wh/r (watt-horas por revolução do disco), entretanto, em outros países é expressa em r/kWh (revolução por quilowatt-hora).

Relação entre K_t e K_h : $K_h = K_t/3600$, isto implica que :

$$K_h = \text{Watts} \times S / 3600 \times R$$

A velocidade angular dos medidores pode apresentar dois valores mais comuns: $8 \frac{1}{3}$ e $16 \frac{2}{3}$ rotações por minuto [30].

2.6 Resumo

A abordagem descrita neste capítulo sobre medidor watt-hora em conjunto com a referências bibliográficas [6] e [32], mostram o funcionamento do medidor watt-hora como também comprova que o mesmo registra, por meio de um registrador (ponteiro ou ciclométrico), a energia elétrica consumida, em kWh, por uma determinada carga, ligada a rede elétrica, conforme a Figura 2.2.

Capítulo 3

Aferição e calibração de medidor watt-hora

Neste capítulo definimos o processo de aferição e de calibração, métodos utilizados e tipos de ajustes para aferir e para calibrar o medidor watt-hora como também às condições de funcionamento no processo de aferição, segundo a normas técnicas da ABNT. Apresentamos um breve histórico de evolução das mesas de aferição e de calibração, tipos de mesas quanto a sua utilização , quanto ao tipo de teste e quanto ao método de ensaio; como também o desenvolvimento da equação matemática para cálculo do erro percentual que posteriormente será usado para avaliar o processo de aferição do medidor sob teste.

3.1 Definição de aferição e sua finalidade

A aferição de um medidor de energia elétrica tipo indução significa determinar o erro do medidor através de sua comparação com um medidor padrão quando estes são usados para efetuar a medição da mesma grandeza. O medidor padrão é um medidor watt-

hora projetado especialmente para serviço de aferição e calibração dos medidores de energia elétrica, o qual apresenta um grau de exatidão que o medidor comum. Geralmente, com classe 0.5 ou melhor, podendo apresentar repetibilidade da ordem de $\pm 0.1\%$ [1].

A aferição dos medidores permite à concessionária de energia elétrica manter a qualidade dos medidores e o controle de defeitos, suspeitas de fraudes e possíveis reclamações de consumo de energia.

3.2 Definição de calibração

Conforme o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM-INMETRO), a calibração é definida como sendo o conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões [4]. Especificamente, calibração é o processo de manuseio dos dispositivos de ajuste do medidor watt-hora, permitindo que o mesmo registre a energia medida dentro de determinada faixa de erro admissível. A Tabela 3.1 mostra as condições de calibração e os erros admissíveis para cada teste de calibração.

Condição	Calibração	Porcentagem da corrente nominal (%)	Fator de potência	Erro percentual admissível (%)
1	carga nominal	100	1	± 1.5
2	carga indutiva	100	0.5 indutivo	± 2.0
3	carga pequena	10	1	± 2.0

Tabela 3.1- Condições de calibração e os erros admissíveis para cada teste de calibração.

3.3 Verificação das margens de calibração

As margens de calibração não devem ser inferiores a :

- a. $\pm 2\%$ na carga nominal ;
- b. $\pm 1\%$ na carga indutiva;
- c. $\pm 3\%$ na carga pequena.

3.4 Condições de funcionamento do medidor watt-hora

No Brasil, os medidores devem ser acompanhados de instruções, em língua portuguesa, fornecidas pelo fabricante, contendo esquemas de ligações, manuseio dos ajustes de calibração e aferição dos medidores em circuitos monofásico, acrescidas de instruções contendo os valores limites das tensões de calibração.

Os testes devem ser realizados com tensões e correntes senoidais, com fator de distorção não excedendo a 5% para medidores classe 2 e 2% para medidores classe 1. As variações de frequência não devem ultrapassar $\pm 0,5\%$ para medidores classe 2 e $\pm 0,3\%$ para medidores classe 1 e as variações de tensão e de corrente não devem ultrapassar $\pm 2\%$ [1].

Na marcha em vazio, o disco do medidor sem carga não deve dar mais de uma rotação completa, quando este for submetido a 110% da tensão nominal, à frequência nominal, por um período de tempo máximo de 15 minutos. Neste procedimento, é verificado se o medidor está em condições de regulação e se não há assimetrias eletromagnéticas [1].

No teste de carga pequena, o desvio do erro percentual do medidor, entre duas leituras quaisquer, não deve ser superior a 1% [1].

Durante os testes de calibração, os medidores devem estar na posição vertical, com uma tolerância permissível de mais ou menos de meio grau ($\pm 0,5^\circ$) [1].

3.5 Tipos de ajustes

A determinação dos erros dos medidores de energia elétrica é realizada através de três processos ou dispositivos de ajuste, definidos no Brasil pelo INMETRO (Instituto Nacional Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) e pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), e são realizados na seguinte seqüência: descrita na próxima seção.

3.5.1 Ajuste de carga nominal

Este processo de ajuste tem o objetivo de ajustar a velocidade do elemento móvel (rotor ou disco) do medidor, o qual é atravessado por um fluxo magnético produzido por um ímã permanente que gera o conjugado frenador. Manejando-se o ímã permanente, modifica-se o conjugado frenador produzido pelo ímã sobre o disco.

Matematicamente, o conjugado frenador (C_f) é calculado pela seguinte relação:

$$C_f = \frac{\phi^2 \cdot \alpha^2 \cdot r^2}{A^2 \cdot R} \cdot \omega \quad (3.1)$$

onde:

- ϕ - indução magnética do ímã permanente que atravessa o disco;
- a - dimensão do polo do ímã permanente
- ω - velocidade angular do disco;
- r - raio do disco;
- A - área dos pólos do ímã permanente;
- R - resistência elétrica do disco.

Baseando-se na equação (3.1), observamos que uma variação do conjugado frenador produzirá uma variação da velocidade angular do disco. Portanto, o conjugado frenador pode ser modificado, praticamente, por um dos três procedimentos relacionados a seguir:

1) modificando o valor do fluxo magnético ϕ que atravessa o disco através de um derivador magnético (*shunt*) ajustável manualmente, o qual é posicionado entre os ímãs permanentes;

2) modificando o valor de A , o que corresponde em alterar a dimensão do polo do ímã permanente que causa influência no amortecimento;

3) modificando o valor do ângulo que forma a reta que une os polos do ímã em relação ao raio do disco no ponto de atuação dos ímãs, isto é, modificando a posição do ímã permanente em relação ao eixo de rotação do disco.

3.5.2 Ajuste de carga indutiva

A teoria de ajuste de carga indutiva foi apresentada pela primeira vez em 1890 por Shalleberger, a qual estabelece que para termos um registro correto da energia elétrica consumida, com carga de fator de potência variável, o fluxo da bobina de tensão deve estar atrasado do fluxo da bobina de corrente em 90 graus exatos, quando a carga ligada ao

medidor tiver fator de potência unitário [11]. Esta relação de 90 graus é essencial para manter a velocidade do elemento móvel (disco) proporcional à potência para qualquer carga de valor de fator de potência.

Neste tipo de ajuste, a carga corresponde a uma corrente no medidor igual à corrente nominal, com tensão e frequência nominais e com fator de potência igual a 0.5 indutivo.

3.5.3 Ajuste de carga pequena

Este processo de ajuste tem o objetivo de compensar os atritos e dessimetria magnéticas que apresentam grande margem de sensibilidade quando o medidor está em condições de funcionamento com cargas pequenas.

Os atritos inerentes ao medidor ocorrem de diversas formas, por exemplo: atritos mecânicos dos mancais mecânicos e no registrador, atrito fluido devido à movimentação do elemento móvel (disco) no ar e atritos magnéticos originados pela dissimetria existente nos circuitos magnéticos do medidor. Portanto, como estes atritos são grandezas variáveis entre medidores, conclui-se a grande necessidade do ajuste de carga leve.

Quando na bobina de corrente do medidor não circular corrente elétrica, qualquer falta de simetria no fluxo voltimétrico da bobina de potencial poderá gerar um conjugado motor que fará com que elemento móvel (disco) do medidor se movimente para frente e/ou para trás. Como o fluxo da bobina de corrente não é proporcional à corrente, o disco tem uma velocidade de rotação mais baixa do que o valor normal.

Os atritos mecânicos dos mancais e no dispositivo de totalização geram um atraso no contador como também pode impedir a partida do disco para pequenas correntes. Para compensar estes efeitos, é produzido um conjugado auxiliar proporcional ao fluxo da

bobina de potencial que é obtido com uma pequena chapa de material magnético colocada próxima à bobina de potencial do medidor, permitindo um aumento do fluxo independentemente das condições de carga. Dependendo do posicionamento desta chapa, é gerado um conjugado sobre o disco que pode apressar ou retardar a velocidade de rotação do disco, de modo que o atrito é compensado e o elemento móvel (disco) do medidor tenha condições de partir e registrar a energia elétrica consumida de cargas de baixo valor de corrente. O ajuste de carga leve, para obtermos a máxima sensibilidade, deve ser realizado com uma carga a menor possível, sendo o valor ideal igual a zero. Entretanto, os órgãos de aferição estabelecem que a carga deve consumir uma corrente igual a 10 % da corrente nominal do medidor e com fator de potência igual a 1, obtendo uma maior independência com o ajuste de quadratura (ajuste de carga indutiva).

3.6 Mesas de aferição e de calibração de medidor watt-hora

Uma mesa de aferição e de calibração tem como objetivo fornecer tensão e corrente alternada de baixa distorção ao medidor em teste e ao medidor padrão (se o método utilizar) com fator de potência definido. A mesa deve solicitar baixa potência da rede elétrica. As primeiras mesas utilizavam cargas resistivas apresentando um alto consumo e aquecimento elevado. A Figura 3.1 mostra a configuração básica de uma mesa com carga resistiva.

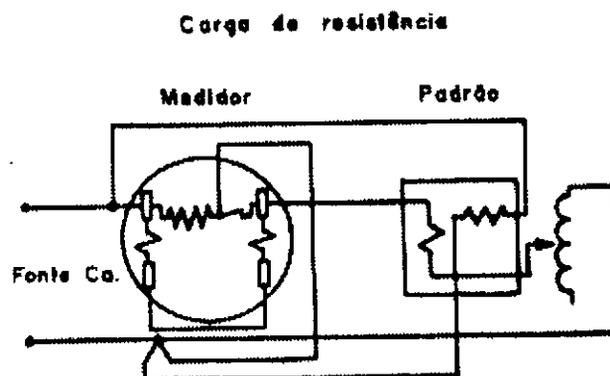


Figura 3.1- Configuração básica de uma mesa com carga resistiva.

Com o objetivo de solucionar este problema, foi desenvolvido um processo que substitui as cargas resistivas por cargas fantasmas. A Figura 3.2 mostra a configuração básica de uma mesa com carga fantasma, o que permite um baixo consumo de potência e reduz os riscos de acidentes com os operadores. Estas características são promovidas pela baixa tensão no secundário do transformador como também pelo isolamento da mesa para com a rede elétrica.

A utilização de cargas fantasmas permitiu que os fabricantes e as concessionárias de energia elétrica desenvolvem-se mesas de baixo peso e com outras características de vastas aplicações, por exemplo: instrumentos leves e práticos para testes de campo.

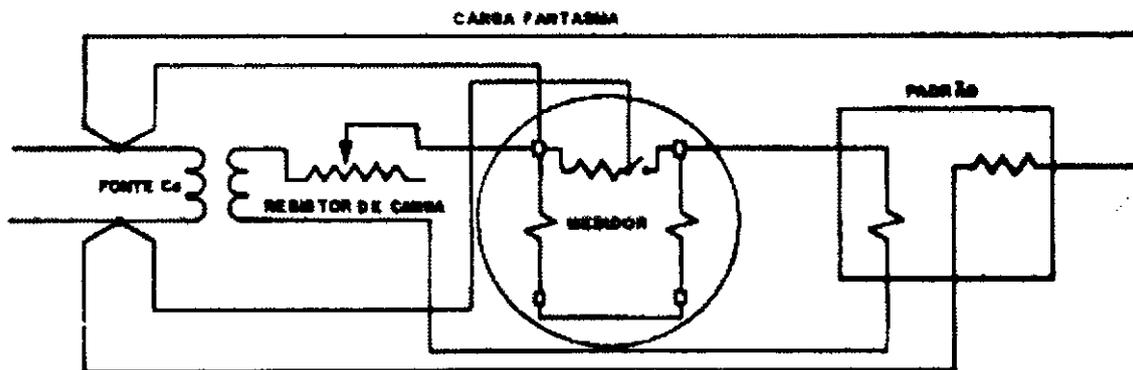


Figura 3.2 - Configuração básica de uma mesa com carga fantasma.

3.6.1 Tipos de mesas de aferição e de calibração

As mesas podem ser divididas em 2 tipos quanto a sua utilização: as mesas de laboratório e as mesas de produção.

As mesas de laboratório são bastante utilizadas em laboratórios que executam testes de certificação de projetos, protótipos, ensaios de desenvolvimentos e manutenção preventiva e/ou corretiva de medidores, apresentando uma grande variedade de recursos que permitem controle de diversos valores de tensão e corrente, e o controle de ângulo de

fase. No nível de produção, estas mesas apresentam baixa produtividade, entretanto, apresentam uma razoável exatidão nos processos de aferição.

As mesas de produção permitem testes de aferição e de calibração de uma grande quantidade de medidores e são utilizadas em concessionárias de energia elétrica e fabricantes de medidores, permitindo uma alta produtividade. Uma outra característica importante destas mesas é permitir ensaios de marcha em vazio de medidores em grande escala. Em contra-partida à elevada produtividade e apresentam baixo grau de exatidão no processo de aferição e de calibração.

As mesas podem ser divididas em 2 tipos quanto ao tipo de teste: as mesas potência versus tempo e as mesas de comparação com medidor padrão.

As mesas potência versus tempo são utilizadas para testes individuais em medidores ou padrões. Baseiam-se no fornecimento de potência constante ao medidor em teste, e controle preciso de medição do tempo. Apresentam baixo custo, pois, não há necessidade do medidor padrão. Os wattímetros devem ser de boa exatidão e cronômetro pode ser analógico ou digital com boa precisão.

As mesas de comparação com medidor padrão baseiam-se no princípio da comparação de grandezas idênticas, não necessitando do fornecimento de tensões e de correntes reguladas. Nestas mesas, há necessidade do medidor padrão de referência que deve ser de boa qualidade e boa exatidão. No caso do medidor em teste, em intervalos pequenos de tempo (100 segundos até 1 hora), a energia indicada no registrador em watt-hora é bastante pequena, dificultando sua avaliação. Portanto, ao contar o número de rotações do disco e comparando-se com o número de rotações realizadas pelo medidor padrão, temos condições de efetuar uma avaliação do funcionamento do medidor em teste.

O medidor padrão avalia de maneira correta a quantidade de energia W_p durante o intervalo de tempo t no qual o disco efetuou N_p rotações, portanto:

$$W_p = K_p \cdot N_p \quad (3.2)$$

onde K_p - constante do disco do medidor padrão (Wh/rotação).

O medidor em teste registra a quantidade de energia W_s durante o mesmo intervalo de tempo t no qual o disco efetuou N_s rotações. Analogamente, temos:

$$W_s = K_s \cdot N_s \quad (3.3)$$

onde K_s - constante do disco do medidor em teste (Wh/rotação).

