

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA
LABORATÓRIO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL**

**SISTEMA DE COLETA DE DADOS DE BAIXO CUSTO
UTILIZANDO MICROCOMPUTADOR IBM-PC,
PARA APLICAÇÃO NO LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA
DO LARHISA-UFRN**

MARCOS AURELIO FERREIRA DOS SANTOS

**Natal
Dezembro 2003**



Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Centro de Tecnologia

Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Sanitária - PPgES
Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

**SISTEMA DE COLETA DE DADOS DE BAIXO CUSTO
UTILIZANDO MICROCOMPUTADOR IBM-PC, PARA
APLICAÇÃO NO LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA
DO LARHISA-UFRN**

Marcos Aurelio Ferreira dos Santos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Sanitária, e Área de Concentração em Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Mattos

Natal – RN
Dezembro/2003

Divisão de Serviços Técnicos

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila
Mamede

Santos, Marcos Aurelio Ferreira dos.

Sistema de coleta de dados de baixo custo utilizando microcomputador IBM-PC, para aplicação no laboratório de hidráulica do Larhisa-UFRN / Marcos Aurelio Ferreira dos Santos. – Natal, RN, 2003.

142 p.

Orientador : Arthur Mattos.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária.

1. Hidrologia - Tese. 2. Hidráulica - Tese. 3. Software – Desenvolvimento - Tese. 4. Sensor - Tese. I. Mattos, Arthur. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 556.3(043.2)

DEDICATÓRIA:

À toda minha família, meus pais, irmãs, e minha esposa, sempre presentes, me apoiando e acreditando nas realizações de meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

À DEUS;

Ao Prof. Dr. Arthur Mattos, orientador e amigo, que com toda sua experiência e conhecimento, me permitiu ficar bastante a vontade para conduzir a realização deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Antônio Righetto, que tão brilhantemente soube direcionar a aplicação deste trabalho;

Ao Prof Dr. Manoel Lucas, que nos abriu as portas do LARHISA;

Ao amigo Kennedy Dantas, sempre disposto a ajudar;

Ao amigo e companheiro Carlos Alberto, pelas valiosas pérolas do mundo virtual;

Ao parceiro João Gualberto, que trilhou também esta mesma jornada, com espírito de muito companheirismo;

Aos amigos do INPE, que com amizade e união de grupo, acompanharam esta caminhada;

Enfim, a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	X
SIGLAS E SÍMBOLOS	XI
RESUMO	XIV
ABSTRACT	XV
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – FUNDAMENTOS DE SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS	3
2.1. Definição de Sistema de Aquisição de Dados	4
2.2. Arquitetura dos Sistemas de Aquisição de Dados	5
2.3. Componentes de Um Sistema de Aquisição de Dados	6
2.4. Sensores e Transdutores	7
2.4.1. Sensores de Temperatura	9
2.4.1.1. Sensores Resistivos	9
2.4.1.1.1. Detector RTD	10
2.4.1.1.2. Termistores	12
2.4.1.2. Termopares	14
2.4.1.3. Outros Sensores Térmicos	19
2.4.2. Sensores de Umidade	20
2.4.2.1. Princípios de Operação	22
2.4.2.1.1. Psicrômetro de Bulbo Úmido e Seco	22
2.4.2.1.2. Higrômetro Capacitivo	23
2.4.2.1.3. Higrômetro de Espelho	23
2.4.3. Sensores de Nível	25
2.4.3.1. Sistema com Bóias	25
2.4.3.2. Sistemas Elétricos	26
2.4.3.3. Sistema de Medição da Pressão Hidrostática	28
2.4.3.4. Sensores por Vibração	29

2.4.3.5. Sensores Condutivos	29
2.4.3.6. Sensores Ultra-Sônicos	30
2.4.4. Sensores de Pressão	32
2.4.4.1. Manômetro de Coluna	33
2.4.4.2. Manômetro de Bourdon	34
2.4.4.3. Transdutores de Pressão	35
2.4.4.3.1. Transdutores de Relutância Variável	36
2.4.4.3.2. Transdutores Capacitivos	37
2.4.4.3.3. Transdutores Piezoresistivos	38
2.4.4.3.4. Transdutores Baseados em Cristais	39
2.4.4.4. Transmissores de Pressão	40
2.4.5. Sensores de Vazão	41
2.4.5.1. Medidor Ultra-Sônico	41
2.4.5.1.1. Medidor Ultra-Sônico Por Efeito Doppler	41
2.4.5.1.2. Medidor Ultra-Sônico por Tempo de Trânsito	43
2.4.5.2. Medidor Eletromagnético	45
2.5. Condicionamento de Sinais	46
2.5.1. Princípios de Condicionamento de Sinais Analógicos	46
2.5.2. Mudança no Nível	48
2.5.3. Linearização	48
2.5.4. Conversões	51
2.5.5. Isolação	51
2.5.6. Filtragem	52
2.5.7. Casamento de Impedância	52
2.5.8. Resumo	52
2.6. Conversão Analógico-Digital	55
2.6.1. Técnicas de Conversão A/D	57
2.6.1.1. Conversão por Aproximação Sucessiva	57
2.7. Módulos e Placas de Aquisição e Controle	61
2.7.1. Entradas Analógicas	64
2.7.2. Conversor Analógico-Digital (A/D)	66

2.7.3. Triggers	67
2.7.4. Saídas Analógicas	67
2.7.5. Entradas e Saídas Digitais	68
2.7.6. Contadores e Temporizadores	69
2.7.7. Processadores	70
2.8. Características dos Sistemas de Aquisição de Dados	70
2.8.1. Precisão	70
2.8.1.1. Precisão Relativa	73
2.8.2. Resolução	74
2.8.3. Sensibilidade	75
2.9. Sistemas de Aquisição de Dados Utilizando PC	76
2.10. Considerações Finais	77
3. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA - METODOLOGIA	79
3.1. Descrição Geral do Sistema	79
3.2. Descrição Detalhada do Sistema	81
3.2.1. Hardware	81
3.2.1.1. Interface Sensores	82
3.2.1.2. Interface PC	84
3.2.1.2.1. Porta Paralela do IBM-PC	85
3.2.1.2.1.1. Modelos de Porta Paralela	85
3.2.1.2.1.2. Endereçamento Usado Pela Porta Paralela	87
3.2.1.2.1.3. Denominação dos Sinais na Porta Paralela	87
3.2.1.2.1.4. Comunicação com Dispositivos Externos	89
3.2.1.2.2. Descrição da Interface PC Desenvolvida	92
3.2.2. Software	95
3.2.2.1. Plataforma de Desenvolvimento	96
3.2.2.2. Linguagem	96
3.2.2.3. Operação do SOFTWARE DE USUÁRIO	96
4. RESULTADOS	97
4.1. Testes e Performance	97
4.1.1. Erro do Multiplexador	97

4.1.2. Erro da Tensão de Referência	98
4.1.3. Erro de Conversão A/D	98
4.2. Custos	102
4.2.1. Custos de Desenvolvimento	102
4.2.2. Custos de Reprodução	103
4.3. Manual de Usuário do Sistema	105
5. CONCLUSÕES	131
5.1. Aplicações	131
5.1.1. Laboratório de Hidráulica do LARHISA	131
5.1.2. Outras Aplicações	134
5.3.1.1. Climatologia	134
5.5.2.2. Agricultura	134
5.5.2.3. Indústria Automobilística	134
5.5.2.4. Meio Ambiente	135
5.5.2.5. Gerenciamento de Energia	135
5.5.2.6. Petroquímica	135
6. PERSPECTIVAS DE APERFEIÇOAMENTO	137
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
APÊNDICE - Tabela de Preços de Sistemas Comerciais Para Coleta de Dados	142

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 – Processo de Aquisição de Dados	4
Figura 2.2 – Arquitetura Básica de um Sistema de Aquisição de Dados	5
Figura 2.3 – Componentes de um Sistema de Aquisição de Dados	6
Figura 2.4 – Características Resistência x Temperatura para Níquel, Cobre e Platina	11
Figura 2.5 – Resistência Como Função da Temperatura para Termistor Tipo NTC	14
Figura 2.6a – Termopar de Uma Simples Junção	15
Figura 2.6b – Circuito de Termopar para Medida da Diferença de Temperatura $T_1 - T_2$	15
Figura 2.7 – Transferência de Calor devido ao Efeito Peltier, q_p e ao Efeito Thompson, q_T	16
Figura 2.8 – Voltagem de Saída v_0 Versus Temperatura T	18
Figura 2.9 – Psicrômetro de Bulbo Úmido e Seco	23
Figura 2.10 – Higrômetro de Espelho	24
Figura 2.11 – Medida de Nível por Sistema de Bóia	25
Figura 2.12 – Medida de Nível Através de Dois Capacitores Concêntricos	26
Figura 2.13 – Placas Cilíndricas Para Medição de Nível	27
Figura 2.14 – Medida de Nível Através de Um Sensor de Pressão	29
Figura 2.15 – Medição de Nível a Partir da Variação da Frequência do Sinal Ultra- Sônico	31
Figura 2.16 – Medição de Nível Utilizando Ultra- Som Com Sensor Imerso	31
Figura 2.17 – Escalas de Referência Para Medidas de Pressão	32
Figura 2.18 – Manômetro de Coluna	33
Figura 2.19 – Configurações de Transdutores Capacitivos	38
Figura 2.20 – Transdutores Piezoresistivos	39
Figura 2.21 – Transmissor de Pressão	40
Figura 2.22 – Medidor Doppler	42

Figura 2.23	– Medidor Ultra – Sônico Por Tempo de Trânsito	44
Figura 2.24	– Sistema de Condicionamento de Sinais	47
Figura 2.25	– Saída Não Linear	49
Figura 2.26	– Saída Linearizada	50
Figura 2.27	– Conversor Analógico-Digital	57
Figura 2.28	– Conversor A/D por Aproximação Sucessiva	59
Figura 2.29	– Seqüência de Comparação para Um Conversor de 03 Bits	60
Figura 2.30	– Onda Senoidal Digitalizada Com Resolução de 03 Bits	65
Figura 2.31	– Determinação da Precisão Relativa	73
Figura 3.1	– Diagrama de Blocos	81
Figura 3.2	– Diagrama de Blocos do Módulo Interface	82
Figura 3.3	– Diagrama de Blocos da Interface Sensores	83
Figura 3.4	– Diagrama de Pinagem do Conector DB– 25	86
Figura 3.5	– Conector DB– 25 Macho	86
Figura 3.6	– Funcionamento no Modo SSP	90
Figura 3.7	– Funcionamento no Modo EPP	91
Figura 3.8	– Diagrama de Interfaceamento	92
Figura 3.9	– Diagrama de Timing de Leitura de um Canal	93
Figura 4.1	– Curva de Transferência A/D para 03 bits	99
Figura 4.2	– Curva de Precisão Absoluta A/D para 03 bits	100

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 2.1 – Materiais Empregados nos Termopares Padrão.	18
Tabela 4.1 – Parâmetros de Performance	101

SIGLAS E SÍMBOLOS

AD, A/D	–	Analógico-Digital
AM	–	Amplitude Modulada
ASHRAE	–	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CRN	–	Centro Regional de Natal
CPU	–	Central Processing Unit
DA, D/A	–	Digital-Analógico
DAQ	–	Data AcQuisition Boards
DLL	–	Dynamic Link Library
DMA	–	Direct Memory Access
DSP	–	Digital Signal Processor
E/S	–	Entrada-Saída
ECP	–	Extended Capability Port
EOC	–	End Of Conversion
EPP	–	Enhanced Parallel Port
FDC	–	Final de Conversão
FIFO	–	First In First Out
FM	–	Frequência Modulada
IDC	–	Início de Conversão
INPE	–	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISA	–	Industry Standard Architecture
LARHISA	–	Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
LPT	–	Line Printing Terminal
LSB	–	Less Significant Bit
LVDT	–	Linear Variable Differential Transformer
MSB	–	Most Significant Bit
NTC	–	Negative Temperature Coefficient
OCX	–	OLE Control Extension