Igualando-se as equações (3.2) e (3.3), temos:

$$K_p \cdot N_p = K_s \cdot N_s \quad (3.4)$$

Na equação (3.4), as constantes K_p e K_s são valores conhecidos, fornecidos pelos fabricantes de medidores. Estabelecido um certo número de rotações N_s para o medidor em teste, calcula-se o número de rotações N_p que deve efetuar o medidor padrão que será usado como comparador.

Por definição, o erro relativo, em termos percentuais é expresso pela seguinte relação:

$$\varepsilon = \frac{W_s - W_p}{W_p} \times 100 (\%) \quad (3.5)$$

Substituindo-se as equações (3.2), (3.3) e (3.4) na equação (3.5), temos:

$$\varepsilon = \frac{N_s - N_p}{N_p} \times 100 (\%) \quad (3.6)$$

A partir da equação (3.6), podemos concluir que:

Se $\varepsilon > 0$, o medidor em teste está adiantado, ou melhor, o medidor registra uma quantidade de energia maior do que o valor consumido.

Se $\varepsilon < 0$, o medidor em teste está atrasado, ou melhor, o medidor registra uma quantidade de energia menor do que o valor consumido.

As conclusões acima citadas são válidas, considerando os limites de erro, segundo as normas técnicas estabelecidas pela ABNT, os quais mostrados na Tabela 3.1 deste capítulo.

As mesas podem divididas em dois tipos quanto ao método de ensaio: as mesas monofásicas e as mesas trifásicas.

Nas mesas monofásicas, os medidores são aferidos e calibrados com tensões e correntes monofásicas, onde os circuitos de correntes e de tensões dos medidores são ligados em série e paralelo, respectivamente. Com o uso de transformador multi-tap de tensão ou do transformador isolador de corrente temos o isolamento elétrico entre posições e elementos do medidor, tornando o processo de aferição eficiente [31]. Neste tipo de mesa é possível aferir e calibrar medidores polifásicos.

As mesas trifásicas de aferição e de calibração de medidores trabalham com rede elétrica de alimentação trifásica equilibradas em módulo e defasagem, permitindo o fornecimento de tensão e de corrente trifásicas aos medidores. Com a rede trifásica de alimentação, o teste de ajuste de carga indutiva e fator de potência de 50%, a carga pode ser puramente resistiva e o fator de potência 50% indutivo da carga indutiva é obtido pela substituição de uma fase por outra no terminal de saída das bobinas de tensão do medidor em teste e do medidor padrão. As mesas trifásicas permitem também executar o processo de aferição e de calibração de medidores monofásicos de 2 ou 3 fios. A Figura 3.3 mostra o esquema de uma mesa trifásica com seus componentes básicos.

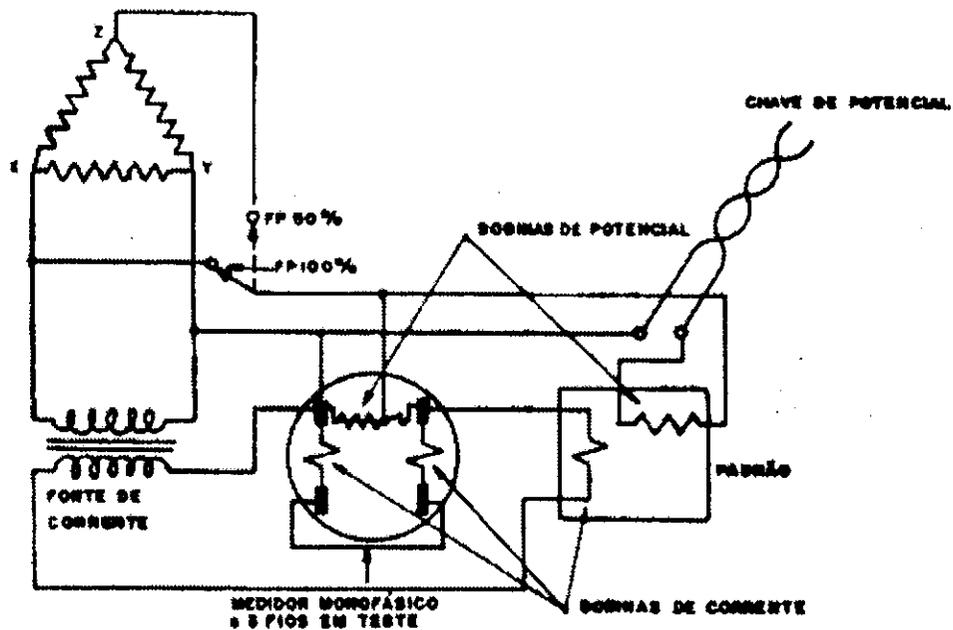


Figura 3.3 - Configuração básica de uma mesa trifásica

3.7 Resumo

Abordamos neste presente capítulo a necessidade da realização do processo de aferição e de calibração de medidores de energia elétrica (medidores watt-hora) por parte da concessionária de energia elétrica, a qual deve realizar o processo de aferição dentro das normas técnicas estabelecidas pela ABNT. Esta associação estabelece as condições de calibração e de funcionamento do medidor watt-hora, tipos de calibração como também os erros admissíveis para cada tipo de calibração.

Estas normas técnicas de aferição e de calibração são válidas para o método de aferição por comparação com o medidor padrão ou para o método potência versus tempo para mesas de aferição e de calibração no nível de produção ou no nível de laboratório, podendo ser mesa trifásica ou mesa monofásica.

Capítulo 4

Sistemas de aquisição de dados e de controle

Neste presente capítulo, faremos uma descrição de sistema de aquisição de dados e de controle de forma genérica e seus componentes necessários à composição de sua estrutura básica funcional.

Mostraremos o desenvolvimento e implementação de duas placas inteligentes baseadas no microcontrolador MC68HC11 da Motorola, para aplicações em instrumentação eletrônica e controle de processo. Estas placas utilizam o barramento do microcomputador IBM-PC como sistema hospedeiro

Para finalizar o capítulo 4, relataremos as aplicações das placas inteligentes em sistemas de aquisição de dados e de controle; e no próximo capítulo abordaremos a sua utilização em um sistema computadorizado de aferição e de calibração de medidores de energia elétrica (medidor watt-hora).

O condicionamento de sinais é uma função importante em um sistema de aquisição de dados baseado em microcomputador. Destacamos as funções mais importantes dos circuitos de condicionamento de sinais, as quais são: amplificação e atenuação, filtragem, detectores de nível médio, pico e eficaz, excitação, isolamento e linearização.

Os circuitos de condicionamento podem amplificar os sinais de baixo nível, e isolar e filtrá-los para a obtenção de medições mais precisas e seguras como também gerar sinais de excitação para sensores e atuadores.

Os condicionadores de sinal analógico podem ser avaliados através das seguintes características: resposta em frequência, filtragem, ganho, ajustes, sinais de calibração e isolamento galvânica. Por outro lado as características dos condicionadores de sinal digital são caracterizadas pela resposta em frequência, filtragem, isolamento galvânica por opto-acoplador ou por relé e isolamento entre entradas.

O conversor A/D (ADC) é dispositivo eletrônico (em geral, um circuito integrado) que converte um sinal analógico para um sinal digital (número digital, em código binário). Existem quatro (4) tipos de conversor A/D: conversor A/D por aproximação sucessiva, conversor A/D por integração, conversor tensão/frequência (V/F) e conversor rápido (*flash*). Na Tabela 4.1 mostramos as características básicas entre os quatro (4) tipos de conversor A/D, as quais são usadas como requisitos para definir o tipo de conversor A/D a ser usado em uma determinada aplicação em um sistema de aquisição de dados baseado em microcomputador.

Tipo de conversor A/D	Velocidade	Resolução	Imunidade à ruído	Custo
Tensão/Frequência (V/F)	Baixa	14-24 bits	Muito boa	Médio
Por integração	Baixa	12-18 bits	Muito boa	Baixo
Aproximação sucessiva	Média	10-16 bits	Pequena	Baixo
Rápido (<i>flash</i>)	Rápida	4-8 bits	Nenhuma	Alto

Tabela 4.1 – Tipos de conversor A/D.

O conversor D/A (DAC) é dispositivo eletrônico (em geral, um circuito integrado) que converte um sinal digital (número digital, em binário) a um correspondente sinal analógico de tensão ou de corrente. Este conversor D/A é utilizado para controlar algum instrumento ou equipamento externo, podendo estar em placas dedicadas D/A ou incorporadas às placas A/D. As principais características mais importantes de uma placa D/A são as seguintes: a taxa de conversão (velocidade), resolução (em *bits*), número de canais, recursos para base de tempo (*timers*, interrupção), recursos de transferência de dados (DMA, interface serial, interface paralela), condicionamento de sinais e *buffers*.

Além do conversor A/D ou D/A, as placas de aquisição (*hardware*) podem incorporar várias características, por exemplo: transferência de dados para o microcomputador utilizando DMA (Acesso Direto à Memória), *polling* ou interrupção, amplificadores de ganho programável e circuitos de gatilhamento por *hardware* ou por *software* para sincronizar o início de um processo de aquisição de dados.

Com o auxílio de um microcomputador é possível realizar a aquisição de dados de um determinado processo. Os sinais analógicos de tensão ou de corrente são convertidos em sinais digitais e armazenados na memória do microcomputador. A placa de aquisição possibilita a aquisição das amostras de sinais analógicos de tensão ou de corrente; e o *software* permite o tratamento adequado dos dados obtidos do processo.

Na Figura 4.2 apresentamos, em diagrama de blocos, a estrutura básica funcional de um sistema de aquisição de dados.

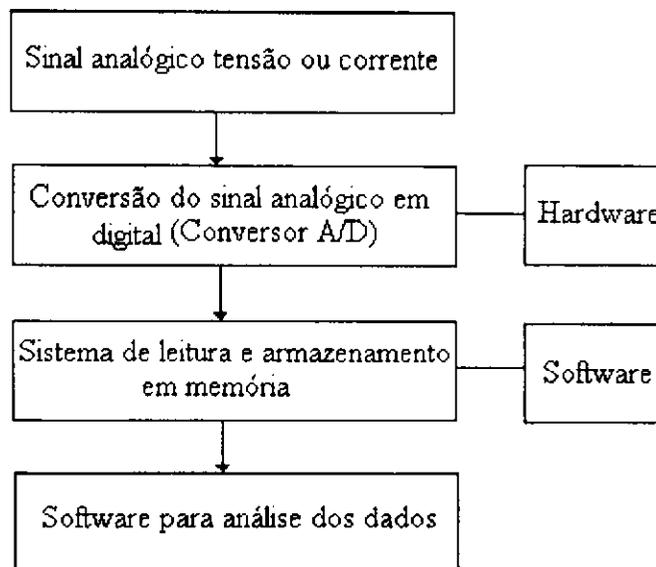


Figura 4.2- Estrutura básica funcional de um sistema de aquisição de dados.

4.1.2 Métodos de transferência de dados para sistemas de aquisição de dados baseados em microcomputador

Existem três (3) tipos de mecanismos de transferência de dados utilizados em sistemas de aquisição de dados baseados em microcomputador, os quais são: acesso direto à memória (DMA), *polling* e interrupção.

. **DMA** - O controlador de DMA habilita a transferência de dados da placa de aquisição diretamente para a memória do microcomputador em alta velocidade sem a intervenção da CPU do sistema hospedeiro (microcomputador) ou vice-versa. O microcomputador pode estar processando outra tarefa enquanto a placa de aquisição está adquirindo dados e transferindo-os para a memória do microcomputador. Esta característica é importante nas placas de aquisição quando há a necessidade de adquirir uma grande quantidade de dados num intervalo de tempo pequeno. Neste método não há qualquer interferência da CPU no processo de transferência de dados [39] [40].

.Polling - No método *polling* envolve, periodicamente, a leitura da condição de estado do dispositivo ou placa de aquisição para determinar se o mesmo precisa de atenção, e mostra-se não muito eficiente para vários dispositivos ou placas [39] [40].

.Interrupção - No método por interrupção, o dispositivo ou a placa de aquisição é configurada para interromper o processador do sistema hospedeiro (nosso caso a CPU do microcomputador) quando o dispositivo requisitar atenção. A CPU responde rapidamente e eficientemente ao sistema de aquisição de dados. Este método pode ser usado para sincronizar diferentes eventos [39] [40].

Agregados as estas características funcionais, estes sistemas possuem circuitos de amostragem e de retenção de sinais, de modo que as placas de aquisição A/D adquirem vários canais de entradas simultaneamente. Através da utilização de circuitos multiplexadores, o número de entradas da placa A/D pode ser incrementado, principalmente quando o microcomputador não tem conectores de expansão (*slots*) disponíveis

4.1.3 Software

O *software* pode ser o único fator crítico para termos um sistema de aquisição de dados realizável e com alto desempenho de operação. Nas próximas seções, mostraremos os conceitos e princípios necessários para o projeto e implementação de software para um sistema genérico de aquisição de dados baseado em microcomputadores, utilizando-se das regras básicas de engenharia de *software*.

O *software* transforma o microcomputador e o *hardware* do sistema de aquisição de dados (placas) num sistema completo de aquisição de dados. Ou melhor, o *hardware* do sistema sem o *software* específico não tem utilidade; o hardware do sistema com um software de mau qualidade não permite a utilização adequada do *hardware*. Para termos

um bom desempenho do hardware e do software, bibliotecas de *software* devem ser desenvolvidas com o objetivo de deixar transparente os detalhes complicados da programação do *hardware*, proporcionando ao usuário uma interface homem-máquina fácil de ser utilizada.

O software utilizado pode ser desenvolvido em quaisquer linguagens de programação (Pascal, Fortran, C), e em conjunto com algumas rotinas em linguagem de máquina, justificada pela velocidade requerida no processo de aquisição de dados.

Basicamente, o programa de controle de aquisição de dados troca informações com o operador por meio de telas apresentadas em vídeo, as quais informam ao operador os pedidos ou comandos que o operador efetuará via teclado do microcomputador.

Os modos de aquisição de dados são: aquisição sob comando do operador, aquisição sincronizada em um determinado instante e aquisição sincronizada por mudança de estado de uma determinada grandeza.

4.1.4 Sistemas de aquisição baseados em microcomputador IBM-PC ou compatível

Tradicionalmente, as aquisições de dados eram realizadas por meio de instrumentos de vários tipos, por exemplo: osciloscópios, multímetros. Contudo, a necessidade de gravar as medições e processar os dados coletados para armazenamento, visualização e análise têm se tornado muito importante. Há várias maneiras em que os dados coletados por instrumentos de medições sejam enviados para um microcomputador, as quais são interface serial ou interface paralela, ou o uso da interface GPIB (General Purpose Interface Bus), a qual permite que os instrumentos transfira dados no formato

paralelo para microcomputador. Neste tipo de interface cada instrumento possui uma identificação numa rede de instrumentos.

Atualmente, uma outra forma de medir sinais e transferir dados para um microcomputador é realizada por placas de aquisição de dados e interfaces para instrumentos, sendo disponíveis para as mais populares plataformas – PC/XT/AT, PS/2 e Macintosh. Estas placas são colocadas diretamente no barramento dos microcomputadores.

A utilização do microcomputador IBM-PC ou compatível como um ambiente de desenvolvimento de plataformas para aquisição de dados já é realidade. Uma das vantagens dos sistemas de aquisição de dados baseados em microcomputador é facilidade de execução de sua programação para uma determinada tarefa ou uma aplicação específica.

Os PCs têm apresentado um declínio de preços ano a ano, o que justifica sua utilização por vários usuários. A arquitetura aberta dos PCs permite ao usuário uma flexibilidade para configurar um determinado sistema. Sua imensa popularidade tem criado uma vasta rede de suporte em *hardware* (periféricos) e em *software* de fabricantes de várias marcas, permitindo a execução das operações desejadas pelo usuário com mais facilidades. Vale salientar, que apesar da existência de diversas marcas, a compatibilidade entre os fabricantes no desenvolvimento de periféricos e de placas de expansão para PCs tem-se mantida ao longo dos anos.

Com as inovações tecnológicas aplicadas na fabricação dos PCs, os mesmos têm sido utilizados como uma ferramenta necessária nos sistemas de aquisição de dados. A versatilidade dos PCs, permitiu que os fabricantes desenvolvessem-se uma grande variedade de sistema de aquisição de dados que se utilizam dos barramentos ISA [36], EISA [36], e PCI [37], porta serial ou porta paralela dos PCs.

Além destas características de *hardware* acima citadas que justificam a utilização dos PCs como uma plataforma de desenvolvimento em diversas aplicações (pesquisa, industrial, controle, instrumentação eletrônica, etc.), temos uma variedade bibliotecas e

programas que os usuários podem utilizar no desenvolvimento de um bom sistema de aquisição de dados baseado em microcomputadores PC.

Em geral, estas plataformas são sistemas (placas) conectados no barramento de expansão (*slots*) dos PCs e apresentam arquiteturas de hardware que incluem DMA (Acesso Direto à Memória), conversores A/D e D/A, temporizadores/contadores, multiplexadores de entrada/saída (E/S), etc; entretanto, estes sistemas possuem apenas a capacidade de realizar operações de aquisição de dados, e transferi-los à memória do PC, ou um fechamento de um contato de relé. A programação destas operações é efetuada pelo programa em execução no sistema hospedeiro (PC), o qual é responsável totalmente pelo funcionamento destes sistemas, de modo que o PC não pode ser usado para realizar uma outra tarefa, por exemplo: impressão de um documento.

Este tipo de estrutura (placa) caracteriza-se por não ser inteligente, ou melhor, suas finalidades são aquisição de dados e transferência dos dados para a memória do PC que pode ser realizada por DMA, *polling* ou interrupção. As placas de aquisição existentes no mercado possuem em sua arquitetura microcontroladores dedicados ou microprocessadores, por exemplo: chip DSP (Processador Digital de Sinais) ou CPU 80486 ou equivalente. Encontram-se placas de aquisição de dados que possuem a capacidade de realizar tratamento e processamento de dados (análise e filtragem digital de dados, aplicação de funções matemáticas e dentre outras bibliotecas de programas).

No caso das placas de aquisição de dados projetadas com chip DSP que operam independentes da CPU do sistema hospedeiro, estas placas são otimizadas para operações matemáticas comuns para análise espectral, por exemplo: transformada rápida de Fourier (FFT) e convolução. O DSP caracteriza-se por realizar múltiplas operações paralelas e pode trabalhar com transferência de dados por DMA e/ou interrupção. Estas placas com DSP são bastantes usadas em aplicações de processamento de sinais de alta frequência, em tempo real. [41]

Observando as arquiteturas de placas existentes no mercado sobre todos os aspectos de hardware e de software, no próximo capítulo propomos um projeto e

implementação de placas inteligentes como ferramentas de desenvolvimento, baseadas em microcontroladores, capazes de realizar aquisição e processamento de dados.

Para desenvolver um sistema de alta qualidade de aquisição de dados para medição e controle, devemos entender cada um dos dispositivos envolvidos, onde uma maior atenção dos requisitos de projeto e implementação deve ser dada ao *software*. De forma geral, as placas de aquisição de dados não possuem periféricos de interfaceamento com o usuário, sendo o *software* o dispositivo responsável por toda informação e controle do sistema, integrando os transdutores, condicionamento de sinal, hardware, e sua análise por completo. Selecionando cuidadosamente o software adequado, evita-se a perda de tempo e gasto de dinheiro investido no projeto.

4.2 Ambientes de desenvolvimento

Vários circuitos integrados (*ICs*) VLSI com grande integração de funções e capacidades de processamento de dados e interfaces têm tornado-se comercialmente disponíveis no passado recente. Estes circuitos vão de simples microprocessadores e microcontroladores até os mais complexos processadores digitais de sinal. O uso desse *ICs* em aplicações de controle e de instrumentação é bem conhecida, e envolve duas fases principais de projeto: projeto de *hardware* e projeto de *software*. É também conhecido que, para aplicações razoavelmente complexas, 80% do tempo total de desenvolvimento é gasto no projeto de *software*, e esta proporção pode ser mais equilibrada, caso os princípios estabelecidos de engenharia de *software* sejam seguidos durante o processo de desenvolvimento. Os fabricantes dos *ICs* VLSI acima citados, assim como outros fabricantes, fornecem *hardware* e *software* de suporte para desenvolvimento que vai de simples módulos e placas de desenvolvimento (EVM ou EVB) com recursos mínimos, até sistemas de desenvolvimento sofisticados, mais completos e caros.

Em nossos laboratórios, alguns projetos baseados em microcontroladores (principalmente o MC68HC11) para aplicação de controle e de instrumentação estão sendo realizados. Na falta de um sistema razoável de desenvolvimentos de *software* baseado em PC que fosse de baixo custo e eficiente, o sistema proposto permite o uso de linguagem de alto nível, por exemplo: linguagem C, e o processo de desenvolvimento de *software* obedecendo um ou mais dos paradigmas da engenharia de desenvolvimento de *software*, isto é, paradigma do ciclo de vida, paradigma de protótipo, ou o paradigma de técnicas de quarta geração [35].

Duas alternativas de configuração de *hardware* para uma placa de PC (PC plug-in board-PIB) para um ambiente de desenvolvimento permitem o desenvolvimento de *software* de acordo com o paradigma do protótipo, o qual será descrito a seguir no item 4.2.1. O sistema proposto pode ser também empregado em aplicações de controle, e aquisições de dados, hierarquicamente distribuídos e descentralizados, nas quais tarefas mais complexas como gerenciamentos de banco de dados, interface homem-máquina e análise de dados são processadas no nível hierárquico mais alto e as tarefas de geração de comandos e aquisição de dados são executadas pelo processador no nível mais baixo a fim de utilizar os recursos disponíveis em cada nível com eficiência.

4.3 Aplicação de engenharia de *software* baseada em microcontrolador

O emprego dos princípios de engenharia de *software* e uma abordagem sistemática para o desenvolvimento de *software* pode levar a programas mais eficientes bem como uma redução considerável no tempo gasto no ciclo de desenvolvimento [5]. O ambiente proposto permite a aplicação do protótipo que descrevemos a seguir.

Esse processo de desenvolvimento de *software* é geralmente aplicado em situações onde os requisitos do *software* desejado não são bem definidos na fase inicial do projeto e uma razoável quantidade de esforço é despendida na determinação desses requisitos. A seqüência dos vários eventos neste paradigma é mostrada na Figura 4.3, e são completamente auto-explicativas. Contudo, é bom observar que o procedimento é executado por iterações e os resultados de testes do modelo ou protótipo de *software* ajudam a melhorar e a redefinir os requisitos.

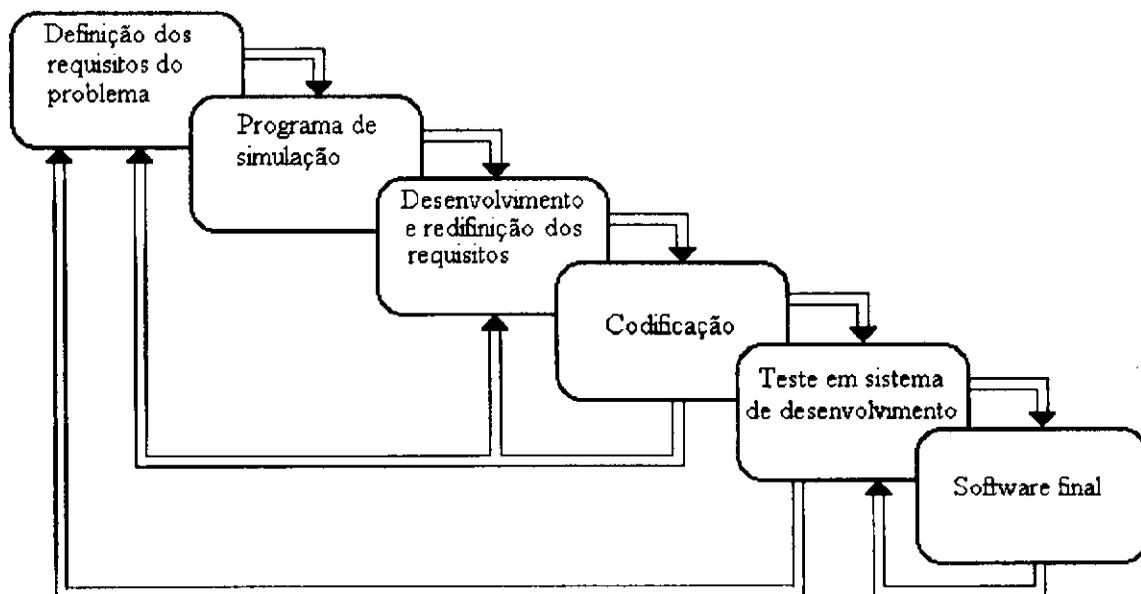


Figura 4.3 - Sequência dos vários eventos neste paradigma.

É interessante observar que na maioria das aplicações de controle e instrumentação, é importante verificar a eficácia de algoritmos de controle e medição para determinar se são adequados à aplicação em uso. Assim, no presente contexto, o processo de protótipo pode ser descrito como segue: tendo definido os requisitos do sistema, incluindo identificação de um possível algoritmo a ser implantado no microcontrolador, é escrito um programa em linguagem de alto nível, por exemplo: linguagem C, para simular o todo ou parte do sistema microcontrolado em desenvolvimento.

Este programa de simulação é o protótipo do *software*. A simulação ajuda a determinar se os requisitos pré-estabelecidos são satisfeitos ou não. Este procedimento é repetido fazendo modificações até que os requisitos sejam satisfeitos. No caso dos requisitos não serem bem definidos, estas iterações podem levar à identificações dos requisitos estabelecidos.

Uma vez que um protótipo de *software* demonstre um desempenho razoável do sistema em desenvolvimento, o código objeto do microcontrolador é gerado por utilitários como montador e compilador do MS-DOS e transferido para o microcontrolador no protótipo de *hardware* da aplicação.

4.4 Exemplo de desenvolvimento de um *software* típico

A fim de estabelecer a vantagem de desenvolver o *software* da maneira sistemática acima descrita, será bastante instrutivo compreender primeiro como ele é feito normalmente sem o ambiente de desenvolvimento proposto. Como exemplo, consideramos o procedimento para desenvolver o programa de um filtro digital a ser implementado em um microcontrolador, com um computador PC e uma placa EVB com 68HC11 com comunicação entre os dois processadores. Este procedimento consistiria dos seguintes passos:

- 1) Definição das especificações, tipo e ordem do filtro, isto é, a faixa de passagem desejada e outras características.
- 2) Projeto do filtro através da determinação dos coeficientes do filtro.
- 3) Simulação do filtro em linguagem de alto nível (C, MATLAB), a fim de determinar suas características de desempenho.

- 4) Determinação das faixas dinâmicas das variáveis do filtro para escolher o tipo de aritmética (ponto fixo ou ponto flutuante) e o comprimento da palavra para os coeficientes a serem usados na implementação do filtro. Implementação das subrotinas para operações aritméticas, escrever o programa de simulação em uma linguagem de alto nível em PC. Neste estágio o protótipo do *software* está pronto.
- 5) Gerações do código objeto das implementações do filtro usando recursos como compiladores, etc.
- 6) Transferência do código objeto para placa EVB 68HC11 usando a ligação de comunicação serial entre o microcomputador PC e a placa.
- 7) Execução passo-a-passo do programa do filtro na placa de avaliação para verificar seu funcionamento correto em condições quase reais, e teste dos recursos para execução de cada uma das operações aritméticas. O tempo gasto neste passo está intimamente relacionado com a experiência do programador.
- 8) O desempenho do filtro é finalmente verificado aplicando-se um sinal (isto é, uma onda quadrada) na entrada do filtro através de um conversor digital/ analógico (DAC). Caso o desempenho não seja satisfatório, voltamos ao passo cinco.

É importante ressaltar que os passos sete e oito são os mais demorados porque os recursos da EVB são muito limitados. Os detalhes de *hardware* da placa EVB não foram considerados nesta apresentação.

Com as PIBs (plug-in board) propostas implementadas com microcontrolador e outros circuitos de interfaces, espera-se reduzir o tempo do ciclo de desenvolvimento do *software* de aplicação, fornecendo execuções mais eficientes dos passos cinco a oito do procedimento acima.

4.5 Desenvolvimento dos ambientes de *hardware*

Os ambientes de *hardware* desenvolvidos permitem explorar o paradigma apresentado no item 4.2.1. Desenvolveram-se duas placas baseadas no microcontrolador MC68HC11, para serem acopladas diretamente ao barramento de um microcomputador IBM-PC ou compatível.

No diagrama de blocos da Figura 4.4, temos a primeira arquitetura básica da placa baseada no microcontrolador MC68HC11. Esta arquitetura, é conforme a classificação apresentada por Searle e Freberg [34], uma estrutura de via única compartilhada no tempo (*single time-shared system bus*), na qual o microcontrolador (MC68HC11) [12] e o IBM-PC ou compatível compartilham o mesmo barramento e, conseqüentemente, os mesmos recursos de *hardware* (memória, porta de comunicação serial, conversor D/A) disponíveis na placa.

O diagrama de blocos da Figura 4.5 mostra a segunda arquitetura básica da placa baseada no microcontrolador MC68HC11. Esta arquitetura é segundo Searle e Freberg [34], uma estrutura implementada utilizando a técnica de múltiplas vias compartilhadas no tempo (*multiple time-shared system busses*).