PC	– Personal Computer
PCMCIA	– Personal Computer Memory Card International Association
PLL	– Phase Locked Loop
PTC	– Positive Temperature Coefficient
PWM	– Pulse Width Modulated
RAM	– Random Access Memory
RTD	– Resistance-Temperature Detector
SISMOS	– Sistema de Monitoramento de Sensores
SSP	– Standard Parallel Port
TTL	– Transistor-Transistor Logic
VAC	– Volts Alternating Current
VDC	– Volts Direct Current
μ	– Coeficiente de Resistividade
$^{\circ}\text{C}$	– Graus Célcus
β	– Constante de Material
π_{AB}	– Coeficiente de Peltier de A para B de uma junção AB
σ	– Coeficiente de Thompson
ω	– Umidade Específica
ϕ	– Umidade Relativa
μS	Unidade de Condutância (micro Siemens)
m_v	– Vazão Entre As Massas de Vapor D'Água
m_a	– Vazão Entre As Massas de Ar Seco
p_v	– Pressão Parcial de Vapor
p_{sat}	– Pressão de Saturação
\bullet	– Permissividade Relativa, Constante Dielétrica
\bullet_0	– Permissividade do Vácuo
\bullet	– Densidade de Um Fluido
h	– Altura
g	– Aceleração Da Gravidade
p	– Pressão

- – Massa Específica de Um Fluido;
- f – Diferença de Frequência
- – Ângulo
- Q – Vazão
- T – Diferença entre Tempos
- – Constante Exponencial
- I – Intensidade de Luz
- _{max} – Erro Introduzido Pelo Multiplexador

RESUMO

SANTOS, M. A. F. – Sistema de Coleta de Dados de Baixo Custo Utilizando Microcomputador IBM-PC, para Aplicação no Laboratório de Hidráulica do LARHISA-UFRN. Natal, 2003. Dissertação de Mestrado – UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Área de Concentração: Recursos Hídricos. Orientador: Prof. Dr. Arthur Mattos

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um produto de Hardware e Software, denominado SisMoS (Sistema de Monitoramento de Sensores), de baixo custo, que atendesse as necessidades de monitoramento automático de variáveis físicas do Laboratório de Hidráulica do LARHISA, através de sensores específicos, fornecendo ganho e conhecimento tecnológico, bem como aprimorando a realização de ensaios neste laboratório de forma automatizada. O produto desenvolvido atende também a necessidades de monitoramento em diversas áreas de atuação onde o uso de sensores permite a automação das atividades, mas devido aos altos custos de equipamentos e sensores necessários, que em sua grande maioria são produtos importados, acabam se tornando inviáveis.

ABSTRACT

SANTOS, M. A. F. – Low Cost Data Collect System Using IBM-PC Microcomputer, for Application in the LARHISA-UFRN's Hydraulics Laboratory. Natal, 2003. Master's Degree Dissertation – UFRN, Master's Degree Program in Sanitary Engineering, Concentration Area: Hydric Resources. Advisor Pro. Dr. Arthur Mattos

The objective of this work was to develop a low cost Hardware and Software product, that assisted the LARHISA's Hydraulics Laboratory needs of automatic physics's variables monitoring, using specific sensors, supplying earnings and technological knowledge, as well as improving the accomplishment of rehearsals in this laboratory in an automated way. The developed product also assists the monitoring needs in several areas, where the use of sensors allows the automation of the activities, but due to the high costs of necessary equipments and sensors, which are, in most of all, imported products, it will be unviable.

1. INTRODUÇÃO

A hidrologia, a hidráulica e os recursos hídricos em geral necessitam, para seus estudos de longas séries históricas, de dados das principais variáveis do ciclo hidrológico, quer seja para ajustá-la a séries estatísticas teóricas com o intuito de estimar valores de projeto, ou para estabelecer regimes de distribuição espaço-temporal destas variáveis, deparando-se com dificuldades que se apresentam em sua grande maioria, devido aos altos custos de equipamentos e sensores necessários à coleta de informações físicas, que normalmente são produtos importados, dificultando a realização de projetos, implicando na pequena quantidade de estações de monitoramento, de coleta, e armazenamento de dados, fundamentais para estudos mais consolidados, incluindo a elaboração, calibragem e validação de modelos.

O desenvolvimento de um sistema de monitoramento de variáveis de baixo custo, capaz de coletar dados de sensores nas mais diversificadas formas, pode contribuir significativamente para aumentar a qualidade e a produtividade dos trabalhos nas áreas correlatas a hidrologia, sistemas ambientais, etc., por permitir de modo efetivo e pelos custos reduzidos, uma maior demanda de dados, trazendo um avanço considerável aos produtos e resultados das pesquisas.

Portanto é de vital importância a implementação de um produto que represente um custo consideravelmente inferior aos existentes no mercado, e que atenda as necessidades mínimas previstas por pesquisadores e usuários.

Assim, a meta principal deste trabalho foi o de desenvolvimento de um sistema especialista para atuação em tempo real, que permita o monitoramento, análise e armazenamento de dados de sensores, virtualmente de qualquer natureza.

Os objetivos específicos são:

1) Desenvolver um sistema eletrônico de baixo custo para coleta de dados de variáveis hidro-meteorológicas.

2) Criar um software de coleta, monitoramento e armazenamento de dados.

3) Utilizar ferramentas de desenvolvimento comerciais (linguagens de programação) com interface gráfica para implementação do sistema, e oferecer como saída do sistema, um produto de simples assimilação, operação e manuseio, pelo usuário, bem como permitir que os dados obtidos como resultados do sistema de monitoramento possam ser facilmente importados para ferramentas de análise comerciais e comuns à comunidade científica.

O sistema foi desenvolvido no INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em sua unidade CRN (Centro Regional de Natal), para ser instalado no Laboratório de Hidráulica do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da UFRN, como uma unidade protótipo, e com o objetivo específico de permitir o monitoramento de dados de bombas e sensores de níveis, vazões, etc., instaladas neste laboratório.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – FUNDAMENTOS DE SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS

A Aquisição de Dados está presente hoje em praticamente todas as atividades do homem moderno, pela atuação dos mais diversos tipos de sistemas que coletam informações e auxiliam o processo de tomada de decisões.

O ser humano em si já constitui um complexo sistema de aquisição de dados, em que a partir de amostras de dados como cheiro, luz, sons, gostos, sensações, são tomadas decisões buscando tornar a vida mais favorável e conveniente. E além do próprio homem, são muitos os exemplos de sistemas de aquisição de dados: exames e diagnósticos médicos, medição de consumo de água e luz, pesquisas de opinião pública, todos esses e mais uma infinidade de exemplos caracterizam a importância dos sistemas de aquisição de dados.

E o avanço da tecnologia trouxe importantes desenvolvimentos na área de medição, introduzindo mudanças em praticamente todos os níveis: da construção de medidores à metodologia de medição, do planejamento das medições à análise dos dados, da organização dos resultados à sua divulgação, fomentando a que cientistas e profissionais venham projetando e utilizando Sistemas de Aquisição de Dados em suas pesquisas de laboratório, teste e medição e na automação industrial.

A aquisição de dados engloba métodos e dispositivos capazes de transformar informações do mundo real, preponderantemente analógicas, para o formato digital, com o qual os computadores trabalham. Um sistema de aquisição de dados é composto por um ou mais dispositivos de entrada gerando dados para um computador (ou uma rede de computadores), capaz de interpretá-los como grandezas físicas, requerendo para isto, um hardware e um software adequados.

2.1. DEFINIÇÃO DE SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

A maior parte dos sistemas eletrônicos tem em seu núcleo um processamento digital; desde os sistemas mais familiares como Televisão, Computadores Pessoais, Vídeo Cassetes, etc., até sistemas mais especializados em ambientes industriais e científicos.

A aquisição de dados consiste na medição de informações do mundo real, e desde que o mundo real e as medições de seus eventos são essencialmente de natureza analógica, há a necessidade de se usar dispositivos que convertam os sinais do mundo real para o domínio digital.

As quantidades físicas de interesse, podem ser várias como temperatura, umidade, velocidade, direção, pressão, nível, vazão, força, deslocamento, intensidade de luz, etc.

Para a medição das grandezas físicas se faz então necessária a utilização de elementos que possam converter a energia dessas grandezas em uma forma de energia aplicável e tratável pelos sistemas eletrônicos. As grandezas analógicas são freqüentemente aplicadas a sensores e transdutores que são elementos conversores das variáveis do mundo real em sinais elétricos, como tensão, corrente ou impedância.

A figura 2.1 mostra o processo de aquisição de dados:

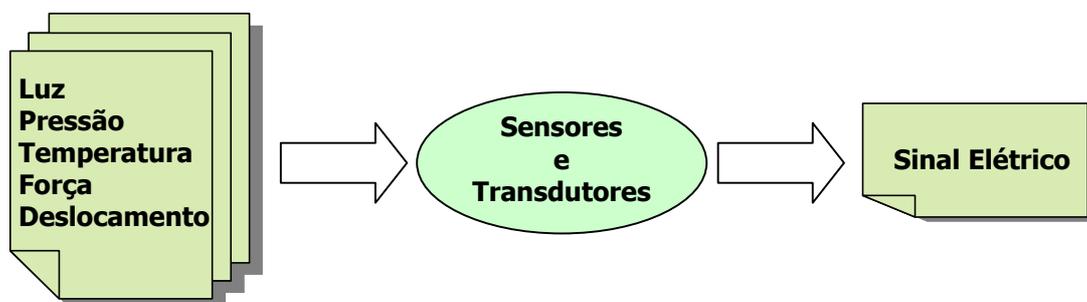


Fig. 2.1 – Processo de Aquisição de Dados

Além da medição propriamente, um sistema de aquisição de dados deve garantir que os dados coletados possuam uma relação de proporcionalidade aceitável com aquilo que se está medindo. Para tanto, além dos sensores e transdutores, um sistema de aquisição de dados deve possuir elementos que analisem e validem os dados coletados.

2.2. ARQUITETURA DOS SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Um sistema de aquisição de dados deve, portanto, medir, analisar e validar as informações adquiridas do mundo real. Para tanto, esses sistemas devem apresentar uma arquitetura onde os elementos se comunicam e se entendem mutuamente, interagindo entre si. Isso significa que um sinal gerado por um sensor ou transdutor pode ser analisado pelo condicionador de sinais que tem por função entregar um novo sinal, que se relaciona com o primeiro e pode ser tratado pelo conversor analógico-digital e assim sucessivamente (UNESB & FEB, 2001).

A figura 2.2 apresenta a arquitetura básica de um Sistema de Aquisição de Dados.