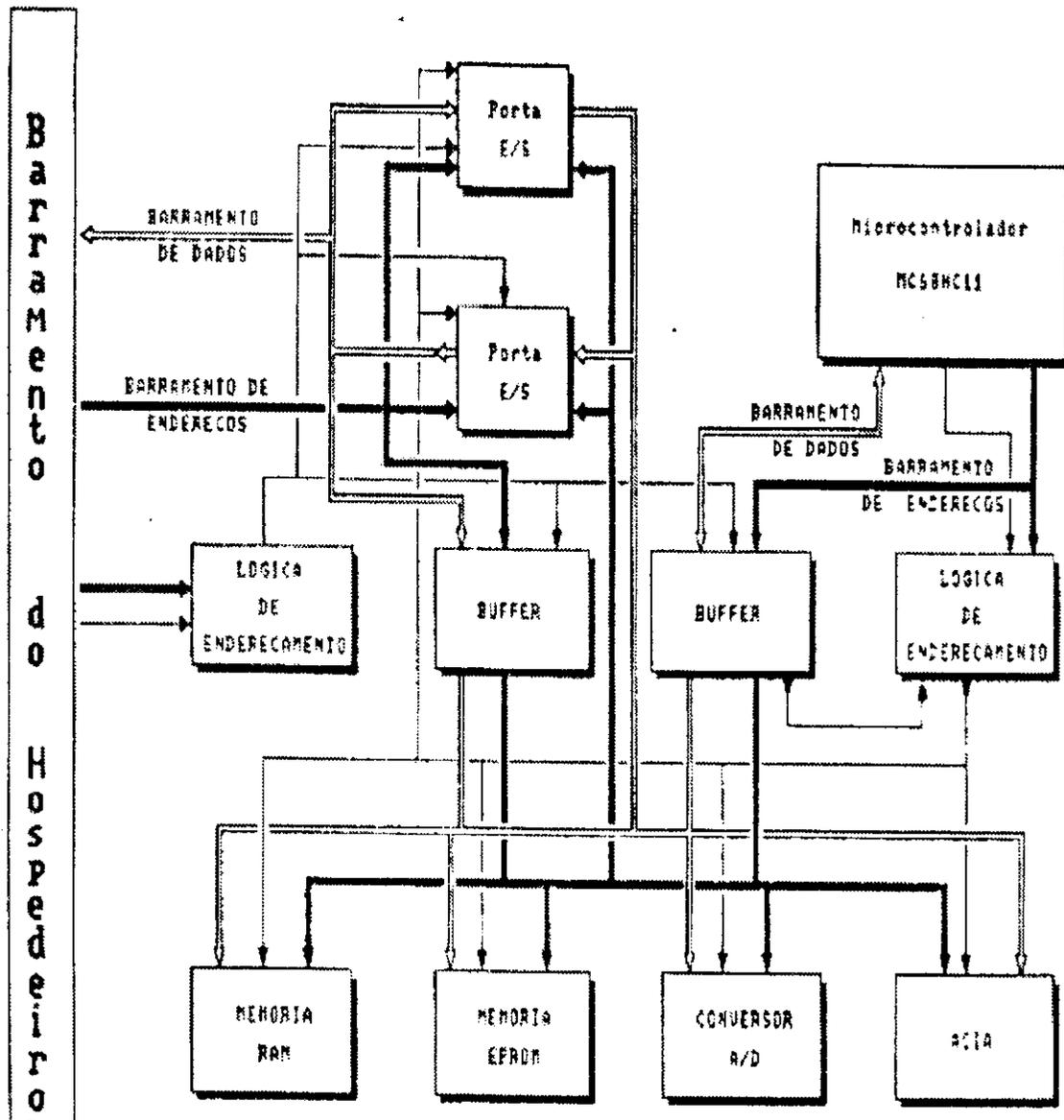


Figura 4.4 - Diagrama de blocos da placa 1

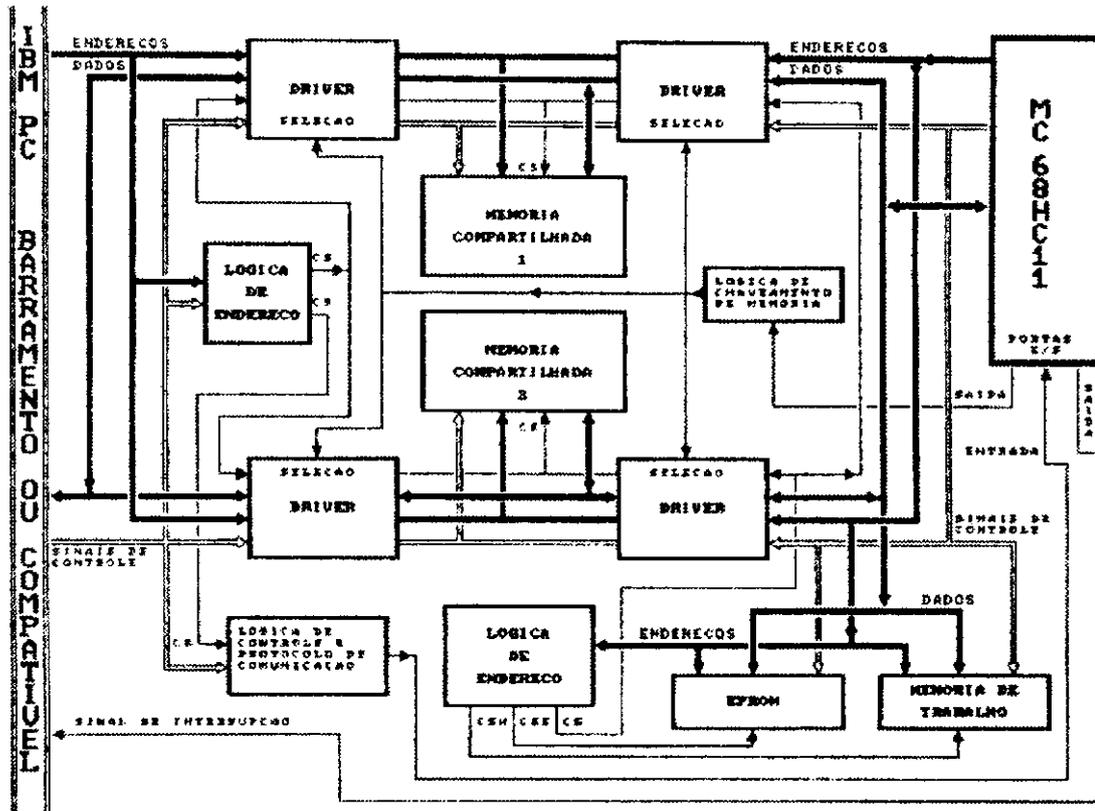


Figura 4.5 - Diagrama de blocos da placa 2

Nestas estruturas o MC68HC11 não tem acesso aos recursos do computador hospedeiro em termos de *hardware*, e nem aos recursos de *hardware* internos ao MC68HC11 são compartilhados diretamente pelo computador hospedeiro.

Para evitar conflitos durante o acesso aos recursos compartilhados da placa 1, uma lógica de acesso exclusivo ao barramento, e conseqüentemente, aos recursos de *hardware* da placa 1 é implementada, tendo o hospedeiro a prioridade ao acesso quando da inicialização do sistema.

4.5.1 Arquitetura da placa 1

Na implementação da placa 1, foram definidos três modos de operação distintos, objetivando uma melhor utilização da estrutura proposta.

No modo de operação 01 - MODO EXPANSÃO DE MEMÓRIA DO COMPUTADOR HOSPEDEIRO, a CPU MC68HC11 é isolada (com o auxílio de *buffers*) do barramento da placa, passando todos os recursos de *hardware* para o controle da CPU do computador hospedeiro, mapeados nos endereços de A0000H a AFFFFH. Neste modo de operação o computador hospedeiro pode utilizar os recursos de *hardware* da placa para a implementação de estruturas específicas, tais como: placa de conversão D/A, placa de comunicação serial, etc. Observe-se que estes recursos estão mapeados na memória do computador hospedeiro.

Quando o computador hospedeiro é ligado, o MC68HC11 é isolado da placa da placa com o auxílio de *buffers*, e podem ser realizadas as seguintes operações com o auxílio do programa depurador (DEBUG ou SYMDEB, por exemplo).

a) Resetar o MC68HC11 e passar para o modo de operação 02 (MODO DE DESENVOLVIMENTO) devendo ser realizado o seguinte procedimento:

a1) Escrever a palavra XXXX XXX0, na porta de saída do computador hospedeiro (OUT 31CH, 00), isto faz com que a placa opere de modo semelhante a placa EVB, podendo o MC68HC11 ser resetado através do computador hospedeiro, escrevendo-se XXXX XXX1, na porta de saída do computador hospedeiro (OUT 31CH, 01). O comando da operação da placa é passado então para o programa monitor BUFFALO residente em EPROM [15]. X representa qualquer valor (0 ou 1).

b) Acesso aos recursos de *hardware* (memória, conversor D/A, ACIA) da placa pelo computador hospedeiro para a execução, escrita ou leitura de programas/dados.

Se o acesso foi realizado após a ligação do computador hospedeiro, executar diretamente a etapa b2, caso contrário iniciar com a etapa b1.

b1) Escrever XXXX XXX1 na porta de saída do computador hospedeiro (OUT 31CH, 01), isolando o MC68HC11 da placa.

b2) Acessar a área de memória de A0000H a AFFFFH do hospedeiro e realizar a operação desejada.

b3) Escrever XXXX XXX0 na porta de saída do computador hospedeiro (OUT 31CH, 01), liberando o MC68HC11, passando este a executar o programa localizado na locação de memória E000H.

No modo de operação 02 - MODO DE DESENVOLVIMENTO, a estrutura é semelhante à placa EVB da MOTOROLA [8], tendo sido adicionados recursos de *hardware* e de *software*, o que tornam esta estrutura muito superior a estrutura apresentada na placa EVB, facilitando o desenvolvimento e a implementação de novos sistemas com a CPU MC68HC11. A operação da placa, pode ser interrompida pelo computador hospedeiro, a qualquer instante, através de acesso a locação de E/S específica.

Neste modo de operação a placa é semelhante a placa EVB da MOTOROLA [8], tendo sido adicionados os seguintes recursos de *hardware*:

- a) 8 *K-bytes* de memória RAM para aplicações do usuário;
- b) 2 conversores D/A, mapeados em memória;
- c) 8 *K-bytes* de memória EPROM, contendo a biblioteca de operações em ponto flutuante;

Para operar neste modo, a comunicação com o usuário é realizada pelo programa monitor BUFFALO, através da porta de comunicação serial (ACIA).

A configuração de memória e a velocidade de comunicação da ACIA são definidas por *hardware* e a comunicação entre a placa e o terminal utilizado nesta configuração pode, ser realizadas através de um programa de comunicação serial do tipo Kermit.

No modo de operação 03 - MODO SISTEMA DE AQUISIÇÃO E CONTROLE, as CPUs da placa (MC68HC11) e do computador hospedeiro operam independentemente. As facilidades de utilização do *assembler* do MC68HC11 e das linguagens de alto nível residentes no hospedeiro, tornam a estrutura proposta muito versátil para aplicações em estruturas hierárquicas, podendo os dois processadores operarem independentemente, realizando suas funções pré-definidas. Por exemplo, as tarefas de aquisição e controle podem ser realizadas pela placa (MC68HC11), enquanto que as tarefas de armazenamento em memória de massa, tratamento gráfico, etc, podem ser implementadas no computador hospedeiro, ou em caso de pedidos de interrupções, trocarem informações (dados, algoritmos de controle, programas aplicativos) através do barramento do computador hospedeiro.

Neste modo de operação a placa é vista pelo computador hospedeiro como duas portas de comunicação (E/S), uma para escrita do computador hospedeiro e leitura *na placa* MC68HC11, localizada nos endereços 310H do computador hospedeiro e 8600H da placa e, a outra para leitura do computador hospedeiro e escrita na placa MC68HC11, localizada nos endereços 312H do computador hospedeiro e 8500H da placa. Estas portas permitem a comunicação entre as duas CPUs (MC68HC11 na placa e 8088 no computador hospedeiro), sem a necessidade de se passar para o modo de operação 01.

O computador hospedeiro pode neste modo de operação, interromper ou resetar o MC68HC11, de acordo com o descrito no modo de operação 01.

A área de E/S (300H a 31FH) reservada no computador hospedeiro para a placa protótipo [13], não deve ser utilizada por outra placa de E/S, quando a placa está sendo utilizado.

A implementação de uma estrutura hierárquica, a troca de informações entre a placa e o computador hospedeiro é realizada através de dois *buffers* específicos de interface para operações de E/S. Os dados podem ser lidos por cada CPU, sem que haja uma interrupção da outra CPU e diferentes algoritmos podem ser pré-definidos para a aplicação da placa de acordo com seu conteúdo. Esta leitura deve ser sincronizada por *software*, objetivando proteger a integridade dos dados lidos.

A configuração de *hardware* disponível nesta placa é a seguinte:

a - MEMÓRIA.

a1) RAM e EEPROM - As locações de memória endereçáveis de 0000H a 00FFH (RAM) e B600H a B7FFH (EPROM), respectivamente, são internas ao MC68HC11 (não podem ser acessadas pelo computador hospedeiro).

a2) RAM / EPROM - Estão disponíveis 40 *K-bytes* de memória para o usuário.

b - PORTAS DE E/S.

Nesta placa foram implementado dois canais de comunicação serial com processos ou periféricos externos:

b1) SCI. - (Interface de Comunicação Serial)

A SCI. é realizada através dos pinos PD0 e PD1 do MC68HC11, a interface RS232-C providencia os níveis de tensão necessários para a comunicação assíncrona com o terminal de vídeo/teclado.

b2) ACIA1 - MC6850

Um canal de comunicação assíncrona é provido na placa para a comunicação com terminal de vídeo/teclado. A geração dos sinais de relógio de transmissão e recepção é

realizada com o auxílio de um divisor binário de 12 *bits* e a velocidade de comunicação desejada, selecionada por *hardware*.

b3) CONVERSOR D/A.

Dois conversores D/A de oito *bits* (D/A 7528) mapeados nos endereços 8400H e 8401H possibilitam a conversão D/A, sem modificações adicionais no *hardware* da placa. O modo de operação bipolar é implementado.

4.5.2 Arquitetura da placa 2

A placa 2 possui um microcontrolador MC68HC11, uma memória EPROM de 8 *Kbytes*, uma memória de trabalho (RAM) de 8 *Kbytes* e duas memórias compartilhadas (RAM) de 8 *Kbytes* cada, lógica de endereçamento das memórias pelo microcontrolador, lógica de chaveamento das memórias compartilhadas, lógica de protocolo de comunicação do microcomputador PC para com o microcontrolador e lógica de endereçamento da memória compartilhada pelo microcomputador PC. Na Figura 4.4 temos, em diagrama de blocos, a arquitetura básica da placa 2.

Nesta estrutura o computador hospedeiro vê a placa como sendo uma extensão de memória disponível nos endereços A0000H a A3FFFH. A aquisição e o processamento inicial dos dados são realizadas na placa, pelo MC68HC11. A comunicação entre as duas CPUs é realizada através da memória compartilhada, a qual pode ser acessada pelo microcomputador hospedeiro ou pelo MC68HC11. Esta memória está implementada com dois *chips* superpostos no mesmo endereço físico, cujo acesso as CPUs é excludente. Quando o computador hospedeiro acessa a memória compartilhada 1, o MC68HC11 tem acesso à memória compartilhada 2, e vice-versa.

Na inicialização do sistema o computador hospedeiro transfere para a memória compartilhada 1, a programação que será executada pelo MC68HC11 e sinaliza-o, passando para esta unidade, o acesso à memória compartilhada 1, acessando conseqüentemente a memória compartilhada 2. Estas memórias são utilizadas para a troca de informações entre as duas CPUs, dispondo a placa de uma memória específica para área de trabalho do MC68HC11.

A transferência dos dados entre as CPUs (chaveamento das memórias compartilhadas) ocorre nos seguintes casos:

- a) Quando há uma requisição de dados do computador hospedeiro.
- b) Quando o MC68HC11 atingiu o seu limite de processamento, isto é, foram obtidos 8 *Kbytes* de dados para serem transferidos para o microcomputador hospedeiro.

Nos dois casos a operação de chaveamento das memórias compartilhadas entre as CPUs é precedida por um protocolo de chaveamento realizado com as linhas de interrupção do computador hospedeiro e com as linhas de entrada da porta A no MC68HC11.

Após a transferência deste dados para o computador hospedeiro, estes podem ser processados ou arquivados em disquetes para futuras referências.

A configuração de *hardware* disponível nesta placa é a seguinte:

a - MEMÓRIA.

a1) EPROM - 8 *Kbytes* de memória EPROM endereçável de E000H a FFFFH.

a2) RAM - Estão disponíveis 16 *Kbytes* de memória, sendo 8 *Kbytes* destinados à memória compartilhada e 8 *Kbytes* destinados à memória de trabalho do MC68HC11, que não pode ser acessada diretamente pelo computador hospedeiro.

Nas estruturas das duas placas temos os recursos internos de *hardware* da MCU MC68HC11, tais como: conversor A/D, sistema de temporização, etc, [12].

4.6 Funcionamento da placa 2

A aquisição e o processamento dos dados na placa 2 é desempenhado pelo microcontrolador MC68HC11 (Motorola). Para a comunicação entre a placa e o microcomputador PC é utilizada a memória compartilhada, a qual pode ser acessada pelo microcomputador PC ou pelo microcontrolador. Com efeito, existem duas memórias compartilhadas de 8 *Kbytes* cada, superpostas no mesmo endereço físico, cujo acesso é excludente. Quando a memória compartilhada 1 está disponível para o microcomputador PC, a memória compartilhada 2 está disponível para o microcontrolador MC68HC11 ou vice-versa (ver Figura 4.3). O acesso à memória compartilhada procede da seguinte maneira: o microcomputador PC carrega na memória compartilhada o programa para aquisição de dados a ser executado pelo microcontrolador. Após o carregamento, o microcomputador IBM-PC ou compatível, indica ao microcontrolador que na memória compartilhada se encontra um programa para aquisição de dados. Esta indicação é feita através de uma operação de escrita ou leitura no endereço correspondente ao circuito da lógica de protocolo de comunicação (flip-flop), cuja saída está conectada a um pino de uma porta E/S do microcontrolador, o qual está programado como entrada.

Após a leitura do estado do *bit* da porta de E/S, o microcontrolador executa a operação de chaveamento da memória compartilhada. Após a operação de chaveamento da memória compartilhada, a memória compartilhada que estava disponível para o microcomputador PC fica disponível para o microcontrolador; e em seguida transfere (copia) o programa da memória compartilhada para uma memória de trabalho disponível para o microcontrolador. A execução do programa para aquisição de dados pode ser imediata ou o microcontrolador espera um comando de execução vindo do microcomputador PC. A execução das tarefas realizadas (aquisição de dados) pelo microcontrolador independe do microcomputador PC. Os dados adquiridos pelo

microcontrolador são armazenados na memória compartilhada disponível para o microcontrolador.

A transferência dos dados para o microcomputador PC ocorre quando há uma requisição de dados, feita pelo microcomputador, através de uma interrupção gerada no microcontrolador ou até o microcontrolador atingir o limite de processamento pré-estabelecido pelo programa para aquisição de dados. O processo de transferência é feito pelo microcontrolador através de uma operação de chaveamento da memória compartilhada com os dados obtidos do processo, seguido de um sinal de interrupção gerado pelo microcontrolador através do *bit* PA3 da porta A, o qual está conectado ao pino B4 (IRQ2) do barramento do microcomputador PC. Após o reconhecimento da interrupção gerada pelo microcontrolador, o microcomputador PC efetua uma operação de leitura dos dados da memória compartilhada e os armazenará em dispositivos de memória de massa. O programa em execução no microcomputador PC faz o reconhecimento e tratamento da interrupção. Quando o microcomputador PC está efetuando uma operação de leitura na memória compartilhada com os dados obtidos pela placa, a outra memória compartilhada está disponível para o microcontrolador. As facilidades para a troca de informações entre as duas CPUs são estabelecidas (programadas) pelo *software* para aquisição de dados e controle, desenvolvido para a placa.

4.6.1 Microcontrolador MC68HC11

O 68HC11 é um *chip* microcontrolador de 8 *bits* (Motorola) fabricado com tecnologia HCMOS (CMOS Alta Densidade) que funciona numa frequência nominal de 2 MHz. No chip estão incluídos um sistema de memória com 8 *Kbytes* de memória ROM, 512 bytes de memória programável e apagável eletricamente (EEPROM) e 256 bytes de memória RAM estática, avançado sistema de temporização de 16 *bits*, sistema de interface (portas E/S) para comunicação com o mundo externo e um conversor analógico/digital (A/D) de 8 *bits* com 4 canais. Na placa, o MC68HC11 opera modo expandido multiplexado (pinos MODA e MODB em nível lógico 1) [3].

4.6.2 Mapa de memórias da placa 2

O endereçamento das memórias é feito por um decodificador de 3 entradas para 8 saídas. As linhas de endereço A15, A14 e A13 do MC68HC11 permitem o endereçamento da memória EPROM, memória de trabalho (RAM) ou memórias compartilhadas (RAM) em blocos de 8 *Kbytes*. A Tabela 4.2 mostra o mapa de memórias da placa 2.

\$0000 \$00FF	256 bytes - RAM interna
\$0100 \$0FFF	Não usado
\$1000 \$103F	64 registros internos para controle da CPU
\$1040 \$5FFF	Não usado
\$6000 \$7FFF	8 <i>Kbytes</i> memória compartilhada (RAM)
\$8000 \$B5FF	Não usado
\$B600 \$B7FF	512 bytes EEPROM (internos)
\$B800 \$BFFF	Não usado
\$C000 \$DFFF	8 <i>Kbytes</i> memória de trabalho (RAM)
\$E000 \$FFFF	8 <i>Kbytes</i> Memória EPROM

Tabela 4.2 - Mapa de memórias da placa 2.

4.6.3 Memória EPROM

Esta memória ocupa a faixa de endereço de E000H a FFFFH sobrepondo a memória ROM do microcontrolador. A configuração do *hardware* projetada para placa permite o acesso à memória EPROM, isto porque a memória ROM está desabilitada. No microcontrolador MC68HC11 existe o *bit* ROMON no registro CONFIG que determina a habilitação ou não da memória ROM. Quando este *bit* é zero, a memória ROM está desabilitada, portanto o espaço no mapa de memória pode ser ocupado por uma memória externa.

A memória EPROM é utilizada para armazenar um programa em linguagem de máquina do MC68HC11, o qual é responsável pela inicialização da placa, transferência do programa para aquisição de dados carregado na memória compartilhada pelo microcomputador PC para a memória de trabalho do microcontrolador e primitivas que possibilitem a programação das funções a serem executadas pelo microcontrolador durante a aquisição de dados.

4.6.4 Memória de trabalho (RAM)

Ocupa a faixa de endereço de C000H a DFFFH no mapa de memória do microcontrolador. Esta memória é utilizada pelo microcontrolador para a execução do programa de aquisição de dados, o qual é carregado pelo microcomputador PC através da memória compartilhada, como também o armazenar os parâmetros utilizados pelo programa durante a aquisição e processamento de dados obtidos do processo.

4.6.5 Memória compartilhada (RAM)

Ocupa a faixa de endereço de 6000H a 7FFFH no mapa de memórias da placa 2. Esta memória é responsável pela comunicação e troca de informações do microcontrolador com o microcomputador IBM-PC e vice-versa. Através desta memória, o microcomputador IBM-PC carrega o programa de aquisição de dados para o microcontrolador após a sua inicialização, transfere novos parâmetros para o programa de aquisição de dados e controle da placa 2 como também é utilizada pelo microcontrolador para armazenar dados obtidos do processo e transferi-los para o microcomputador IBM PC ou compatível. Através da utilização de um conjunto de micro chaves localizado na placa 2 é possível escolher o endereço pelo qual o microcomputador IBM-PC endereça os 8 *Kbytes* de memória compartilhada localizados na placa 2 [3]. A Tabela 4.3 mostra a lista com os 17 endereços possíveis para endereçamento da memória compartilhada pelo microcomputador IBM-PC ou compatível.

4.6.6 Chaveamento da memória compartilhada

O microcontrolador MC68HC11 é responsável pelo controle de chaveamento da memória compartilhada, o qual é feito através do *bit* PD0 da porta D. Na inicialização do microcontrolador, o registro de direção de dados da porta D é zerado, configurando os pinos da porta D como entrada. Através de um resistor conectado à +5V (*pull-up*) e ligado na porta PD0 nos permite um estado inicial (PD0=1) para a lógica de chaveamento. A memória compartilhada 1 fica disponível para o microcontrolador enquanto a memória compartilhada 2 fica disponível para o microcomputador PC. Uma inversão no estado do *bit* PD0, inverterá a situação acima descrita. Para permitir uma operação de chaveamento de memória é necessário programar o registro de direção de dados da porta D como saída, e em seguida armazenar na porta D um valor em que o *bit* PD0 seja inverso do valor atual. Para facilitar a operação de chaveamento, deve-se atribuir o valor atual do *bit* PD0 a uma variável no programa para aquisição de dados do microcontrolador. Para cada operação de

chaveamento, efetua-se uma inversão no valor da variável, armazena na porta D, e salva este valor na mesma variável. O processo acima descrito garante que sempre ocorrerá uma inversão do estado do *bit* PD0, o que permite o chaveamento da memória compartilhada.

Endereço (em hexadecimal) Bloco : 16 <i>Kbytes</i>	Memória Compartilhada (MC) - 8 <i>Kbytes</i> Flip-Flop (F/F) - 8 <i>Kbytes</i>
\$A0000 a \$A3FFF	\$A0000 a \$A1FFF - MC \$A2000 a \$A3FFF - F/F
\$A4000 a \$A7FFF	\$A4000 a \$A5FFF - MC \$A6000 a \$A7FFF - F/F
\$AC000 a \$A3FFF	\$A0000 a \$A1FFF - MC \$A2000 a \$A3FFF - F/F
\$A0000 a \$AFFFF	\$AC000 a \$ADFFF - MC \$AE000 a \$AFFFF - F/F
\$B4000 a \$B7FFF	\$B4000 a \$B5FFF - MC \$B6000 a \$B7FFF - F/F
\$BC000 a \$BFFFF	\$BC000 a \$BDFFF - MC \$BE000 a \$BFFFF - F/F
\$C0000 a \$C3FFF	\$C0000 a \$C1FFF - MC \$C2000 a \$C3FFF - F/F
\$C4000 a \$C7FFF	\$C4000 a \$C5FFF - MC \$C6000 a \$C7FFF - F/F
\$CC000 a \$CFFFF	\$CC000 a \$CDFFF - MC \$CE000 a \$CFFFF - F/F
\$D0000 a \$D3FFF	\$D0000 a \$D1FFF - MC \$D2000 a \$D3FFF - F/F
\$D4000 a \$D7FFF	\$D4000 a \$D5FFF - MC \$D6000 a \$D7FFF - F/F
\$D8000 a \$DBFFF	\$D8000 a \$D9FFF - MC \$DA000 a \$DBFF - F/F
\$DC000 a \$DFFFF	\$DC000 a \$DDFFF - MC \$DE000 a \$DFFFF - F/F
\$E0000 a \$E3FFF	\$E0000 a \$E1FFF - MC \$E2000 a \$E3FFF - F/F
\$E4000 a \$E7FFF	\$E4000 a \$E5FFF - MC \$E6000 a \$E7FFF - F/F
\$E8000 a \$EBFFF	\$E8000 a \$E9FFF - MC \$EA000 a \$EBFFF - F/F
\$EC000 a \$EFFFF	\$EC000 a \$EDFFF - MC \$EE000 a \$EFFFF - F/F

Tabela 4.3 - Endereços possíveis para endereçamento da memória compartilhada.

4.6.7 Comunicação microcomputador IBM-PC e placa 2

Um protocolo de comunicação é utilizado para a comunicação do microcomputador PC com o microcontrolador. Este protocolo é utilizado pelo microcontrolador como um *bit* de estado, o qual é verificado periodicamente pelo microcontrolador. Conforme o estado do *bit*, o microcontrolador efetua uma operação pré-estabelecida pelo programa para aquisição de dados. Para alterar o estado da saída do circuito, o microcomputador PC efetua uma operação de leitura/escrita no endereço de memória correspondente ao circuito da lógica de protocolo de comunicação.

Estabelecido o endereço da memória compartilhada (8 *Kbytes*) para o microcomputador PC, os 8 *Kbytes* seguintes correspondem ao endereço do circuito da lógica de protocolo. Ao efetuar uma operação de escrita no endereço do circuito da lógica de protocolo de comunicação, a sua saída é colocada em nível lógico 1 e uma operação de leitura neste mesmo endereço, a saída do circuito é zerada (nível lógico 0) [3].

4.6.8 Conversor A/D da placa 2

O conversor A/D da placa 2 está incluso no microcontrolador MC68HC11. O sistema A/D do MC68HC11 utiliza a técnica de aproximação sucessiva para efetuar a conversão do sinal analógico numa palavra binária de 8 *bits*, cujo erro de quantização corresponde a +/- 1/2 LSB. O tempo de conversão é igual a 32 ciclos de relógio do MC68HC11. O conversor A/D é unipolar e proporcional [12]. Os canais de entrada do sistema A/D correspondem aos pinos de entrada da porta E do microcontrolador. A sequência para um ciclo de 4 conversões é iniciada após uma operação de escrita no registro de controle/estado (ADCTL) do conversor A/D.

4.7 Software da placa 2

O *software* desenvolvido para o funcionamento da placa 2 de aquisição e processamento de dados é constituído de dois programas escritos em linguagem de máquina do MC68HC11.

4.7.1 Programa residente em EPROM

Este programa é responsável pela inicialização da placa, transferência do programa de aquisição de dados carregado na memória compartilhada pelo microcomputador PC para a memória de trabalho do microcontrolador e a sua execução. Após esta operação, todo o controle da placa passa a ser efetuado pelo programa que está sendo executado na memória de trabalho pelo microcontrolador. No Apêndice A, temos uma listagem deste programa em linguagem de máquina do microcontrolador MC68HC11.

4.7.2 Programa de aquisição de dados

Após a sua edição, este programa é montado pelo programa AS11 (assembler do MC68HC11), que gera o arquivo com extensão S19, a partir do qual é gerado um arquivo com extensão COM, em códigos de máquina do 68HC11. O programa escrito em linguagem C executa a conversão arquivo S19 para arquivo COM. No Apêndice B, temos uma listagem do programa (GERS19.COM), em linguagem C, que faz a conversão arquivo S19 para arquivo COM.

O arquivo COM (programa de aquisição de dados) é transferido pelo microcomputador IBM-PC para o microcontrolador através da memória compartilhada.

O programa para aquisição de dados executado pelo microcontrolador MC68HC11 é responsável pela aquisição e processamento de dados do processo, obtenção de parâmetros a serem utilizados pelo microcomputador PC como também o controle de chaveamento da memória compartilhada e a geração do pedido de interrupção do microcomputador PC. O desenvolvimento deste programa está relacionado com a utilização da placa 68HC11 em um determinado processo ou uma aplicação específica.

4.8 Resumo

Para desenvolver um sistema de alta qualidade de aquisição de dados e de controle, devemos entender cada um dos dispositivos envolvidos, onde uma maior atenção dos requisitos de projeto e implementação deve ser dada ao *software*. De forma geral, as placas de aquisição de dados não possuem periféricos de interfaceamento com o usuário, sendo o *software* o dispositivo responsável por toda informação e controle do sistema, integrando os transdutores, condicionamento de sinal, hardware, e sua análise por completo. Selecionando cuidadosamente o software adequado, evita-se a perda de tempo e gasto de dinheiro investido no projeto.

Apresentamos neste capítulo duas arquiteturas de placas inteligentes para aquisição de dados, baseadas no microcontrolador MC68HC11 para aplicações genéricas. Descrevemos todo o processo de desenvolvimento do *software* de aplicação das placas, baseando-se nos conceitos de engenharia de *software* [35].

O funcionamento destas placas em aplicações de instrumentação eletrônica e controle de processos é comprovado pela utilização das mesmas nos seguintes projetos: registrador de transitórios em um circuito RC em corrente alternada [3], desenvolvimento de um registrador de perturbações nos sistemas elétricos [17], sistema distribuído de aquisição de dados baseado na ESTHC11 [26] e desenvolvimento de um protótipo de sistema de hipertermia por microondas [18].