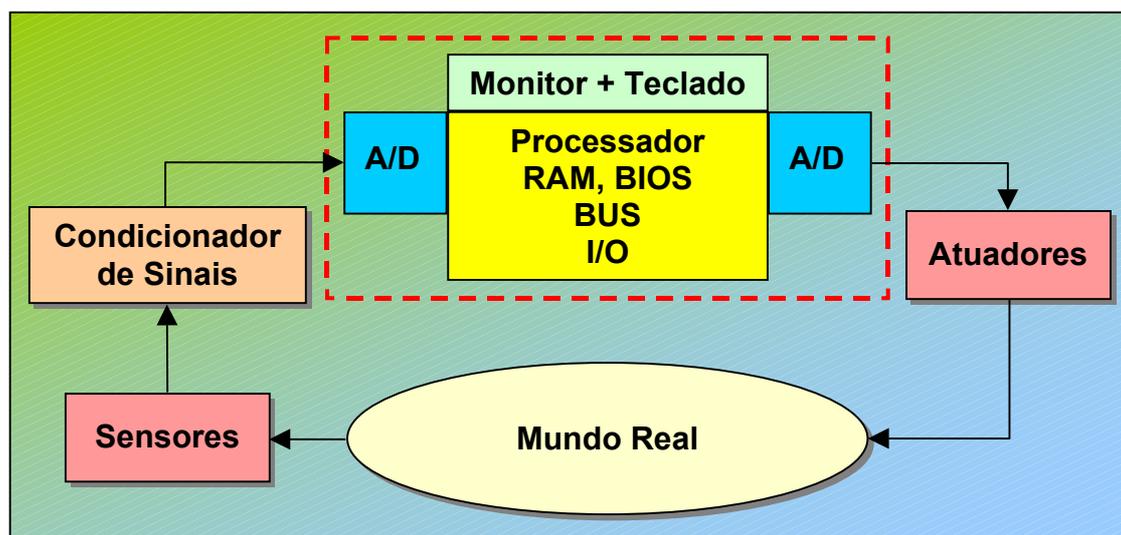


Fig. 2.2 – Arquitetura Básica de um Sistema de Aquisição de Dados

2.3. COMPONENTES DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Um sistema de aquisição de dados típicos é composto basicamente por (National Instruments , 1999):

- Sensores e Transdutores;
- Condicionadores de Sinais;
- Módulo ou Placa de Aquisição;
- Módulo Processador
- Software

A figura 2.3 mostra os principais componentes de um sistema de Aquisição de Dados

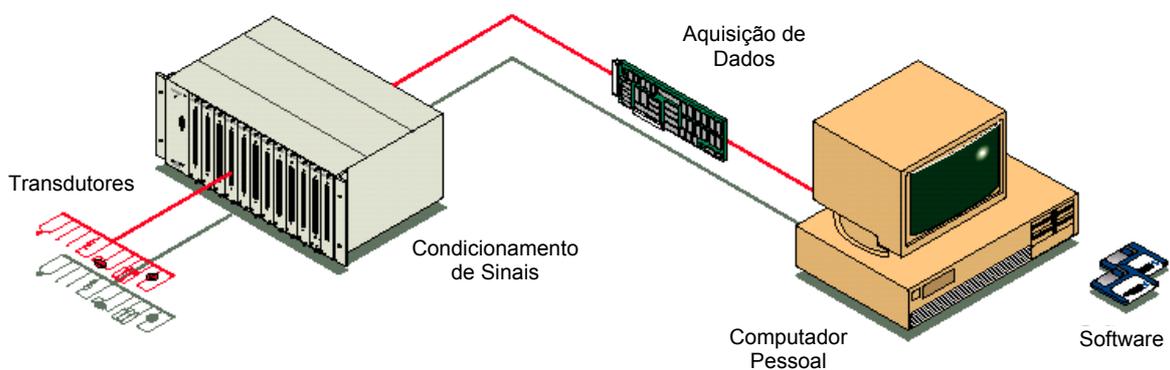


Fig. 2.3 – Componentes de um Sistema de Aquisição de Dados

2.4. SENSORES E TRANSDUTORES

Existe uma enorme variedade de sensores disponíveis para medição dos mais diversos parâmetros, sejam estes parâmetros aplicados à hidrologia, meteorologia, hidrografia, termodinâmica, mecânica, bio-medicina, sensoriamento remoto via satélite, etc., e utilizando as mais diversas tecnologias. A descrição detalhada de cada um destes sensores, ou mesmo de cada grupo de sensores ou tecnologia empregada, demandaria um tempo enorme, e sem a certeza de cobrir absolutamente todos os tipos e tecnologias, uma vez que a cada dia está surgindo uma nova técnica, ou aperfeiçoamento da tecnologia de sensores, e não é objetivo deste trabalho. Entretanto serão apresentados, os princípios de funcionamento dos tipos mais comuns de sensores, com enfoque naqueles a serem aplicados em um laboratório de hidráulica, que constitui a aplicação específica e imediata deste trabalho.

Será feito um estudo de alguns dos mais comuns tipos de sensores, utilizados e vendidos comercialmente, para a medição de grandezas físicas, com o objetivo de mostrar os princípios de conversão de grandezas físicas em sinais eletro-eletrônicos para aplicação em sistemas de monitoramento de dados.

Com esta apresentação dos princípios de funcionamento de alguns sensores, pretende-se fundamentar o entendimento das soluções tecnológicas empregadas na implementação do sistema desenvolvido e justificando a extensão de sua utilização para monitoramento e coleta de dados em qualquer aplicação onde grandezas físicas a serem analisadas possam ser medidas e convertidas para um sinal elétrico através da tecnologia de sensores.

Um sensor, em sua essência, é um elemento sensível a variações de uma determinada grandeza física, e assim podendo representar essas variações em uma forma que se manifesta pela modificação de suas características físicas, fornecendo diretamente ou indiretamente um sinal que indica esta grandeza

São características intrínsecas de sensores:

- Linearidade : o grau de proporcionalidade entre o sinal gerado e a grandeza física. Quanto maior, mais fiel é a resposta do sensor ao estímulo. Os sensores mais usados são os mais lineares, conferindo mais precisão ao sistema de medição. Os sensores não lineares são usados em faixas limitadas, em que os desvios são aceitáveis, ou com adaptadores especiais, que corrigem o sinal.
- Faixa de Atuação: o intervalo de valores da grandeza em que pode ser usado o sensor, sem comprometer a precisão.

Para o monitoramento e controle de processos eletrônicos baseados na leitura de sensores, se faz necessária à utilização de elementos sensores capazes de representar as variações da grandeza medida na forma de sinais elétricos que possam ser aplicados aos sistemas eletrônicos de controle e medição.

Assim será feita a seguir uma análise de alguns elementos que são capazes de converter variações de grandezas físicas em variações que possam ser aplicadas a sistemas eletrônicos.

2.4.1. SENSORES DE TEMPERATURA

Os materiais presentes na natureza são constituídos de agrupamentos de átomos. Cada um dos 92 elementos naturais da natureza é representado por um tipo particular de átomo. Os materiais normalmente não são puros, mais sim uma combinação de vários elementos que formam uma molécula. A análise de interações entre moléculas deve-se proceder sob o ponto de vista dos estados dos materiais: sólido, líquido e gasoso (Ferreira, 2002).

A medida da energia térmica média por molécula de um material, expressa em joules, poderia ser usada para definir energia térmica; mas isto não é tradicionalmente feito. Ao invés disso um conjunto especial de unidades, cujas origens estão contidas na história de medidas de energia térmica, é empregado para definir a energia térmica de um material, e são chamados de escalas de temperatura.

O objetivo dos sensores térmicos esta associado com a medida da energia térmica do material ou de um ambiente contendo diferentes materiais.

2.4.1.1. SENSORES RESISTIVOS

Um dos mais utilizados métodos de medida de temperatura mediante um sinal eletrônico se utiliza da propriedade de variação da resistência elétrica de certos tipos de materiais com a temperatura. O princípio consiste em colocar o dispositivo sensível a temperatura em contato com o ambiente no qual se deseja medir a temperatura. Assim, a medida de sua resistência indica a temperatura do dispositivo e conseqüentemente do ambiente. O tempo de resposta neste caso é importante porque é necessário que o dispositivo atinja o equilíbrio térmico com o ambiente. Neste método, dois dispositivos básicos mais comumente utilizados são:

- Detector RTD (do inglês, resistance-temperature detector)
- Termistores

2.4.1.1.1. DETECTOR RTD

Os RTD são simples elementos resistivos formados de materiais como platina, níquel, ou uma liga níquel-cobre. Estes materiais exibem um coeficiente de resistividade positivo e são usados em RTD's porque são estáveis e apresentam uma resposta a temperatura reprodutível por longo tempo.

Um RTD típico exibe uma característica resistência x temperatura dada pela expressão:

$$R = R_0 (1 + \mu_1 T + \mu_2 T^2 + \dots + \mu_N T^N) \quad (2.1)$$

Onde:

$\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N$ = são os coeficientes de resistividade de temperatura

R_0 = é a resistência do sensor na temperatura T_0 . (normalmente $T_0 = 0^\circ\text{C}$)

O número de termos relacionado na equação (2.1) para qualquer aplicação depende do material usado no sensor, do intervalo de temperatura, e da precisão desejada na medida. A característica de dependência resistência x temperatura para platina, níquel e cobre é mostrada na figura 2.4. Para um intervalo pequeno de temperatura, a equação (2.1) adquire uma forma linear expressa por

$$R/R_0 = \mu_1 (T - T_0) \quad (2.2)$$

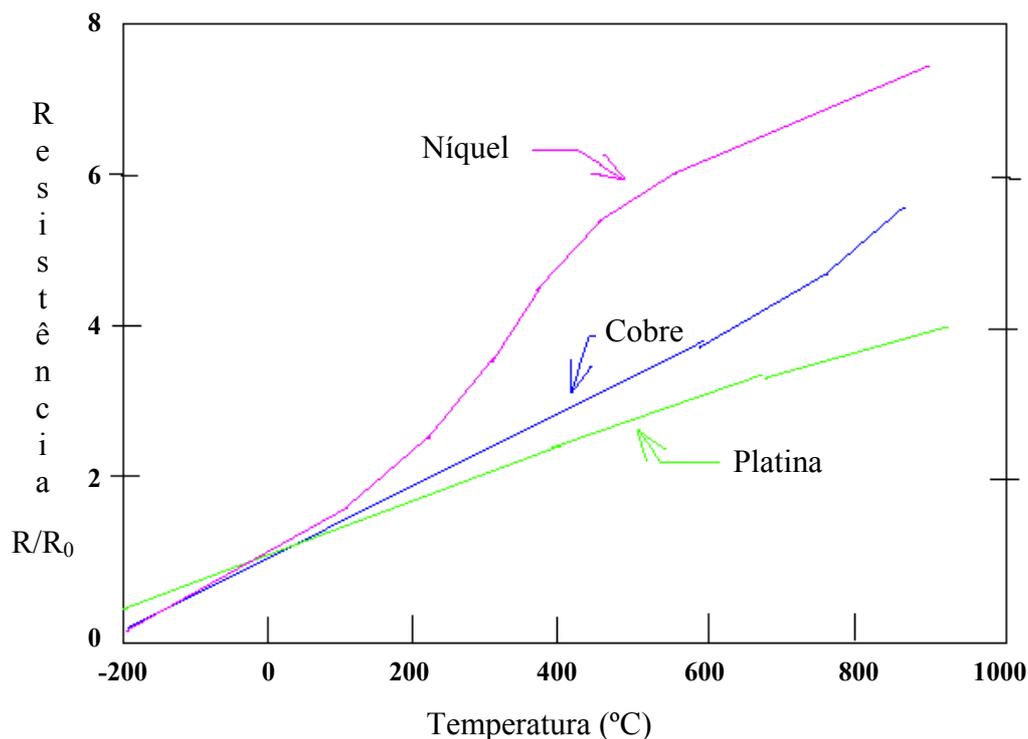


Fig. 2.4 – Características Resistência x Temperatura para Níquel, Cobre e Platina

Se uma precisão maior é exigida uma aproximação de segunda ordem é necessária, de maneira que a equação (2.1) torna-se

$$R = R_0 (1 + \mu_1 T + \mu_2 T^2) \quad (2.3)$$

A equação, embora mais complexa, fornece uma maior precisão para maiores intervalos de temperaturas .

Os elementos sensíveis disponíveis são muito variados. Um dos sensores mais utilizados consiste de fio de platina com alto índice de pureza, envolto em invólucro de cerâmica e hermeticamente selado em uma cápsula de cerâmica. O sensor de platina é utilizado pela sua precisão. Ele resiste a corrosão e contaminação, e suas propriedades mecânicas e elétricas se mantêm estáveis por longo período. O “ drift ” é normalmente menor que 0.1°C quando são utilizados no seu limite superior de temperatura.

Os sensores RDT são sensíveis às pressões aplicadas sobre os mesmos. Entretanto, a sensibilidade a tensões é pequena quando comparada com a sensibilidade à temperatura. A menos que os sensores sejam submetidos a fortes pressões, esta fonte de erro pode ser ignorada.

2.4.1.1.2. TERMISTORES

Os termistores são resistores sensíveis a temperatura, fabricados de material semicondutor, tais como óxido de níquel, cobalto, ou magnésio e sulfeto de ferro, alumínio ou cobre. Óxidos semicondutores, diferentes dos metais, podem exibir uma resistência que decresce com a temperatura, são os chamados NTC (do inglês, Negative Temperature Coefficient). A relação para um termistor deste tipo pode ser expressa por

$$\ln (R/R_0) = \beta (1/T - 1/T_0) \quad (2.4)$$

ou

$$R = R_0 \exp[\beta (1/T - 1/T_0)] \quad (2.5)$$

onde

R é a resistência do termistor na temperatura T

R₀ é a resistência do termistor na temperatura T₀

β é a constante do material (3000 - 5000 K)

A sensibilidade S do termistor é obtida da equação (2.5) como

$$S = \Delta R / (R \cdot \Delta T) = - \beta / T^2 \quad (2.6)$$

Para $\beta = 4000$ K e $T = 298$ K, a sensibilidade é igual a $-0.045/K$, que é cerca de uma ordem de grandeza maior que a sensibilidade de um sensor RDT de platina ($S=0.0035/K$).

A equação (2.5) indica que a resistência R de um termistor decresce exponencialmente com a temperatura. Uma curva de resposta típica de um termistor é mostrada na figura 2.5.

Desde que a saída do termistor é não linear, uma medida precisa de temperatura deve ser feita usando uma tabela de calibração. Esta linearidade pode ser melhorada pelo uso de circuitos linearizadores como por exemplo um resistor em série no caso de um termistor PTC, ou em paralelo para o NTC.

O intervalo de medida de temperatura com termistores na prática está limitado a 100°C , devido a estabilidade pobre do sensor quando submetido a altas temperaturas. A precisão na medida depende da técnica empregada para medida de $\Delta R/R$ e a calibração do sensor. Com o uso de uma técnica apropriada, temperaturas de 125°C podem ser medidas com uma precisão de $0,01^{\circ}\text{C}$, e o “drift” de longo termo melhor do que $0,003^{\circ}\text{C}/\text{ano}$.

Se o sinal de temperatura é lido através de um sistema de aquisição de dados, é mais adequado realizar a linearização da medida após a conversão analógico-digital no microprocessador. Para isto pode se utilizar a relação de Steinhart-Hart (Steinhart & Hart, 1968) que aproxima precisamente a equação (2.4), e é dada por:

$$1/T = A + B (\ln R) + C (\ln R)^3 \quad (2.7)$$

onde A , B , e C são constantes determinadas da curva de calibração do termistor;

R é a resistência do termistor em Ohms;

T é a temperatura em Kelvin

Vários tipos de termistores com vários tipos de formatos estão disponíveis comercialmente que varia de algumas dezenas de Ohms a vários MegaOhms.

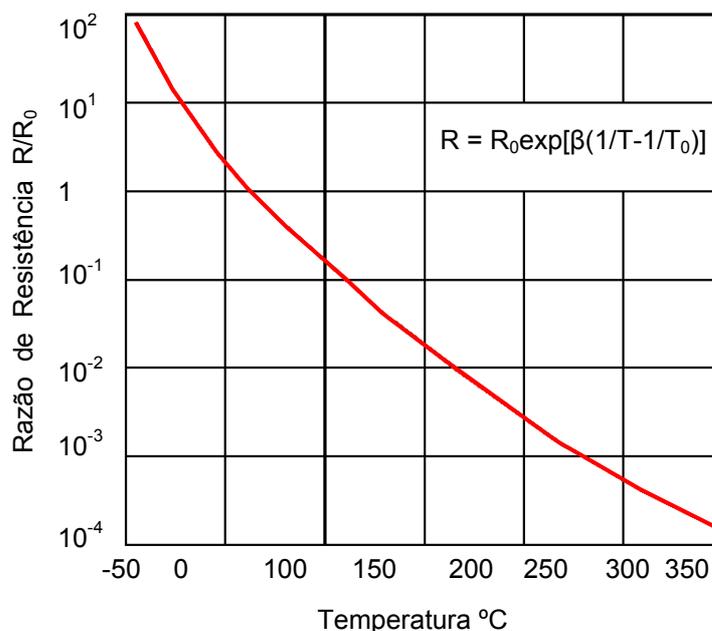


Fig. 2.5 – Resistência Como Função da Temperatura para Termistor Tipo NTC

2.4.1.2. TERMOPARES

Um termopar é um simples sensor de temperatura que consiste de dois materiais diferentes em contato térmico. O contato térmico, chamado de junção, pode ser feito pela fusão ou solda de dois materiais diferente. A figura 2.6a mostra um termopar de uma simples junção.

A operação de um termopar é baseada na combinação do efeito termoelétrico que produz uma voltagem quando duas junções são mantidas em temperaturas diferentes. O diagrama clássico de um circuito de um termopar de duas junções é mostrado na figura 2.6b, onde as junções J_1 e J_2 são mantidas nas temperatura T_1 e T_2

respectivamente. A voltagem termoelétrica é uma função não linear com a temperatura que pode ser representada por uma equação empírica na forma

$$V_0 = C_1 (T_1 - T_2) + C_2 (T_1^2 - T_2^2) \quad (2.8)$$

onde

C_1 e C_2 são constantes dielétricas que depende do material.

T_1 e T_2 são as temperaturas das junções

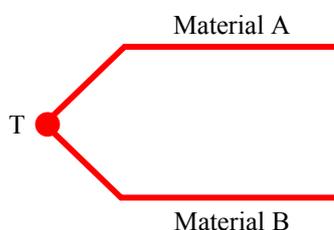


Fig. 2.6a – Termopar de Uma Simples Junção

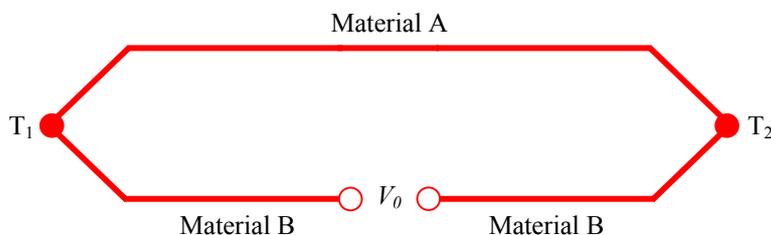


Fig. 2.6b – Circuito de Termopar para Medida da Diferença de Temperatura T_1-T_2

A geração da voltagem V_0 é devido ao efeito “Seebeck”, que é produzido pela difusão de elétrons através da interface entre os dois materiais. O potencial do material receptor de elétrons torna-se negativo na região de interface e o material doador torna-se positivo. Assim um campo elétrico é formado pelo fluxo de elétrons na interface. A difusão continua até que uma condição de equilíbrio seja alcançada pela ação do campo

elétrico. Desde que as forças de difusão são dependentes da temperatura, o potencial elétrico desenvolvido na junção é proporcional a medida desta temperatura.

Além do efeito “Seebeck”, dois outros efeitos termoelétricos básicos ocorrem no circuito do termopar, que são: Efeito “Peltier” e Efeito “Thompson”

O efeito Peltier ocorre quando passa um fluxo de corrente no circuito do termopar. Este efeito consiste na transferência de calor na presença da corrente i . Esta quantidade de calor, em watts é dada por

$$q_P = \pi_{AB} \cdot i \quad (2.9)$$

onde

q_P é a quantidade de calor transferida em watts

π_{AB} é o coeficiente de Peltier de A para B da junção AB

deve-se notar que a equação (2.9) é vetorial, isto é, o coeficiente de Peltier muda de sinal com o sentido da corrente. ($\pi_{AB} = -\pi_{BA}$). A figura 2.7 ilustra este efeito e seu comportamento dual.

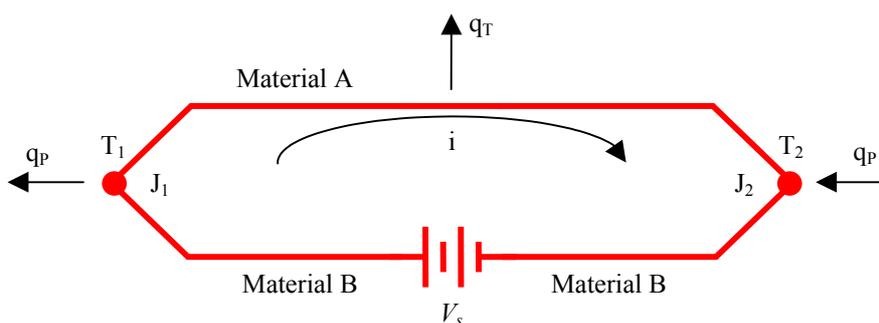


Fig. 2.7 – Transferência de Calor devido ao Efeito Peltier, q_P e ao Efeito Thompson, q_T

O efeito Thompson é o efeito termoelétrico que afeta o circuito do termopar. Novamente este efeito envolve a geração ou absorção de calor q_T sempre que existe um

gradiente de temperatura e há corrente num material. A figura 2.7 ilustra este efeito. A quantidade de calor transferida é dada pela equação

$$q_T = \sigma i(T_1 - T_2) \quad (2.10)$$

onde σ é o coeficiente de Thompson que depende do material condutor.

Ambos estes efeitos produzem voltagem equivalente na saída do circuito do termopar, constituindo erros que afetam a precisão da medida de temperatura, e portanto devem ser minimizados, limitando-se a corrente que flui através da junção durante a medida de v_0 .

O circuito de termopar da figura 2.6b é usado para medir uma temperatura desconhecida T_1 , enquanto a junção J_2 é mantida em uma temperatura referencial conhecida, T_2 . Desta forma é possível determinar a temperatura T_1 pela medida da voltagem v_0 . A experiência mostra que a equação (2.8) não é suficiente para representar com precisão a curva característica voltagem X temperatura de um termopar. Na prática utiliza-se tabelas ou um polinômio de alta ordem na forma

$$T_1 - T_2 = a_0 + a_1 \cdot v_0 + a_2 \cdot v_0^2 + \dots + a_n \cdot v_0^n \quad (2.11)$$

Materiais Termoelétricos

O efeito termoelétrico ocorre sempre em um circuito de termopar fabricado com dois metais diferentes; portanto uma grande quantidade de materiais são adequados para uso em termopares. Entretanto, estes materiais são selecionados tendo em vista algumas propriedades desejáveis quais sejam:

- Estabilidade de longo tempo (long-term stability) em temperaturas elevadas;
- Compatibilidade com a instrumentação disponível;

- Custo reduzido;
- Máxima sensibilidade sobre todo o intervalo de operação.

Os materiais mais comuns utilizados em termopares são apresentados na tabela 2.1.