Baseando-se nas aplicações realizadas acima citadas e nas referências bibliográficas [3], [5], [12], [15] e [25], as quais relatam, detalhadamente, o *hardware* e o *software* das placas, propomos no capítulo 5 a sua utilização na proposta de projeto e implementação de um sistema computadorizado de aferição e de calibração de medidores monofásicos de energia elétrica (medidor watt-hora).

Capítulo 5

Proposta de um sistema de aferição e de calibração de medidor watt-hora

Apresentamos um sistema de aferição convencional de medidores de energia elétrica que utiliza-se de um contador duplo ajustável, entretanto, este sistema funciona em malha aberta, onde o operador executa muitas funções, por exemplo: cálculo de erro percentual do medidor sob teste. A seguir, faremos uma descrição, em diagramas de bloco, de uma proposta de um sistema computadorizado para aferição e para calibração de medidores de energia elétrica (medidor watt-hora), usando as placas inteligentes desenvolvidas no capítulo 4.

5.1 Sistema de aferição convencional

O sistema convencional utiliza-se de uma fonte de alimentação trifásica, onde valores de tensão, corrente, frequência e fator de potência são grandezas elétricas

conhecidas [7]. A Figura 5.1 mostra a estrutura básica do sistema de aferição convencional. Na fonte trifásica são interligados o medidor a ser aferido e o medidor padrão.

Através do processo de comparação, mede-se por meio de um contador digital duplo ajustável, os pulsos provenientes de ambos medidores, obtidos por sistema ótico posicionado nos discos do medidor a ser aferido e o medidor padrão.

O contador é ajustado para medir os pulsos do medidor padrão, até ocorrer K pulsos do medidor a ser aferido [7]. O número de pulsos é previamente estabelecido antes do início do teste, conforme as normas de aferição para cada tipo de teste (carga plena, indutiva e pequena). A Tabela 5.1 mostra as tolerâncias permitidas para cada teste, conforme a classe do medidor a ser aferido.

Após a ocorrência de K pulsos do medidor a ser aferido, o contador encerra a contagem de pulsos do medidor padrão. Com o número de pulsos M obtido pelo medidor padrão e K pulsos fornecidos ao contador digital duplo ajustável, obtemos o erro percentual dado pela seguinte relação :

$$\varepsilon = \frac{M - K}{K} \times 100 (\%) \quad (5.1)$$

Se o erro percentual não estiver dentro das condições expostas, conforme a Tabela 5.1, repete-se o teste em nova aferição até que o erro esteja dentro da faixa de erro permitida.

Classe do Medidor	Carga Nominal	Carga Indutiva	Carga Pequena
2	± 0,6 %	± 1,0 %	± 1,0 %
1	± 0,3 %	± 1,0 %	± 1,0 %
0.05	± 0,3 %	± 0,5 %	± 0,5 %

Tabela 5.1 - As tolerâncias permitidas para cada teste.

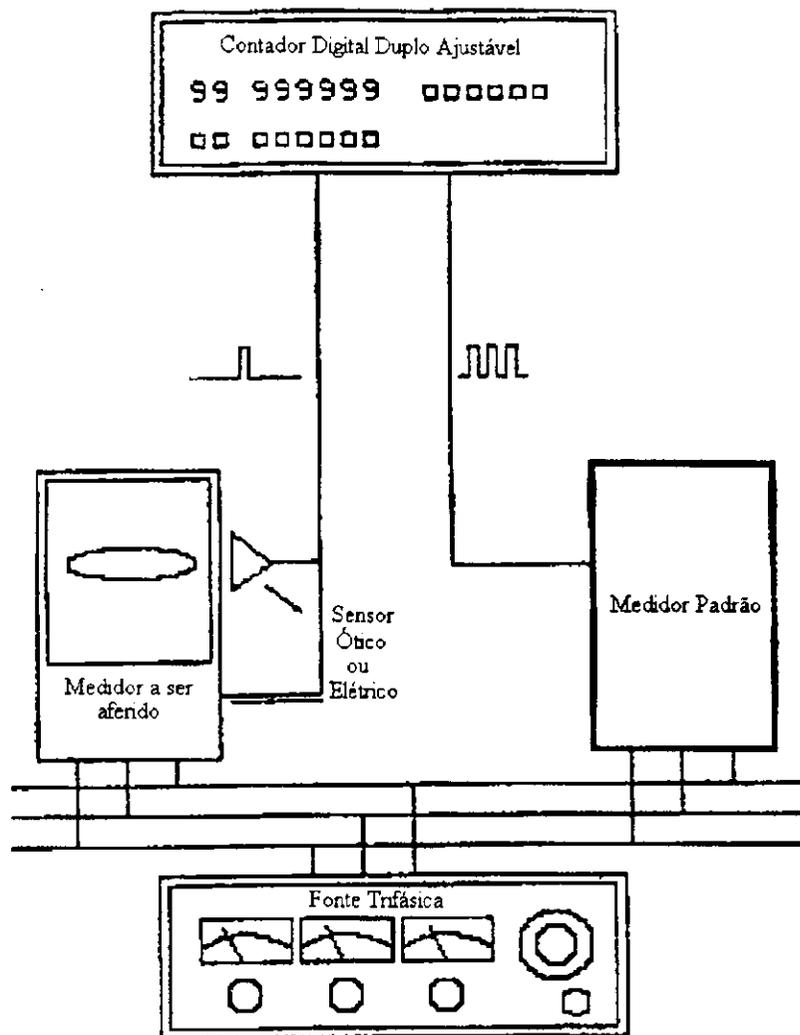


Figura 5.1 - Estrutura básica do sistema de aferição convencional.

5.2 Sistema computadorizado proposto de aferição e de calibração

Este sistema é responsável pelo teste automático dos ajustes de carga plena, fator de potência e carga leve de medidores de 2 ou 3 fios monofásicos. Os resultados finais são apresentados no monitor de vídeo, armazenados em unidade de memória de massa e/ou

impressos para posteriores estudos de cálculos de erros, etc. A Figura 5.2 mostra a estrutura básica deste sistema proposto.

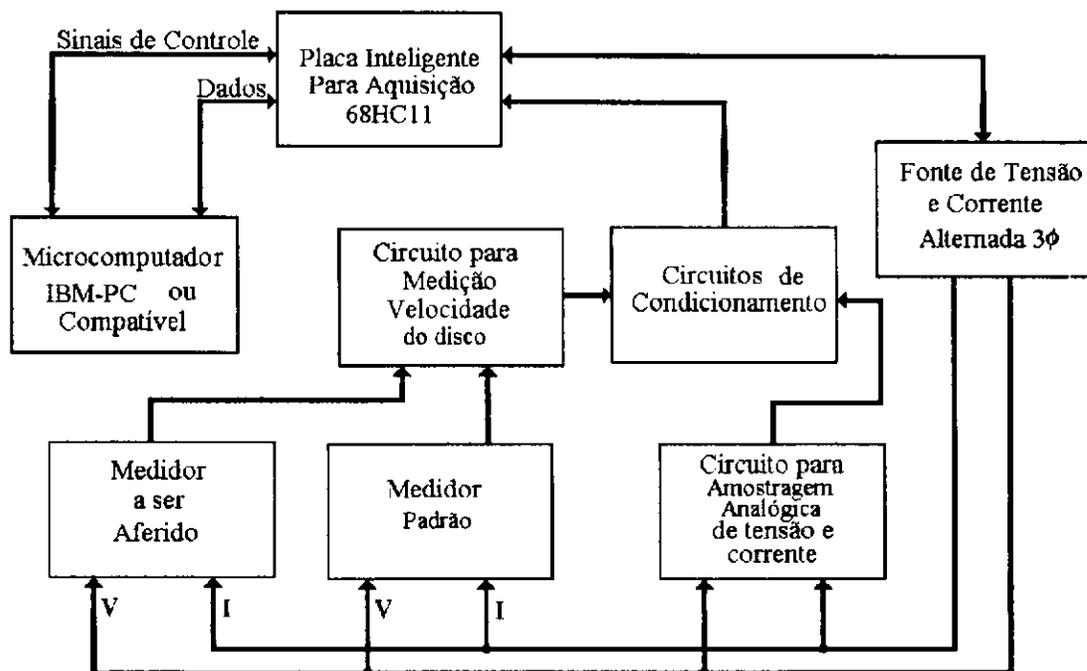


Figura 5.2 - Estrutura básica do sistema proposto.

O processo de calibração e de aferição baseia-se no método de comparação. Um sistema eletrônico com sensor ótico é utilizado para determinar a quantidade de rotações do elemento móvel (disco) do medidor padrão e o medidor a ser aferido. O sensor ótico detecta o número de rotações do disco do medidor em teste e do medidor padrão por meio da marcação em cor preta existente na borda do disco, e em seguida transmite-o para o circuito de contagem de pulsos. O sistema proposto é composto basicamente de: fontes de corrente e de tensão alternada trifásica, um microcomputador IBM-PC ou compatível, placa inteligente 68HC11 para aquisição de sinais, medidor a ser aferido, medidor padrão, circuito para medição de velocidade, circuitos de condicionamento e circuito para amostragem analógica de tensão e de corrente.

5.2.1 Fontes de corrente e de tensão

Estas fontes serão utilizadas para alimentação das bobinas de tensão e corrente do medidor a ser aferido e do medidor padrão, nos valores especificados por seus fabricantes. Estas fontes são usadas para ensaios em que a relação do ângulo de fase entre corrente e tensão seja ajustada conforme as condições impostas durante o processo de calibração e de aferição.

O circuito de tensão utiliza-se de um transformador multi-tap (transformadores de potencial de precisão isoladores) de tensão composto de um (1) enrolamento primário e 12 ou 24 enrolamentos secundários, posicionados eletricamente isolados, fornecendo tensões eficazes ajustáveis, independentes para o medidor em teste e para o medidor padrão. Isto permite a aferição de medidores monofásicos a 2 fios sem a abertura do elo de aferição.

O circuito de corrente utiliza-se de um transformador de carga (reductor de tensão), o que permite uma redução de consumo de energia do sistema de aferição e de um transformador multi-tap de corrente, permitindo a conversão de diversos valores de corrente de entrada para apenas um valor de corrente de saída (5 ampères) usado pelo medidor padrão. Os valores eficazes de corrente são ajustáveis, independentes para o medidor em teste e para o medidor padrão.

5.2.2 Circuito para medição da velocidade do disco do medidor

A medição de velocidade do medidor a ser aferido e do medidor padrão será feita através de um sensor ótico acoplado a cada medidor durante o processo de calibração. O sinal obtido do sensor passará por um circuito de condicionamento, e em seguida será enviado à placa de aquisição, a qual fará medição desta grandeza elétrica, utilizando-se do

temporizador programável, o qual está incorporado no microcontrolador 68HC11. A Figura 5.3 mostra o circuito eletrônico do sensor ótico.

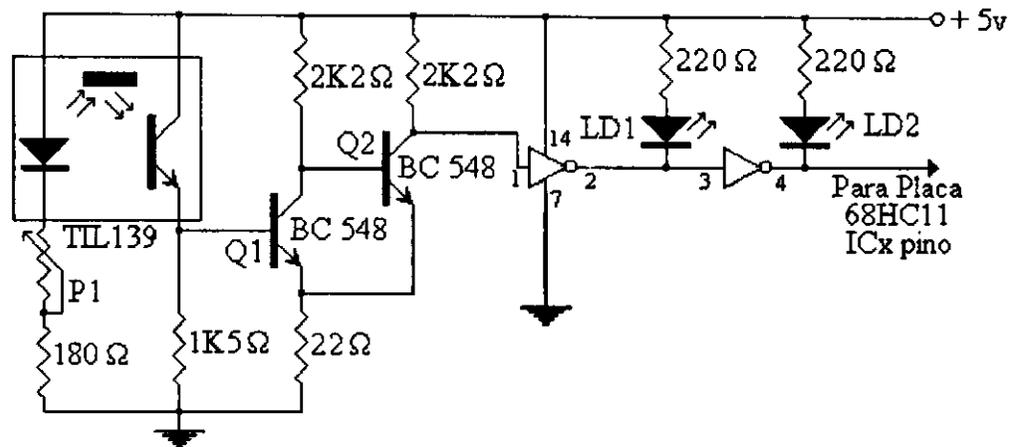


Figura 5.3 - Circuito eletrônico do sensor ótico.

O principal componente eletrônico do sensor ótico é o fotomicrosensor TIL139 da Texas Instruments Incorporated. Em operação normal do sensor ótico, o diodo emissor do TIL139 fica emitindo raios infravermelhos que ao incidirem sobre a marcação preta do disco do medidor não serão refletidos, por conseguinte, a base do fototransistor do TIL139 não será polarizada, levando-o ao estado de corte. Dessa forma, o transistor Q1 estará no estado de corte também, levando o transistor Q2 ao estado de saturação. Com o transistor Q2 no estado de saturação, a tensão obtida no coletor do transistor Q2 será igual a tensão entre coletor e emissor de saturação ($V_{CE\ SAT}$) do transistor. Por conseguinte, o indicador luminoso de cor verde (LD2), mostrará ao operador que o sensor ótico detectou a posição da marcação preta existente na borda do disco do medidor.

Quando não houver a detecção da marcação preta da borda do disco do medidor (reflexão de raios), teremos o fototransistor do TIL139 saturado, que por sua vez, levará o transistor Q1 ao estado de saturação, e por conseguinte fará com que o transistor Q2 seja levado ao estado de corte. Com o transistor Q2 em corte, a tensão do coletor de Q2 será igual a 5 volts. O indicador de cor vermelha (LD1), indicará ao operador que o sensor ótico não detectou a marcação preta existente na borda do disco do medidor.

A intensidade da emissão do feixe de raios infravermelhos sobre a borda do disco é feita por meio do ajuste do potenciômetro P1. Isto permitirá a detecção do número de rotações do disco do medidor por meio da marcação preta existente na sua borda.

O mecanismo de leitura do número de rotações do disco como também a medição do intervalo de tempo entre uma rotação e outra será feita por meio do temporizador do microcontrolador 68HC11, mais especificamente, através da entrada de captura(ICx pino) disponível neste temporizador, o qual é baseado em um contador de 16 bits do tipo *free-running* que altera de estado livremente após sua inicialização. Utilizando-se do sinal de *clock* como referência, o temporizador poderá ter sua frequência dividida por fatores (1,4,8 ou 16), os quais são programáveis por meio de dois *bits MSB* do registrador TMSK2 do microcontrolador 68HC11.

As entradas de captura (Icx) são usadas para monitorar dispositivos externos de modo que ao ocorrer uma transição de sinal lógico do tipo programada por *software*, o conteúdo do contador é armazenado em um registro interno correspondente à entrada captura. O tipo de transição (bordas: subida, descida ou ambas) é programada por *software* (registrador TCTL2). Esta característica permite ao temporizador medir período (sucessivas bordas de mesma polaridade capturadas) e/ou largura de pulso (duas bordas de polaridades alternadas).

Estas entradas de captura podem ser usadas pela técnica de varredura (*polling*) ou interrupção, as quais são programadas por *software* por meio dos registradores TFLG1 e TMSK1 do microcontrolador.

5.2.3 Placa inteligente para aquisição 68HC11

A placa inteligente de aquisição é compatível com o barramento IBM-PC ou compatível, e destina-se a aquisição e ao processamento de sinais analógicos e/ou digitais. A placa utiliza o microcontrolador 68HC11 - 8 bits (Motorola), e possui um conversor

A/D (unipolar) de 8 bits com quatro (4) canais, com tempo de amostragem de $16 \mu\text{s}$ por canal, um temporizador programável de 16 bits e porta de entrada/saída (E/S) [15].