Tab. 2.1 - Materiais Empregados nos Termopares Padrão.

Material Positivo	Material Negativo
Cromel	Constantan
Ferro	Constantan
Cromel	Alumel
Nicrosil	Nisil
Platina 13% Ródio	Platina
Platina 10% Ródio	Platina
Cobre	Constantan

A voltagem de saída v_0 em função da temperatura para alguns tipos mais comuns de termopar é mostrado na figura 2.8. Como se pode observar na figura, o termopar tipo E (Cromel-Constantan) gera uma saída maior para uma dada temperatura; entretanto, a sua maior temperatura de operação é de 1000 °C.

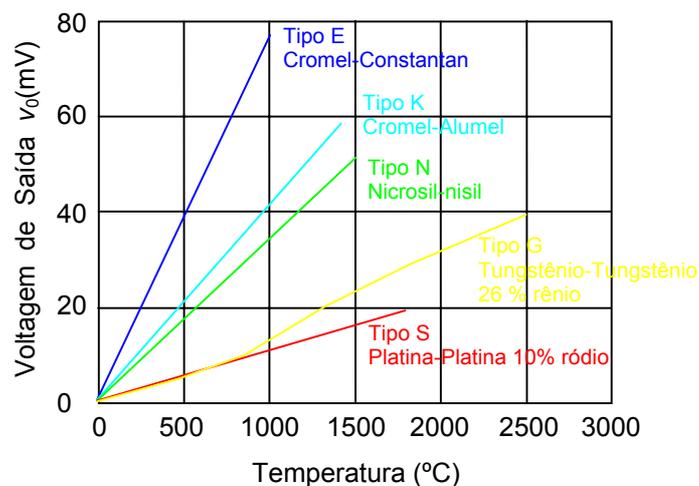


Fig. 2.8 – Voltagem de Saída v_0 Versus Temperatura T

A estabilidade de longo tempo (long-term stability) é uma propriedade importante do termopar se a temperatura deve ser monitorada por um longo tempo. Um tipo relativamente novo de termopar foi recentemente desenvolvido, tipo N (nicosil-nisil) que apresenta uma estabilidade termoelétrica bastante elevada. A instabilidade térmica de vários termopares padrões ocorre a partir de 100 a 1000 h de exposição à temperatura.

O erro mais importante introduzido pelos efeitos da instabilidade térmica é o gradual e acumulativo “drift” na voltagem de saída durante a longa exposição do termopar a temperaturas elevadas. Este efeito é devido a mudança na composição na junção causada pela oxidação interna e externa. O termopar tipo N foi desenvolvido para eliminar as oxidações internas e minimizar as oxidações externas.

2.4.1.3. OUTROS SENSORES TÉRMICOS

Existem outros tipos de sensores térmicos disponíveis no mercado. Dentre estes pode-se citar o sensor de temperatura semicondutor na forma de circuito integrado, que fornece normalmente uma saída em corrente proporcional a temperatura absoluta, quando uma voltagem entre 4 e 30 V é aplicado nos seus terminais. Este tipo de sensor de temperatura é um regulador de corrente constante sobre uma temperatura de -55 a 150 °C. O sensor apresenta uma sensibilidade de corrente nominal S_i de 1 $\mu\text{A/K}$.

O sensor de temperatura integrado é ideal para aplicações remotas uma vez que ele age como fonte de corrente constante e como resultado, a resistência dos fios de ligação não afeta a medida. Vários problemas encontrados nos sensores RTD, termistores e termopares não se verificam neste tipo de sensor.

2.4.2. SENSORES DE UMIDADE

A umidade é a quantidade de vapor d'água presente no ar atmosférico e pode ser descrita de várias maneiras, incluindo a "Umidade Relativa", que é o termo mais freqüentemente usado para informar a umidade. A Umidade Relativa é a quantidade de vapor d'água presente no ar comparado com a quantidade de vapor necessária para tornar o ar saturado na temperatura atual.

A quantidade de vapor d'água retida no ar é fortemente dependente da temperatura: quanto maior a temperatura, maior a capacidade de retenção. Se a mistura é continuamente resfriada, chega-se a um estado chamado "temperatura de saturação", ou "ponto de orvalho", onde qualquer redução da temperatura provoca uma condensação do vapor d'água (Güths & Vicente, 1998).

A umidade absoluta (ω), ou "umidade específica", é definida como a razão entre as massas de vapor d'água (m_v) e de ar seco (m_a).

$$\omega = m_v / m_a \quad (2.12)$$

A umidade relativa (ϕ), conforme já foi dito, é a forma mais usual de definir o teor de umidade do ar. Considerando uma mistura como sendo de gases ideais, ela pode ser definida como a razão entre a pressão parcial do vapor na mistura (p_v) e a pressão de saturação do vapor (p_{sat}) nessa mesma temperatura,

$$\phi = p_v / p_{sat} \quad (2.13)$$

ou seja, quando o ar está completamente saturado a sua pressão de vapor é a própria pressão de saturação ($\phi = 1$ ou 100 %).

Os sensores de Umidade Relativa devem ser capazes, por definição, de determinar a quantidade de vapor d'água presente no ar atmosférico.

Basicamente existem dois tipos de sensores de Umidade Relativa: primários (ou fundamentais) e secundários. Os sensores primários fazem a medida direta de algum fenômeno físico ou propriedade, e são baseados nos princípios termodinâmicos bem definidos tal como a condensação de vapor d'água como função da temperatura do ar e pressão atmosférica. Estes sensores são bastante precisos. Higrômetros de espelho, psicômetros de bulbo úmido e seco, sensores eletrolíticos e instrumentos gravimétricos são exemplos de sensores fundamentais.

Um sensor secundário mede as variações que ocorrem em suas próprias características como resultado da exposição a um fenômeno ou propriedade. Embora mais fáceis de usar e de custo inferior, os sensores secundários necessitam do projetista, quando da implementação específica de um sistema, o conhecimento de como o sensor opera e dos princípios básicos de umidade. Para uma atuação precisa, eles devem ser calibrados. Este tipo de sensor pode responder tanto a variações da umidade relativa quanto absoluta mediante a detecção de:

- variação no comprimento do material (princípio de operação do higrômetro de extensão);
- variação no peso (princípio de operação do higrômetro de absorção)
- variação na impedância ou capacitância (a maioria dos higrômetros eletrônicos)

Os sensores de umidade relativa secundários têm se tornado quase que universalmente utilizados em aplicações onde se requer a leitura de umidade relativa. Embora um sensor de umidade relativa seja aparentemente um dispositivo simples, para a sua operação adequada se faz necessária uma calibração detalhada, sendo altamente recomendável, principalmente pelo fato de que, infelizmente, não são todos os fabricantes que estão equipados para proceder a calibração na linha de produção onde o sensor é inserido ao produto final integrado. Assim para o uso de sensores de umidade

relativa deve-se observar um procedimento de calibração, para verificação se o produto responde as especificações do fabricante. Estes testes demandam tempo e adicionam custos ao produto final, e a sua complexidade inviabiliza suas aplicações na linha de produção. Uma maneira de resolver este problema é adquirir sensores calibrados de fábrica que não requeiram calibração subsequente pelo usuário final.

2.4.2.1. PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO

A seguir serão apresentados os princípios de operação de alguns tipos de sensores de umidade, primários e secundários.

2.4.2.1.1. PSICRÔMETRO DE BULBO ÚMIDO E SECO

É um sensor do tipo primário e é um dos instrumentos mais utilizados para medição da umidade, dado sua simplicidade e pelo fato de que, a priori, dispensa calibração. Nesse equipamento a mistura escoa ao redor de dois termômetros: um com o bulbo seco e outro com o bulbo úmido em água destilada. O termômetro de bulbo seco mede simplesmente a temperatura do ar. Já no de bulbo úmido ocorre o fenômeno de evaporação superficial, reduzindo a temperatura da mecha até a temperatura de saturação. A fim de garantir que a temperatura atingida seja realmente a de saturação, muitos parâmetros estão envolvidos: velocidade do ar, recomendado entre 3 e 5 m/s (Norma ASHRAE Standart 41.6), dimensões e textura da mecha, trocas radiantes, etc. A ventilação pode ser feita manualmente girando os termômetros (tipo reco-reco), ou forçada por ventilador, conforme mostra a figura 2.9.

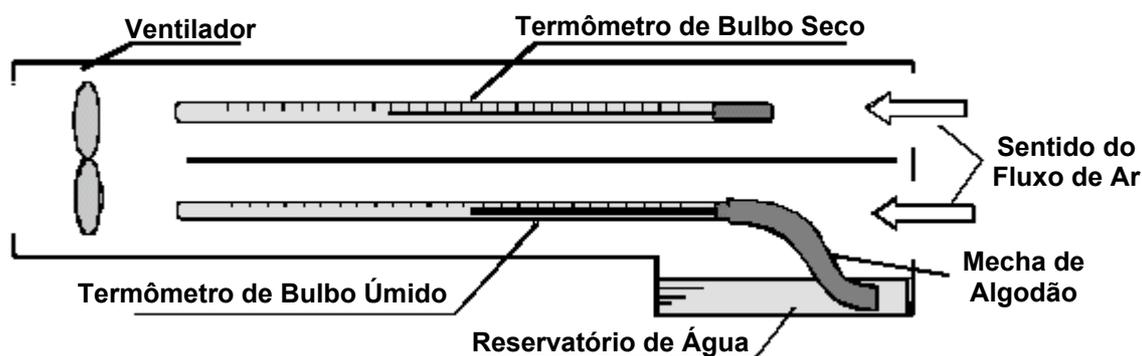


Fig. 2.9 - Psicrômetro de Bulbo Úmido e Seco

Apesar da simplicidade esse psicrômetro tem o inconveniente de necessitar uma constante monitoração do nível d'água, o que dificulta a automatização do sistema e seu uso por sistemas eletrônicos de monitoramento.

2.4.2.1.2. HIGRÔMETRO CAPACITIVO

O sensor de umidade é uma cápsula porosa (normalmente metálica) que varia a capacitância com a umidade relativa do ambiente. O sensor é excitado em frequência e a diferença de fase produzida pela capacitância do sensor é relacionada com a umidade (apresentando dependência com a temperatura ambiente). Trata-se de um sensor do tipo secundário, necessitando calibração prévia. A incerteza de medição é em torno de 1 %.

É o tipo de sensor mais utilizado a nível industrial. Contudo ele apresenta limitações na medição de umidades relativas elevadas (> 95%). Um fenômeno chamado absorção secundária provoca uma histerese de leitura, requerendo a exposição do sensor a ambientes com umidade inferior a 50 % por um período de 24 horas.

2.4.2.1.3. HIGRÔMETRO DE ESPELHO

Um módulo Peltier, também conhecido como módulo termo-elétrico, é constituído de um pequeno módulo do estado-sólido e funciona como uma bomba de calor. Quando uma corrente elétrica é aplicada o calor se move de um lado para o outro do dispositivo e é removido por um dissipador de calor.

Assim, com auxílio de um módulo Peltier, uma superfície espelhada é resfriada até o início da condensação: é a temperatura de saturação (ou ponto de orvalho). O início da condensação é relacionado com uma mudança da refletividade da superfície, detectada por sensores infravermelhos, como apresentado na figura 2.10.

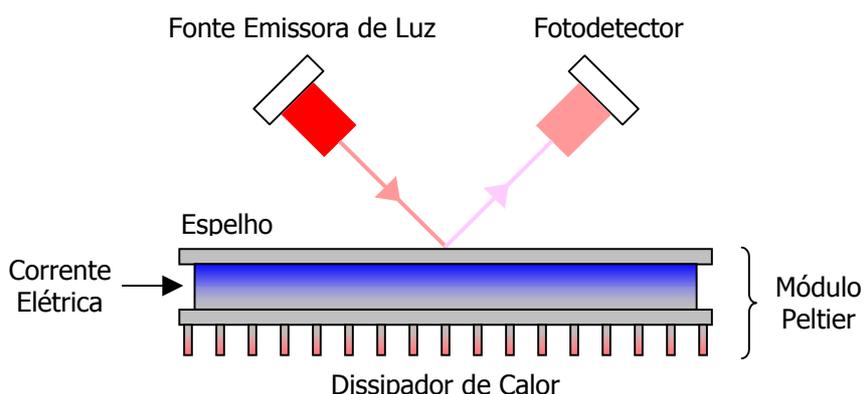


Fig. 2.10 - Higrômetro de Espelho

Trata-se de um método que, a priori, não necessita de calibração. Contudo o sistema deve ser capaz de detectar com precisão o momento exato de início da condensação. A incerteza prevista é da ordem de 0.5 %.

2.4.3. SENSORES DE NÍVEL

A medida de nível de líquidos e sólidos é feita através de sensores de níveis. A medida de nível é normalmente feita com o material contido em um reservatório ou um tanque. Existem várias técnicas de medição de nível, e alguns princípios de funcionamento serão apresentados a seguir.

A medida de nível pode ser discreta ou contínua. Na medição contínua, um transdutor sempre irá fornecer uma saída proporcional ao nível que se deseja medir. Já na medição discreta, o que se tem é no máximo uma indicação de uma faixa de presença do material que se deseja medir o nível. Dentro desta classificação encontram-se também as chaves de nível, que indicam se um determinado nível foi ou não atingido (Bortoni, 2001).

2.4.3.1. SISTEMA COM BÓIAS

Uma das técnicas mais comuns para medidas de nível, particularmente para líquidos, é a que utiliza um sistema de bóia-contrapeso, que consiste em transmitir a uma polia o movimento de uma bóia para cima ou para baixo com a mudança do nível do líquido, através de um cabo e um contrapeso. A polia é conectada a algum sistema de medida de deslocamento, tal como um ponteiro, uma pena, um potenciômetro ou um LVDT (Linear Variable Differential Transformer), como é mostrado na figura 2.11.

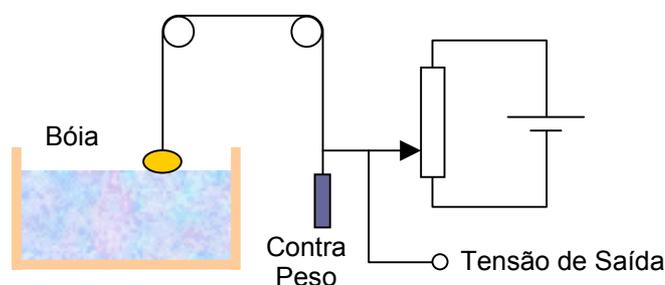


Fig. 2.11 - Medida de Nível por Sistema de Bóia

2.4.3.2. SISTEMAS ELÉTRICOS

Existem vários métodos estritamente elétricos para medida de nível. Por exemplo, um método pode usar a condutividade específica do líquido ou sólido para variar a resistência vista de uma ponta de prova inserida no material. Outra técnica comum é ilustrada na figura 2.12 onde dois cilindros concêntricos são inseridos no líquido. O nível do líquido cobre parcialmente o espaço entre os dois cilindros e o restante fica preenchido com ar. Nesta configuração o sistema funcionará como dois capacitores em paralelo, sendo um deles com uma constante dielétrica que é a do ar e o outro com a constante dielétrica do líquido. Desta forma, uma variação do nível do líquido causará uma variação na medida da capacitância elétrica entre os dois cilindros.

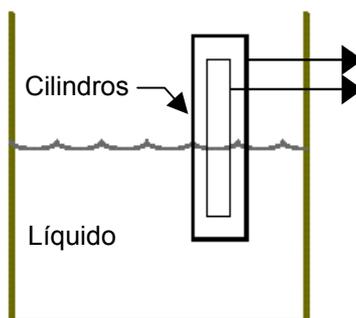


Fig. 2.12 - Medida de Nível Através de Dois Capacitores Concêntricos

Os sensores capacitivos têm sido atualmente largamente empregados para a medição de nível em líquidos e sólidos na forma granular ou de pó, sendo bastante adequados para medição em condições extremas, tais como em metais líquidos (alta temperatura), gases líquidos (baixas temperaturas), líquidos corrosivos (ácidos, etc.) e processos de alta pressão.

Configurações distintas para esses tipos de medidores, são usadas em função das características elétricas da substância em questão. Para substâncias não condutoras, ou seja, condutividade elétrica menor que $0,1 \mu\text{mho}/\text{cm}^3$, duas placas de metal em formato cilíndrico e concêntrico são imersas na substância, e esta se comporta como um

dielétrico entre as placas à medida que se aprofunda na substância. Como mostra a figura 2.13, para placas cilíndricas concêntricas de raios a e b ($b > a$) e altura total L , a profundidade da substância, h , é relacionada à capacitância pela seguinte expressão.

$$h = \frac{C \cdot \ln(b/a) - 2 \pi \epsilon_0}{2 \cdot \pi \cdot (\epsilon - 1)} \quad (2.14)$$

onde ϵ é a permissividade relativa da substância medida ($\epsilon > 2$) e ϵ_0 é a permissividade do vácuo.

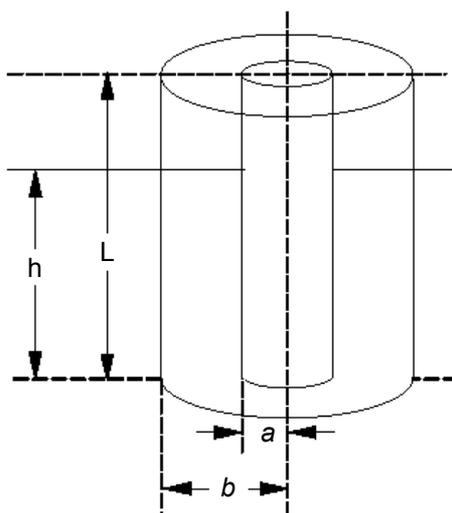


Fig. 2.13 – Placas Cilíndricas Para Medição de Nível

No caso de substâncias condutoras, a mesma técnica é empregada, com a diferença de que as placas do capacitor são revestidas por um material isolante. A relação entre C e h na expressão 2.14 deve, desta forma, ser modificada a fim de considerar o efeito dielétrico do isolante.

Os sensores capacitivos encontram as mais variadas aplicações, contudo, pode vir a ser impreciso se a substância a ser medida for contaminada com outros agentes que venham a modificar a sua constante dielétrica.

2.4.3.3. SISTEMA DE MEDIÇÃO DA PRESSÃO HIDROSTÁTICA

A pressão hidrostática oriunda de um fluido é diretamente proporcional à sua profundidade e, conseqüentemente, do nível da sua superfície. Vários instrumentos que usam este princípio estão disponíveis e são largamente empregados em indústrias, principalmente em ambientes químicos severos. No caso de tanques abertos, ou ainda quando existem tampas providas de ventanas, o nível pode ser medido através de um medidor de pressão apropriado montado na parte inferior do tanque ou suspenso.

Assim, conhecendo-se a densidade do material, a medida pode ser feita sem contato, baseando-se na relação bem conhecida entre a pressão na base de um reservatório e a altura do líquido. Esta pressão depende somente da altura do líquido e da densidade do líquido (massa por unidade de volume). Em termos de uma equação, se um líquido está contido em um reservatório, então a altura da base do reservatório a superfície do líquido pode ser expressa por

$$h = (p/g) \rho \quad (2.15)$$

onde

h = altura do líquido em m

ρ = densidade em Kg/m³

g = aceleração da gravidade (9.8 m/s²)

p = pressão em Pa (pascal)

Desta forma, utilizando a equação 2.15, e através de um sensor de pressão colocado na base do reservatório pode-se medir o nível do líquido. A figura 2.14 ilustra um sistema de medida de nível através de medida de pressão.

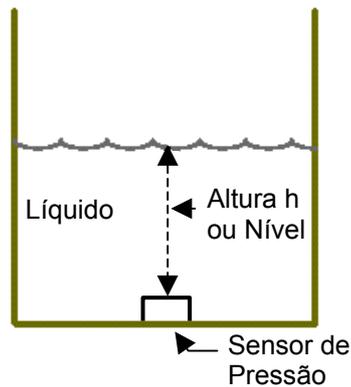


Fig. 2.14 - Medida de Nível Através de Um Sensor de Pressão

Quando o recipiente ou tanque é totalmente selado, o nível do fluido pode ser obtido através da pressão diferencial entre as partes inferior e superior do tanque. Neste caso, o nível será relacionado à diferença de pressão, Δp , segundo a seguinte relação.

$$h = (\Delta p/g)\rho \quad (2.16)$$

2.4.3.4. SENSORES POR VIBRAÇÃO

Este sensor consiste de dois osciladores piezoelétricos fixados dentro de um tubo gerando vibrações neste tubo à sua frequência de ressonância.

A frequência ressonante do tubo varia de acordo com a sua profundidade de imersão no fluido ou material. Um circuito eletrônico denominado PLL (Phase Locked Loop) é usado para acompanhar estas alterações e ajustar a frequência aplicada ao tubo pelo oscilador piezoelétrico. A medida do nível é obtida em função da frequência de saída do oscilador quando o tubo está em ressonância.

2.4.3.5. SENSORES CONDUTIVOS

Este tipo de sensor é particularmente aplicável à medição de nível em fluidos condutivos (condutância igual ou maior que $50\mu\text{S}$), não corrosivos e sem partículas em suspensão.

A sonda é formada por dois eletrodos cilíndricos, ou apenas um, quando a parede do reservatório for metálica. O sistema é alimentado por uma tensão de baixo valor ($\sim 10\text{V}$), alternada, a fim de evitar a polarização dos eletrodos.

Em medições contínuas, a sonda é colocada verticalmente e é tão profunda quanto se deseja monitorar a variação de nível. A corrente elétrica circulante é proporcional à parcela do eletrodo imersa no fluido condutivo.

Em aplicações de medições pontuais, operação como chave e detecção de nível, posiciona-se a sonda horizontalmente em relação à superfície do fluido, resultando em uma corrente elétrica de amplitude constante e estável, tão logo o nível atinja a sonda.

2.4.3.6. SENSORES ULTRA-SÔNICOS

O sistema de medição de nível por ultra-som é baseado no princípio de que a energia sonora de uma fonte ultra-sônica emitida sobre uma superfície é refletida a partir desta para um detetor.

Sendo assim, pode-se inferir sobre o nível de sólidos ou líquidos, medindo-se o tempo gasto na reflexão do pulso ultra-sônico na superfície do material desde a sua emissão até a sua recepção. Neste caso deve ser tomado um cuidado especial em se considerar a variação da velocidade do som no ar em função da temperatura, cuja sensibilidade é da ordem de $0,607 \text{ m/s}/^\circ\text{C}$.

Esta técnica de medição de nível é bastante favorável, a medida que os elementos sensores não necessitam entrar em contato com o material.

Um outro método é fundamentado na variação da frequência recebida em relação à enviada para se obter o nível. Neste caso, a influência da temperatura fica praticamente anulada. A figura 2.15 ilustra este método.