A comunicação (troca de informações/dados) entre o microcomputador PC e placa 68HC11 é efetuada por meio de uma memória compartilhada. A seguir, temos uma descrição do projeto e implementação de duas placas baseadas no microcontrolador 68HC11 para desenvolvimento e monitoração de processos.

5.2.4 Circuitos de condicionamento

Estes circuitos condicionam os sinais analógicos de entrada, provenientes dos circuitos de amostragem analógica de tensão e de corrente, de forma que eles sejam adequados às entradas da placa de aquisição 68HC11. A Figura 5.4 mostra a configuração elétrica dos circuitos de condicionamento. Como o conversor A/D do microcontrolador é unipolar, através do circuito de retificação onda-completa, o conversor A/D pode realizar a aquisição de sinais negativos.

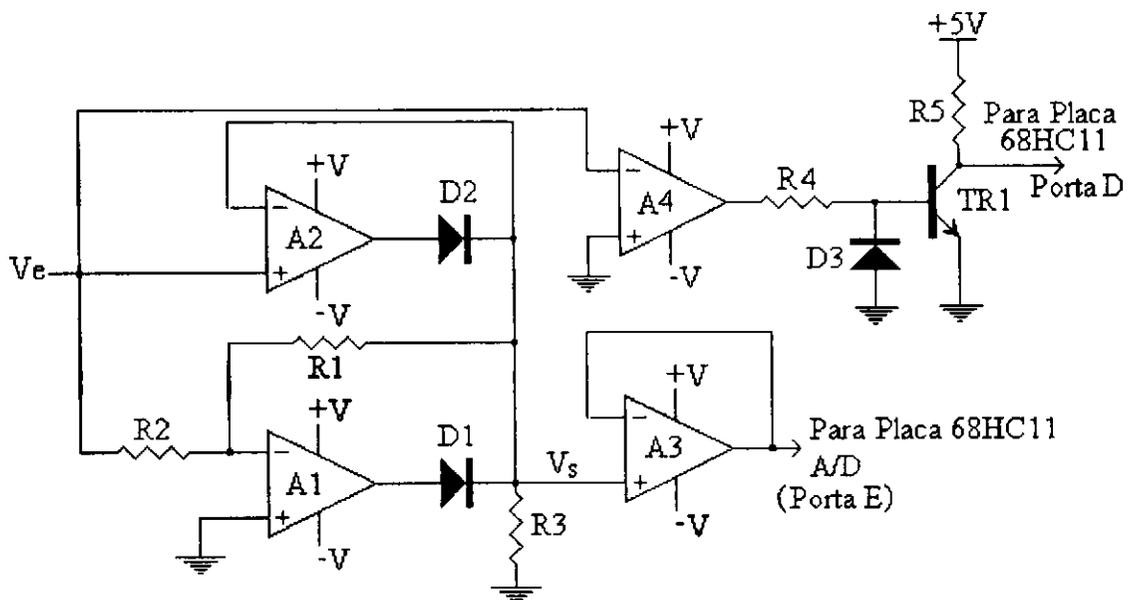


Figura 5.4 - Circuito de retificação.

O circuito de detecção de cruzamento de zero detecta o cruzamento de zero do sinal analógico permitindo fixar, para o microcontrolador 68HC11, o início de um processo de conversão analógico/digital. A Figura 5.5 mostra a configuração elétrica deste circuito.

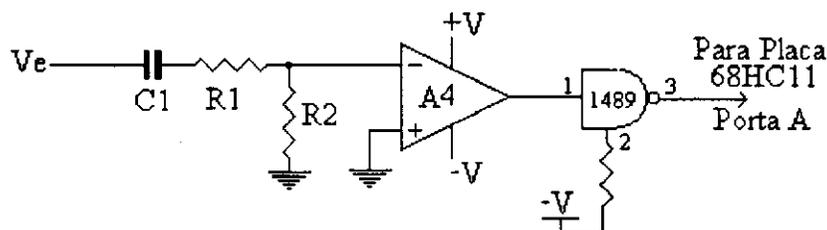


Figura 5.5 - Circuito de detecção de cruzamento de zero.

5.2.5 Circuitos de amostragem analógica de tensão e de corrente

Estes circuitos reduzem os sinais de tensão e de corrente, provenientes dos transformadores de tensão (TP) e de corrente (TC), para níveis de sinal compatíveis com a entrada dos circuitos de condicionamento. A utilização de acoplamentos magnéticos (TP e TC), permite a isolação elétrica entre o circuito de alta tensão e o circuito de baixa tensão. A Figura 5.6 mostra a configuração simplificada deste circuito.

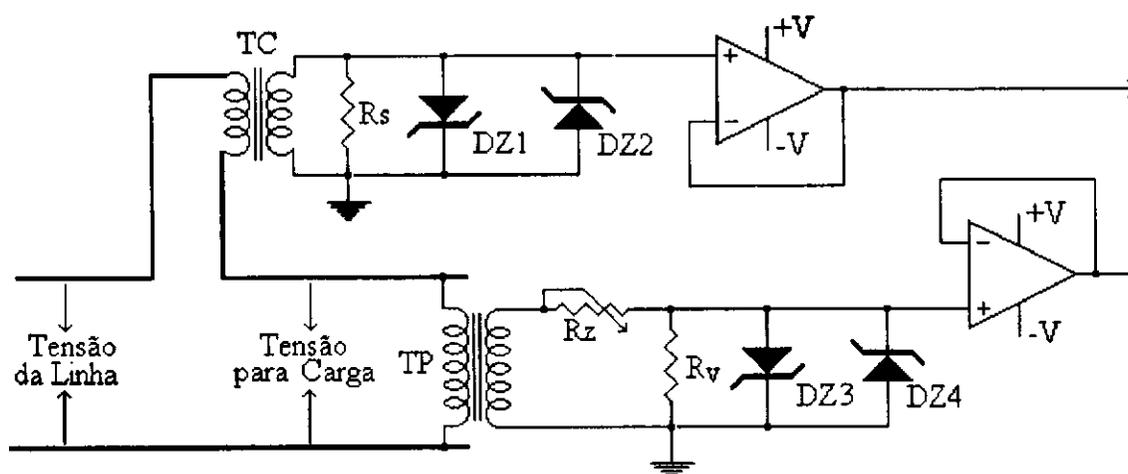


Figura 5.6 - Circuitos de amostragem analógica de tensão e de corrente.

5.3 Descrição do *software* do sistema computadorizado

Basicamente, o *software* desenvolvido para o sistema completo é dividido em: *software* de alto nível e *software* de baixo nível

5.3.1 *Software* de alto nível

Este *software* pode ser desenvolvido em qualquer linguagem de alto nível, por exemplo: Fortran, C, Visual Basic, Delphi. O *software* permitirá a interface entre o sistema e o operador. Composto de funções básicas, tais como: armazenamento e gerenciamento dos dados, controle e supervisão do sistema completo, visualização dos valores das grandezas medidas (tensão, corrente, frequência, velocidade do disco do medidor em teste - grandezas adquiridas pela placa de aquisição 68HC11). O *software* permitirá a formatação e apresentação de gráficos, tabelas e geração de relatórios (em vídeo ou impressos) que constará de todas as informações de cada medidor aferido.

A tela de inicialização do *software* de Interface Homem-Máquina (IHM) permitirá o ajuste e a operação da placa 68HC11, a qual simulará um painel analógico/digital de instrumentos que mostrará as grandezas elétricas referentes ao medidor em teste e ao medidor padrão, por exemplo: indicação de erro, tempo de teste, indicações do estado do medidor em teste (aprovado ou reprovado) e tipos de ensaios executados e os respectivos resultados obtidos. O *software* será responsável pelo protocolo de comunicação entre a unidade de processamento (microcomputador PC - IBM ou compatível) e a unidade de aquisição de dados (placa-68HC11), leitura dos pulsos enviados pelo medidor padrão e pela unidade ótica do medidor em teste. Com os dados obtidos das grandezas elétricas (tensão, corrente, frequência, fator de potência), podemos aplicar alguns algoritmos de tratamentos de dados, por exemplo: transformada rápida de Fourier (FFT), a fim de obtermos resultados mais satisfatórios quando aplicarmos o método potência versus tempo

no processo de calibração e de aferição de medidores de energia. A operação do *software* é por meio de menus do tipo *PULL DOWN*, acessíveis por teclado e/ou mouse, permitindo a comunicação com operador por meio de telas apresentadas em vídeo. Estas telas apresentam ao operador os comandos disponíveis ou comandos que o mesmo deve efetuar através do teclado, os quais serão processados e enviados para a placa de aquisição 68HC11 via memória compartilhada. Então, a placa de aquisição executará os devidos comandos feitos pelo operador.

5.3.2 *Software* de baixo nível

Desenvolvido especificamente para o sistema computadorizado de aferição e de calibração de medidores watt-hora, em linguagem assembler do microcontrolador 68HC11, este *software* é responsável pelo funcionamento e controle da placa 68HC11, aquisição das grandezas elétricas como tensão, corrente, frequência, velocidade (contagem do número de rotações) do disco do medidor padrão e o medidor em teste, processamento desses dados e o envio dos mesmos para o programa (*software* de alto nível) de gerenciamento do sistema.

5.4 Resumo

Neste capítulo descrevemos a proposta de uma mesa de aferição e de calibração que utiliza dos recursos de *hardware* e de *software* de computadores (mesa computadorizada), o que permite um alto nível de automação nos processos de aferição, cálculo de operações de cálculos matemáticos e geração de documentação. Na aquisição de dados e controle do sistema completo, propomos a utilização de placas inteligentes, conectadas no barramento do microcomputador IBM-PC.

Capítulo 6

Conclusão

O objetivo principal deste trabalho visa relatar o desenvolvimento, projeto, implementação e aplicações de duas placas de aquisição de dados e de monitoração de processos baseadas em microcontroladores, mais especificamente, no microcontrolador MC68HC11 da Motorola.

A viabilidade do desenvolvimento do projeto e a aplicação da proposta de um sistema computadorizado para aferição e calibração de medidores de energia elétrica à nível comercial (empresas concessionárias de energia elétrica) deve ser estudada detalhadamente, observando-se o lado técnico como também o econômico.

A aplicação do sistema proposto visa automatizar o processo de aferição, permitindo a redução do tempo gasto pelo processo convencional (o atual sistema utilizado na Companhia de Eletricidade da Borborema - CELB), obtenção de resultados mais confiáveis e precisos. Vale salientar, que o emprego de um sistema de aferição de melhor qualidade, moderno, informatizado permitirá aferições mais precisas, conseqüentemente, teremos medidores de energia elétrica operando satisfatoriamente, e

onde os erros de medição estarão dentro dos padrões previstos por normas técnicas de aferição e de calibração. Em consequência, teremos uma medição da energia consumida por residências, principalmente por indústrias, feita com maior precisão. Dessa forma, estaremos contribuindo para o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), evitando-se os desperdícios de energia.

A utilização de microcontroladores em projetos de sistemas de aquisição e processamento de dados permite uma redução dos custos aplicados no projeto de *hardware* destes sistemas, isto porque tais microcontroladores possuem estruturas nas quais estão inclusos num único circuito integrado: conversor A/D, memórias, portas de entrada/saída e circuito de temporização. Portanto, temos um sistema de custo reduzido e com sofisticados recursos para a criação de um ambiente de desenvolvimento para diversas aplicações, por exemplo; sistema computadorizado para aferição e calibração de medidores de energia elétrica, medidor digital de impedância [25], desenvolvimento de um registrador de perturbações nos sistemas elétricos [17] e desenvolvimento de um protótipo de sistema de hipertermia por microondas [18].

As duas placas quando usadas como um sistema escravo no conector de expansão (*slot*) de um microcomputador IBM-PC ou compatível (sistema hospedeiro), estes dois sistemas formam uma estrutura hierárquica em sistemas computadorizados, permitindo a distribuição das tarefas entre os dois sistemas, de modo que a implementação das tarefas é executada pelo nível mais adequado. Este tipo de estrutura permite colocar no barramento do sistema hospedeiro mais de uma placa inteligente para a aquisição e processamento de dados [26]. Para isso, basta definir os requisitos de comunicação e troca de informações entre o sistema hospedeiro e as placas inteligentes. Estes requisitos são determinados pelo *hardware* das placas (endereço da memória compartilhada para o sistema hospedeiro-microcomputador PC) e o *software* desenvolvido para aquisição de dados e controle das placas.

A utilização das placas requer alguns conhecimentos básicos como programação em linguagem assembler e em linguagem de programação de alto nível como também conhecimentos de engenharia de *software*.

Atualmente, as duas placas desenvolvidas para aquisição de dados e monitoração de processos encontram-se em funcionamento no Laboratório de Instrumentação Eletrônica (UFPB/CCT/DEE), e são utilizadas com frequência no desenvolvimento de projetos e aplicações baseadas em microcontroladores, por exemplo: filtro digital. Para o desenvolvimento, além dos recursos disponíveis de *hardware*, dispusemos diversos recursos de *software*, por exemplo: compiladores e montadores em linguagem de máquina do microcontrolador MC68HC11.

Abaixo, relacionamos alguns trabalhos que podem ser implementados para a continuação do presente trabalho:

- Implementação do *hardware* do sistema de aferição;
- Elaboração do *software* de controle do sistema de aferição e de Interface Homem-Máquina;
- Execução de ensaios de teste de ajustes em medidores de energia elétrica;
- Estudo comparativo da relação custo/benefício com sistemas de aferição existentes no mercado nacional e no exterior.