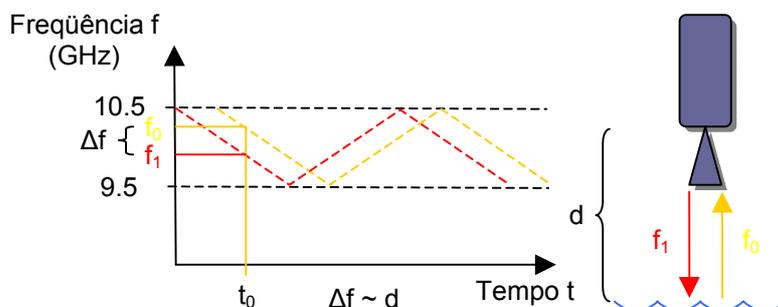


Fig. 2.15 – Medição de Nível a Partir da Variação da Frequência do Sinal Ultra-Sônico

Uma outra alternativa é colocar-se a fonte ultra-sônica no fundo do tanque e medir-se o tempo de trânsito entre a emissão e reflexão na superfície do líquido e retorno ao fundo. Tal técnica é particularmente interessante quando se deseja determinar a interface (transição) entre líquidos imiscíveis ou líquidos/precipitados.

A figura 2.16 mostra essa técnica

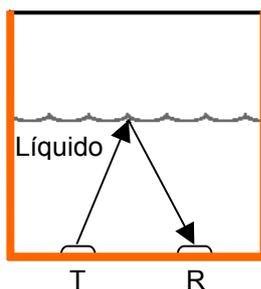


Fig. 2.16 – Medição de Nível Utilizando Ultra-Som Com Sensor Imerso

2.4.4. SENSORES DE PRESSÃO

Por definição, a pressão é a relação entre a força normal aplicada a uma superfície e a área desta superfície. A pressão pode ser apresentada na forma de pressão absoluta, ou seja, com relação à pressão zero absoluto, ou na forma denominada pressão manométrica, que é em relação à pressão atmosférica no local da medição. A figura 2.17 apresenta as escalas de referência para medidas de pressão (Bortoni, 2001).

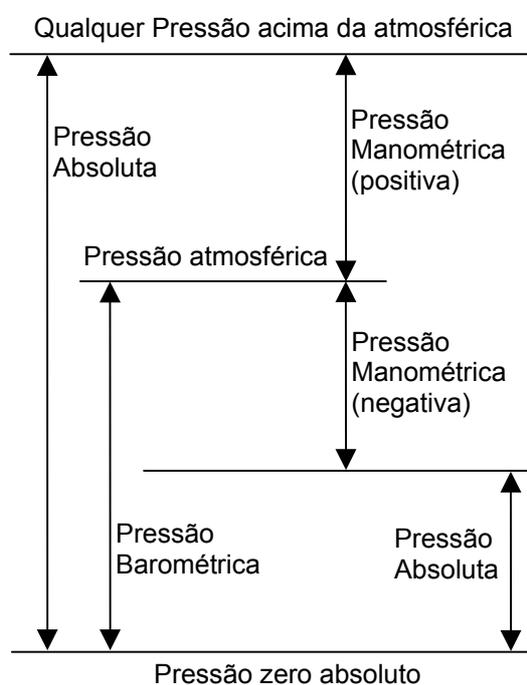


Fig. 2.17 - Escalas de Referência Para Medidas de Pressão

De forma geral têm-se:

$$\text{Pressão absoluta} = \text{Pressão Barométrica} \pm \text{Pressão Manométrica} \quad (2.17)$$

Como a definição de pressão emprega o conceito de força, muitos medidores e transdutores de pressão partem da medição da força sobre um elemento de determinada área.

Serão apresentadas a seguir algumas técnicas de medição de pressão.

2.4.4.1. MANÔMETRO DE COLUNA

Há séculos que se conhecem métodos mecânicos de medição de pressão. Os manômetros de tubo em U, foram os primeiros indicadores de temperatura. Originalmente, estes tubos eram feitos de vidro e as escalas eram adicionadas conforme necessário.

O manômetro de coluna consiste de um tubo de vidro, normalmente em formato de U, contendo em seu interior um fluido específico para cada aplicação, denominado fluido manométrico. Quando se deseja medir pressão absoluta, a pressão desconhecida é aplicada em uma extremidade, fazendo-se vácuo entre a outra extremidade selada e o fluido. Quando este manômetro é utilizado para medir pressão manométrica, ambas as extremidades do tubo serão abertas, estando a outra exposta à pressão atmosférica. Este manômetro também pode ser usado para medir diferenças de pressão, denominada pressão diferencial, aplicando-se pressões desconhecidas em ambas as extremidades. A figura 2.18 ilustra as medidas de pressão utilizando-se manômetro de coluna.

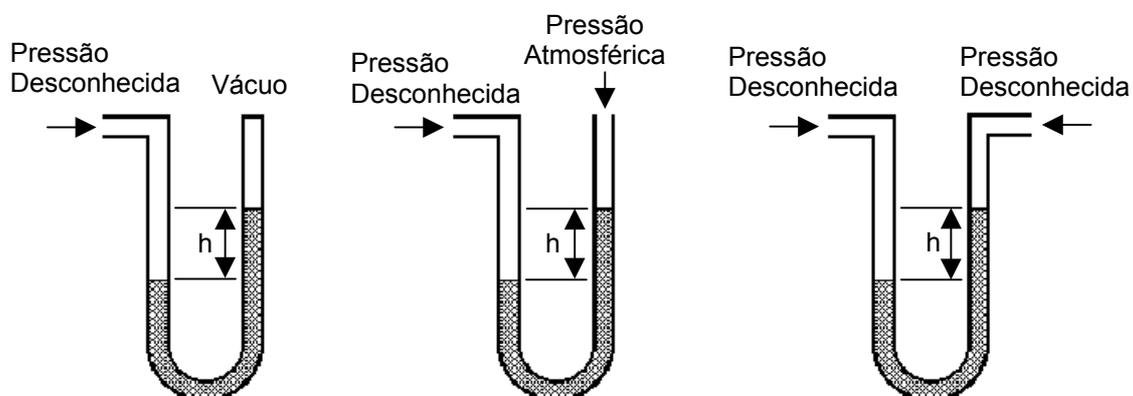


Fig. 2.18 – Manômetro de Coluna

A diferença entre as pressões aplicadas nas extremidades do manômetro está relacionada com a diferença da altura - h - entre os níveis do fluido através da expressão:

$$P_1 - P_2 = \rho \cdot g \cdot h \quad (2.18)$$

Onde

ρ é a massa específica do fluido;

g é a aceleração local da gravidade (m/s^2).

Mas os manômetros são grandes, tornando-se inconvenientes, e impróprios à integração em sistemas automáticos. No entanto, os manômetros encontram-se usualmente nos laboratório, ou são usados como indicadores locais. Dependendo da pressão de referência usada, podem indicar pressões absolutas, atmosféricas e diferenciais.

2.4.4.2. MANÔMETRO DE BOURDON

O manômetro de Bourdon é um transdutor de pressão empregando um elemento flexível (diafragma), sendo seu emprego bastante comum no meio industrial. Consiste basicamente de um tubo metálico flexível, achatado e curvado em forma de "C", aberto em uma extremidade e selado na outra, com tomada de pressão em uma das extremidades.

Ao aplicar uma pressão no interior do tubo a força gerada na superfície (área) exterior do "C" é maior que a força gerada na superfície interior, de modo que o tubo se deforma havendo uma deflexão da extremidade. Esta deflexão é uma medida da pressão

aplicada, podendo-se transferir a um ponteiro indicador ou a um sistema de variação de resistência ou campos eletromagnéticos.

Os diafragmas são populares entre os elementos primários e flexíveis de pressão, porque requerem menos espaço e porque o movimento (ou força) que produzem, é suficiente para operar transdutores eletrônicos, e estão também disponíveis numa grande variedade de materiais para processos corrosivos.

Freqüentemente utilizam-se termos como medidor, sensor, transdutor e transmissor de pressões. O termo medidor de pressão refere-se usualmente a um indicador que converte a pressão detectada num movimento mecânico de um ponteiro. Um transdutor de pressão pode combinar o elemento primário de um medidor com um conversor elétrico/mecânico ou mecânico/pneumático e um fornecimento de potência. Um transmissor de pressão é um conjunto padronizado de medição de pressão que consiste em três componentes básicos: um transdutor, seu fornecimento de potência e um condicionador/retransmissor de sinal que converte o sinal do transdutor numa saída padronizada.

2.4.4.3. TRANSDUTORES DE PRESSÃO

Com a automação dos sistemas de controle, passaram a ser comuns os transdutores de pressão, e o diafragma não esteve mais que estar ligado a um ponteiro mas servia para converter a pressão do processo num sinal, elétrico ou pneumático. De início, o acoplamento mecânico era ligado a um transmissor pneumático de pressão, que geralmente gerava um sinal de saída para a transmissão entre distâncias de várias dezenas de metros. Mais tarde com a evolução da eletrônica, e o aumento das distâncias de transmissão, os transmissores de pressão tornaram-se eletrônicos. Os primeiros sinais de saída foram 10-50mV, 1-5mV e 0-100mV, mas depois passaram estar compreendidos entre 4-20mA.

A metrologia de pressão é a tecnologia de transformação da pressão em uma quantidade elétrica, onde normalmente um elemento diafragma é usado com “*strain gauges*” atuando como elementos resistivos. Com a deformação provocada pela pressão o valor resistivo varia.

A seguir serão apresentadas algumas tecnologias empregadas na construção de transdutores de pressão.

2.4.4.3.1. TRANSDUTORES DE RELUTÂNCIA VARIÁVEL

Um transdutor de pressão de relutância variável consiste de um diafragma sensor de pressão e duas bobinas. As bobinas são enroladas em série e são montadas de modo que seus eixos estejam normais ao plano do diafragma. Preso entre as bobinas, o diafragma é livre para se mover em resposta a uma pressão diferencial.

Nesta configuração eletrônica denominada meia ponte, as bobinas são alimentadas com tensão alternada, tipicamente 5V a uma frequência de 3 a 5 kHz. As bobinas são combinadas de modo que suas impedâncias sejam aproximadamente iguais. Quando uma diferença de pressão é aplicada ao sensor, o diafragma deflete indo de uma bobina para a outra. Como o material do diafragma possui alta permeância magnética, a sua proximidade com uma bobina aumenta a densidade de fluxo magnético ao seu redor.

O aumento do campo magnético em torno de uma bobina aumenta a sua indutância e, por conseguinte, a sua impedância. Ao mesmo tempo, a bobina oposta tem sua impedância diminuída. A variação nas impedâncias desequilibra a meia ponte e um pequeno sinal AC surge em sua saída.

A variação da impedância da bobina é diretamente proporcional à posição do diafragma, de modo que a amplitude do sinal é diretamente proporcional à pressão aplicada. A fase do sinal de saída em relação ao de entrada é determinada pela direção

do movimento do diafragma. A saída do circuito de relutância variável em seu fundo de escala é da ordem de 20mV/V ou mais.

2.4.4.3.2. TRANSDUTORES CAPACITIVOS

Na tecnologia capacitiva, o diafragma é uma das placas de um capacitor que varia sua capacitância sob a ação da pressão.

Os sensores capacitivos são encontrados em configurações típicas, normalmente em um encapsulamento compacto contendo duas superfícies metálicas paralelas e eletricamente isoladas, uma das quais sendo um diafragma capaz de flexionar a uma dada pressão aplicada. O diafragma deve ser construído com material de baixa histerese ou ligas de vidro e cerâmica. Estas duas superfícies, que se comportam como as placas do capacitor, são montadas de modo que a uma pequena flexão mecânica, causada pela aplicação de uma pressão, altera o espaço entre elas criando o efeito de um capacitor variável. A alteração da capacitância deve ser detectada por um circuito comparador bastante sensível e amplificado para sinais proporcionais de alto nível.