Apêndice A

Listagem do programa residente em EPROM da placa 2

- * Este programa copia na memoria de trabalho (Endereco : \$C000) do *
- * microcontrolador 68HC11 um programa carregado pelo PC na memoria *
- * compartilhada (Endereco : \$6000). Por Wallington Leal *

RESET	EQU	\$FFFE	ENDERECO DO VETOR RESET
EPROM	EQU	\$E000	ENDERECO DA MEMORIA EPROM
INIC	EQU	EPROM	INICIO DO PROGRAMA
PORTA	EQU	\$1000	I/O PORT A
PORTD	EQU	\$1008	I/O PORT D
DDRD	EQU	\$1009	DATA DIRECTION FOR PORT D
TMSK2	EQU	\$1024	TIMER INTERRUPT MASK REGISTER 2
ENDRI	EQU	\$C000	ENDERECO INICIAL DA MEM. TRABALHO
ENDRF	EQU	\$DFFF	ENDERECO FINAL DA MEMORIA TRABALHO

```

ADRI      EQU $6000      ENDERECO INICIAL - 1 DA MEM. COMPARTI.
ADRF      EQU $7FFF      ENDERECO FINAL DA MEMORIA COMPARTI.
          ORG RESET      FORCA RESET PARA ENDRECO $E000
          FDB EPROM

          ORG ENDRI

*   LDS   #$FF           INICIALIZA STACK POINTER
*   LDAB  #$03           TIMER PRESCALER : PR1 = 1 ; PR0 = 1
*   STAB  TMSK2
*   LDAB  #$FF           PORT D - SAIDA
*   STAB  DDRD           DATA DIRECTION FOR PORT D
          LDAB VALOR      PORT D - PD0
          STAB PORTD      PD0 = 0
          EORB #$FF       INVERSAO DO BIT - PD0
          STAB VALOR      SALVA PARA CONTROLE/PD0 = 1
          LDAB #$00       PORT A - PA4 = 0 ; PA3 = 0
          STAB PORTA

*****
*   TESTE DAS MEMORIAS : TRABALHO(C000) E DUAS MEM.          *
*   COMPARTILHADS(6000)                                     *
*****

          LDY  #ENDRF     APONTA PARA MEM. DE TRABALHO($DFFF)
          LDX  #ADRF      APONTA P/ MEM. COMPARTILHADA($7FFF)
LOP  LDAA  #$45
          STAA 0,Y        MEM. TRABALHO : DADOS = &H 45
          EORA  #$FF
          STAA 0,X        MEM. COMPART. : DADOS = &H BA
          DEY
          DEX
          CPX  #$5FFF     ADRI - 1 : END. INICIAL MEM. COMPART.
          BNE  LOP

```

```

*****
* Esperando comando do micro PC - ESCRITA PELO PC NO FLIP-FLOP
*
*****
JSR   RETORN1
*****
* EXECUCAO DE CHAVEAMENTO DE MEMORIA COMP. P/ PC
*
* DADOS : &HBA
*****
LDAB  VALOR      PORT D - PD0
STAB  PORTD      PD0 = 1
EORB  #$FF      INVERSAO DO BIT - PD0
STAB  VALOR      SALVA PARA CONTROLE/PD0 = 0
*****
* TESTE DA MEM. COMPART. DISPONIVEL PARA PC NA INICIL.
*
* DADOS = &H 23 ( CODIGO # )
*****
LDX  #ADRF      APONTA P/ MEM. COMPARTILHADA($7FFF)
LOP1 LDA 0,X    CMA # $23
BNE  ERROL     ERRO NA MEM. DADO DIFERENTE DE &H 23
DEX
CPX  #$5FFF    ADRI - 1 : END. INICIAL MEM. COMPART.
BNE  LOP1     JMP SAI
ERR  JMP ERRO
*****
* TESTE DA MEM. TRABALHO DO UC NA INICILIZACAO
*
* DADOS = &H 45
*****
SAI  LDX #ENDRF  APONTA PARA MEM. COMPARTILHADA($DFFF)
LOP2 LDA 0,X    CMA # $45
*****

```

```

BNE  ERROL          ERRO NA MEM. DADO DIFRENTE DE &H AA
DEX
CPX  #$BFFF        ENDRI - 1 : END. INICIAL MEM. TRABALHO
BNE  LOP2

```

```

*****
* Esperando comando do micro PC - LEITURA PELO PC NO FLIP-FLOP      *
*****

```

```

JSR  RETORNO

```

```

*****
* CHAVEAMENTO DE MEMORIA COMPARTILHADA                                *
*****

```

```

LDAB VALOR        PORT D - PD0
STAB PORTD        PD0 = 0
EORB #$FF        INVERSAO DO BIT - PD0
STAB VALOR        SALVA PARA CONTROLE/PD0 = 1
LDAA #$10
STAA PORTA

```

```

*****
* Copiando mem. compartilhada para memoria de trabalho                *
*****

```

```

LDY  #ENDRF       APONTA PARA MEM. DE TRABALHO
LDX  #ADRF        APONTA PARA MEM. COMPARTILHADA

```

```

LOP3 LDAA 0,X

```

```

STAA 0,Y

```

```

DEX

```

```

DEY

```

```

CPX  #$5FFF      ADRI - 1 : END. LOW DA MEM. COMPART.

```

```

BNE  LOP3

```

```

*****
* Esperando comando do micro PC para executar programa copiado na    *
* memoria de trabalho do microcontrolador                             *
*****

```

```

JSR   RETORNI
*****
* Executa programa carregado na memoria de
*****
JMP   ENDRI
*****
* Rotina de delay e Teste do Bit PA0 - Saida - PA0 = 1
*****
RRNI LDAA #$10          PA4 = 1
STAA PORTA             I/O PORT A
LDY   #$0090
DEY1 LDY   #$A000
LOP1 DEX
BNE   LOP1
EORA #$10
STAA PORTA             PA4 = 0
DEY
BNE   DEY1
LDAB PORTA
ANDB #$01
BEQ   RRNI
SAI SE PA0 = 1
RTS
*****
* Rotina de delay e Teste do Bit PA0 - Saida - PA0 = 0
*****
RENO LDAA #$00          PA4 = 0
STAA PORTA             I/O PORT A
LDY   #$0050
DLAY2LDX #$8000
LOOP2DEX
BNE   LOOP2
EORA #$10
PA4 = 1

```

```
STAA PORTA
DEY
BNE DLAY2
LDAB PORTA
ANDB #$01          TESTE PA0
BNE REN0          SAI SE PA0 = 0
RTS
```

* Rotina de Erro *

```
ERRO LDAA #$10
      STAA PORTA
      JMP ERRO
      LDY #$0090
DAY3 LDX #$FF
LOOP3DEX
      BNE LOOP3
      EORA #$10
      STAA PORTA
      DEY
      BNE DAY3
      JMP ERRO
```

* Variaveis e Constantes do Programa Principal *

```
VALR FCB $00
      END
```

Apêndice B

Listagem do programa GERS19.COM

```
/*
** Programa para conversao formato *.s19 -> *.com
** por Wallington Leal/Rinaldo Santos Junior-1997
*/

#include <stdio.h>
#include <alloc.h>
unsigned char far *ptr2;
unsigned char far *endr;

main( argc, argv )
int argc;
char **argv;
{
    FILE *fpi, *fpo;
    unsigned char s[5];
```

```
unsigned int tam, end_inic;
long i, f;
unsigned char far *ptr;
int w;
clrscr();
if( argc < 3 ){
    printf( "Erro! Usar cons19 arquivo end_base(hexa) [tam_mem em Kbytes
(max=64)]\n" );
    exit( 0 );
}
if( (fpi = fopen( *++argv, "r" )) == NULL ){
    printf( "Erro! Impossivel abrir %s\n", *argv );
    exit( 0 );
}
if( (fpo = fopen( "s19.com", "wb" )) == NULL ){
    printf( "Erro! Impossivel abrir s19.com\n" );
    exit( 0 );
}
ptr = farmalloc( 65535 * sizeof( char ) ); /* alocao para 64K */
if( ptr == NULL ){
    printf( "Erro! Falha na alocao de memoria\n" );
    exit( 0 );
}
if( argc == 3 )
    f = (long) 8 * 1024; /* default 8K */
else
    f = atol( argv[3] ) * 1024;
/* puts( "Conversao Motorola .S19 -> Prommer .COM (eprom's ate' 64K)" );*/
/* puts( "by Rinaldo Santos Junior - 1990" ); */
for( i=0; i<f; i++ )
    *(ptr+i) = 0xFF;
/* puts( "Conversao iniciada ..." );*/
```

```
++argv;
while( (s[0] = getc( fpi )) != 0xff){      /* tipo */
    if( s[0] == '\n' )
        continue;
    s[0] = getc( fpi );                    /* tipo */
    if( s[0] != '1' )                      /* pula tipos diferentes de 1 */
        continue;
    s[0] = getc( fpi );
    s[1] = getc( fpi );
    s[2] = '\0';
    tam = ahtoi( s ) - 3;
    for( i=0; i<4; i++ )
        s[i] = getc( fpi );
    s[4] = '\0';
    end_inic = ahtoi( s ) - ahtoi( *argv ); /* - end base */
    s[2] = '\0';
    for( i=0; i<tam; i++){
        s[0] = getc( fpi );
        s[1] = getc( fpi );
        *(ptr+end_inic+i) = ahtoi( s );
    }
    getc( fpi );      /* despreza chksum */
    getc( fpi );
}
puts( "Salvando a conversao em s19.com ... " );
for( i=0; i<f; i++ )
    putc( *(ptr+i), fpo );
fcloseall();
puts( "TERMINOU OPERACAO....." );
}
ahtoi( s )      /* converte string hexa para int */
char *s;
```

```
{
int resu;
resu = 0;
while( *s ){
    if( *s>='0' && *s<='9' )
        resu = *s - '0' + resu * 16;
    else if( *s>='A' && *s<='F' )
        resu = *s - 'A' + 10 + resu * 16;
    else if( *s>='a' && *s<='f' )
        resu = *s - 'a' + 10 + resu * 16;
    s++;
}
return resu;
}
```

Referências bibliográficas

- [1] **“Coletânea de Normas de Medidores de Energia Elétrica”**, ABNT, São Paulo, 1984.
- [2] MEDEIROS FILHO, Solon de, **“Medição de Energia Elétrica”**, Editora Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1983, 483p.
- [3] PEREIRA LEAL, José Wallington, **“Desenvolvimento de uma placa inteligente com microcontrolador MC68HC11, compatível com vias IMB-PC”**, UFPB, Campina Grande, 1989.
- [4] **“VIM - Vocabulário Internacional de Metrologia”**, INMETRO, 1995
- [5] NETO, J. S. Rocha et alii, **“An Intelligent P.C. Plug-in Board for Software Development and Process Monitoring”**, In 1991 International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, October, Japan, pp. 539-544, 1991.
- [6] SHERBURNE, Russel R., **“Driving Torque Equations for Watthour Meter Based on the Ferraris Principle”**, IEEE Transactions on Apparatus and Systems, vol. PAS-90, No. 1, January/February, pp. 325-330, 1971.

- [7] JÚNIOR, Gilberto D. e FILHO, Ernani F. R., “**Sistema Computadorizado de Aferição de Medidores de Energia**”, II Seminário Internacional de Metrologia Elétrica, Curitiba, PR, Brasil, pp. 143-148, 1996.
- [8] SANTORI, Michael, “**An Instrument that isn't really**”, IEEE Spectrum, August, 1990.
- [9] ZRUDSKY, Donald R., PICHLER, James M., “**Virtual Instrument for Instantaneous Power Measurements**”, IEEE Transaction Instruments Measurements, vol.41, pp. 528-534, August, 1992.
- [10] LUCIANO, Benedito A., “**Medidores e Registradores de Energia Elétrica a Estado Sólido**”, Publicação Interna DEE/CCT/UFPb, Campina Grande, 1988, 46p.
- [11] FRANK, Ernest, “**Electrical Measurement Analysis**”, McGraw-Hill Book Company, Inc, USA, 1959.
- [12] “**MC68HC11A8-HCMOS Single-Chip Microcontroller- Advanced Information**”, MOTOTOLA INC., 1988.
- [13] “**PERSONAL COMPUTER - TECHNICAL REFERENCE**”, IBM, 1983.
- [14] “**Electricity Meter Test Equipament**”, LGZ LANDIS & GYR ZUG AG, 1975.
- [15] “**M68HC11 - Evaluation Board User's Manual**”, MOTOROLA INC, 1986.
- [16] RIZZI, Álvaro Pereira, “**Medidas elétricas potência-energia-fator de potência-demanda**”, LITEC Editora, Rio de Janeiro, Brasil, 1980.
- [17] COSTA, Eduardo Antonio C. da, “**Desenvolvimento de um Registrador de Perturbações nos Sistemas Elétricos**”, Dissertação de Mestrado, UFPB/COPELE, Campina Grande, PB, Brasil, pp.35-44, 1991

- [18] CARVALHO, Joabson N. de, "**Desenvolvimento de um Protótipo de Sistema de Hipertermia por Microondas**", Dissertação de Mestrado, UFPB/COPELE, Campina Grande, PB, Brasil, pp.77-89, 1996.
- [19] NETO, Salvino Guerra, "**Relatório do Projeto : Medidor de Potência**", Relatório Técnico, UFPB/CCT/DEE, Campina Grande, PB, Brasil.
- [20] JÚNIOR, José R. C. de Vasconcelos, "**Medidor de Potência Trifásica Programável**", Relatório Técnico de Estágio, UFPB/CCT/DEE, Campina Grande, PB, Brasil, 1995.
- [21] "**Mesa de Aferição para Medidores Monofásicos/Polifásicos pelo Método Trifásico Modelo PC905**", NANSEN S.A - Instrumentos de Precisão, Contagem, MG, Brasil, 1995.
- [22] FILHO, José M. C., "**Elaboração de um software para controle de uma fonte de microondas, com ajuda de uma placa inteligente**", Relatório Técnico de Estágio, UFPB/CCT/DEE, Campina Grande, PB, Brasil, 1996.
- [23] "**Transdutores de Grandezas Elétricas - Manual Técnico**", YOKOGAWA Elétrica do Brasil, s.d.
- [24] "**Informe Técnico : Medidas de Grandezas Elétricas**", GSI-Engenharia e Comércio LTDA., Vitória, ES, Brasil, s.d.
- [25] NETO, J. S. Rocha, "**Projeto e Implementação de uma Estação de Trabalho para Microcontrolador MC68HC11- ESTHC11**", Relatório Técnico, UFPB/CCT/DEE, Campina Grande, PB, Brasil, 1989.
- [26] BARROSO, Giovanni Cordeiro, "**Sistema Distribuído de Aquisição de Dados Baseado na ESTHC11**", Relatório Técnico Interno, UFPB/CCT/DEE, Campina Grande, PB, Brasil, 1995.

- [27] CAMPOS, Alberto Álvares da Silva, “**Técnicas de Inspeção e Aferição de Medidores de Energia Elétrica**”, II Encontro Regional sobre Medição de Energia Elétrica, s.d.
- [28] “**Electrical Metermen’s Handbook**”, Edison Electric Institute, New York, N. Y., 1965, seventh edition.
- [29] MARTINS, Antonio S., “**Medidores Classes 2 e 1- Projeto e Aplicação**”, V Encontro Regional sobre Medição de Energia Elétrica, São Luis, MA, Brasil, 1988.
- [30] BASTOS, Eduardo de Araújo, “**Aferição e Calibração de Medidores**”, V Encontro Regional sobre Medição de Energia Elétrica, São Luis, MA, Brasil, 1988.
- [31] DINIZ, Luiz Carlos, “**Mesas de Aferição - Projeto e Aplicação**”, V Encontro Regional sobre Medição de Energia Elétrica, São Luis, MA, Brasil, 1988.
- [32] BORTONI, Edson da Costa et alii, “**Influência de Componentes Harmônicos sobre o Desempenho de Medidores de Watt-hora Indutivos**”, II Seminário Internacional de Metrologia Elétrica, Curitiba, PR, Brasil, pp. 132-137, 1996.
- [33] “**Informativo de Medição Elétrica**”, General Electric do Brasil S.A, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1985.
- [34] SEARLE, B. C. and FREBERG, D. E., “**Tutorial: Microprocessor Applications in Multiple Processor Systems**”, Computer, October, 1975, pp.22-30.
- [35] PRESSMAN, R. S., “**Software Engineering: A Practicioners Approach**”, MacGraw-Hill International Editions, Second Edition, 1987.
- [36] WORAM, John, “**Manual de Configuração do PC**”, Berkeley Brasil Editora, Rio de Janeiro, 1992.

- [37] SHANLEY, Tom and ANDERSON, Don, "**PCI System Architecture**", Mindshare, Inc., Third Edition, USA, 1995.
- [38] MELLICHAMP, Duncan A., "**Real-Time Computing with Applications to Data Acquisition and Control**", Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, USA, 1983.
- [39] HAYLES, T. and POTTER, D., "**Programming DMA on PC/XT/AT Computers**", National Instruments Corporation, January, USA, 1994.
- [40] HARVEY, A. F. and Data Acquisition Division Staff, "**DMA Fundamentals on Various PC Platforms**", National Instruments Corporation, April, USA, 1991.
- [41] SHELTINGA, L. and VAESSEN, P. T. M., "**Digital Measurement System for High-Voltage Impulse Tests on Transformers**", ETEP, vol. 2 , No. 2, March/April, 1992.