Sabe-se que a capacitância de um capacitor de placas planas e paralelas pode ser expressa em função da área (A) da placa e da distância (d) que as separa como:

$$C = \epsilon \cdot A/d \quad (2.19)$$

Onde ϵ é a constante dielétrica do meio existente entre as placas do capacitor.

Se for considerado que pelo menos uma das placas esteja fixa e que a outra sofra deflexão em função da pressão submetida, resulta em uma variação da distância entre as placas e, em última análise, da capacitância do elemento. Sendo assim, ao submeter este sensor a uma ponte de corrente alternada, pode-se detectar a variação da pressão como uma função da variação da capacitância do sensor.

Como a variação da capacitância reflete a diferença de pressão entre os dois lados do capacitor, pode-se usar termos como Pressão Absoluta, onde a referência é o vácuo (figura 2.19a), Pressão Relativa, onde a referência é a pressão atmosférica (figura 2.19b), ou Pressão Diferencial, onde o sensor possui duas tomadas de medidas para duas diferentes pressões (figura 2.19c).

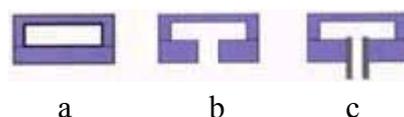


Fig. 2.19 – Configurações de Transdutores Capacitivos

2.4.4.3.3. TRANSDUTORES PIEZORESISTIVOS

Este tipo de transdutor de pressão, também chamado de Transdutor de Célula de Silício, consiste de um diafragma fabricado a partir de estruturas microeletrônicas piezoresistivas de silício.

Os sensores piezoresistivos são sensores integrados, do estado sólido, também denominados sensores monolíticos (formados de um único cristal de silício) ou, simplesmente, sensores de silício.

O princípio de funcionamento destes sensores baseia-se no fato de que uma pressão aplicada à estrutura disposta em uma configuração eletrônica denominada “*Ponte de Wheatstone*”, provoca uma deformação tal que dois resistores aumentam sua resistência e dois diminuem, diretamente proporcional ao aumento ou decréscimo da pressão aplicada.

A figura 2.20 ilustra a construção de transdutores piezoresistivos.

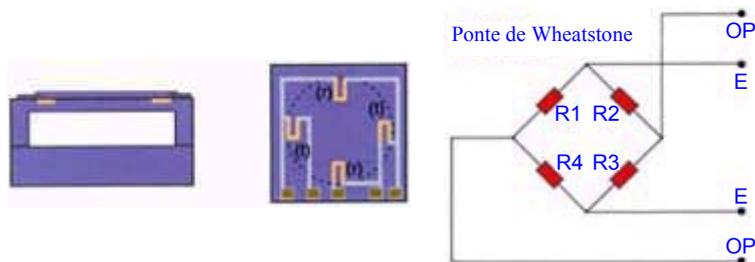


Fig. 2.20 – Transdutores Piezoresistivos

2.4.4.3.4. TRANSDUTORES BASEADOS EM CRISTAIS

Um dos fenômenos de grande importância utilizados na construção de sensores de pressão baseados em cristais é o fenômeno piezoelétrico, que ocorre quando ao aplicar-se uma força de compressão ou extensão em um material, dá-se origem a um sinal elétrico (Q). A carga obtida é diretamente proporcional a esta força.

$$Q = c \cdot F \quad (2.20)$$

onde:

c é a constante piezoelétrica;

F a força aplicada.

Para o quartzo, $c = 2,32 \cdot 10^{-12}$ Coulomb/Newton. Nestes sensores, a máxima pressão admissível é 95 hBars para o quartzo e 80 hBars para o titânio de bário.

Outros sensores se baseiam nas características de certos cristais que alteram a sua frequência natural de oscilação em função da intensidade da força a que são expostos.

A compressão axial de um cristal de quartzo diminui a sua frequência de ressonância de 40 kHz, à pressão nula, para 36 kHz, para uma pressão correspondente à

característica nominal do sensor. A frequência de oscilação f está ligada à pressão P por uma relação da forma:

$$P = A(f_0 - f) - B(f_0 - f)^2 \quad (2.21)$$

onde:

f_0 é frequência de oscilação à pressão nula.

A e B são coeficientes característicos do cristal.

2.4.4.4. TRANSMISSORES DE PRESSÃO

Como já foi citado anteriormente, um transmissor de pressão é um conjunto padronizado de medição de pressão que consiste em três componentes básicos: um transdutor, seu fornecimento de potência e um condicionador/retransmissor de sinal que converte o sinal do transdutor numa saída padronizada, ou seja, um circuito de condicionamento de sinal é integrado no mesmo invólucro, e a saída de sinal é fornecida em padrões de 0...100mV; 0...10V; 0,5...4,5V; e 4-20mA; e alguns incorporam, inclusive, circuitos eletrônicos que permitem a apresentação numérica em display do valor da medida, encontrando larga aplicação na indústria.

A figura 2.21 ilustra uma construção típica de transmissores de pressão.

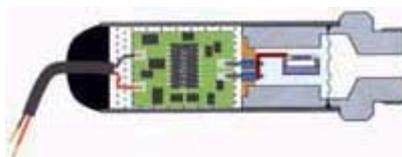


Fig. 2.21 – Transmissor de Pressão

2.4.5. SENSORES DE VAZÃO

Existem diversos métodos e instrumentos utilizados para medição de vazão em condutos sob pressão e canais artificiais ou naturais, dentre os quais destacam-se os tubos de Pitot, Plandtl, Darcy, Darcy-Cole e Recknagel e os molinetes e micro-molinetes. Com o desenvolvimento tecnológico dos transdutores de pressão e dos sistemas automáticos de aquisição e tratamento de dados, algumas tecnologias foram desenvolvidas, e outras estão em desenvolvimento, de modo a permitir a medição de vazão.

2.4.5.1. MEDIDOR ULTRA-SÔNICO

Os medidores de vazão que empregam a tecnologia de ultra-som, são atualmente dos mais utilizados, principalmente para aplicações em sistemas de monitoramento eletrônico automático.

O princípio de funcionamento desses medidores se baseia na propagação das ondas acústicas ou vibrações de uma frequência acima de 20KHz nos meios, no caso um fluido em escoamento.

Diferentes princípios físicos podem ser utilizados para medição de velocidades de escoamentos, os quais permitirão determinar a velocidade média, e pelo princípio de conservação da massa, a vazão. Dentre estes princípios destacam-se o Doppler e o de Tempo de Trânsito.

2.4.5.1.1. MEDIDOR ULTRA-SÔNICO POR EFEITO DOPPLER

Medidores de vazão ultra-sônicos por efeito Doppler, operam baseados no efeito que leva o nome do físico e matemático austríaco Christian Johann Doppler (1803-1853) (efeito Doppler), onde uma frequência transmitida é alterada linearmente

quando refletida por bolhas e partículas em suspensão no fluido. O resultado líquido é uma frequência deslocada entre o transmissor e o receptor, que pode ser relacionada diretamente com a vazão.

Para usar o efeito Doppler na medida de vazão em uma tubulação, um emissor transmite um sinal de ~0,5 MHz na corrente do fluido. O Líquido fluindo na tubulação deve conter materiais refletores sonoros como partículas sólidas ou bolhas. O movimento deste material altera a frequência do sinal refletido e recebido por um receptor. O desvio de frequência é linearmente proporcional a vazão de material na tubulação e pode ser usada para desenvolver um sinal analógico ou digital proporcional a vazão.

A figura 2.22 ilustra um medidor Doppler.

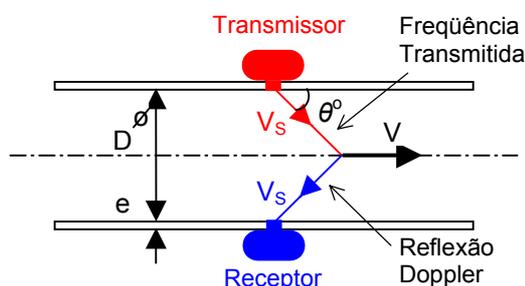


Fig. 2.22 - Medidor Doppler

As equações básicas que definem o medidor de vazão por efeito Doppler são:

$$\Delta f = (v_E \cdot f_T \cos \theta) / V_s \quad (2.22)$$

e:

$$Q = (\pi D^2 V_s / 4 \cos \theta) \cdot \Delta f / f_T = K \Delta f \quad (2.23)$$

Onde:

v_E é a velocidade média de escoamento

Δf é a diferença de frequência a ser medida

V_s é a velocidade do som no fluido

f_T é a frequência do transmissor

θ é o ângulo de f_T com a direção do escoamento.

D é o diâmetro da tubulação

K é o fator de calibração

Q é a vazão

Uma limitação deste medidor é o fato do fluido em escoamento ter que conter um número limitado de partículas em suspensão, normalmente no intervalo $0 < n_p (\% V) \leq 1$. Caso este número seja maior, a faixa de ruídos aumenta ocasionando maior imprecisão na medida da frequência da onda refletida.

Uma outra configuração possível é montar o transmissor e o receptor no mesmo invólucro, colocando-o em um dos lados da tubulação. Os refletores no fluido retornam o sinal transmitido para o receptor com um desvio de frequência proporcional a velocidade de escoamento, como no caso anterior onde o transmissor e o receptor são montados separadamente em lados opostos da tubulação.

2.4.5.1.2. MEDIDOR ULTRA-SÔNICO POR TEMPO DE TRÂNSITO

Os medidores de vazão ultra-sônicos por tempo de trânsito, como o nome diz, medem a diferença no tempo de trânsito de pulsos de ondas acústicas transmitidos no sentido do fluxo e contrário ao mesmo. São usados dois transceptores (transmissor/receptor), montados externa ou internamente a tubulação, um contrário ao outro, cada um agindo como transmissor e receptor para o sinal ultra-sônico.

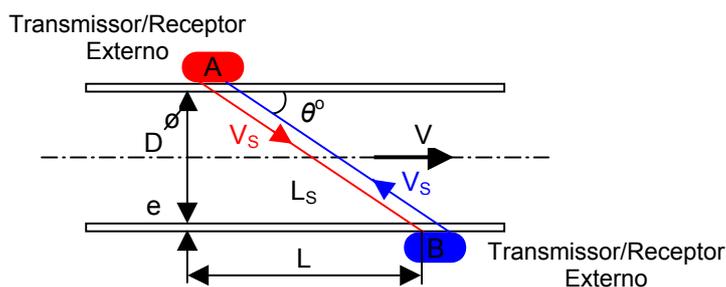


Fig. 2.23 – Medidor Ultra-Sônico Por Tempo de Trânsito

A velocidade média do fluido, pela figura 2.23, será dada por:

$$v = (\Delta T/t^2) \cdot (L/2\cos\theta) \quad (2.24)$$

onde:

t é o tempo médio;

ΔT é a diferença entre os tempos de trânsito nos dois sentidos.

A equação (2.24) mostra que a velocidade de escoamento do líquido é diretamente proporcional a medida da diferença entre os tempos de trânsito nos sentidos direto e contrário. Conhecendo-se a área da seção transversal do tubo obtêm-se a vazão pelo produto desta área pela velocidade:

$$Q = v \cdot \pi R^2 \quad (2.25)$$

Onde R é o raio da seção transversal.

Os medidores ultra-sônicos têm sido usados com sucesso para certas medidas de vazão em canais abertos em conjunto com barragens ou seções artificiais. O transceptor é instalado acima no canal, transmitindo pulsos abaixo na superfície do líquido no canal. Os pulsos são refletidos de volta e o tempo de trânsito pode ser relacionado com a altura do líquido no canal. Essencialmente, esta é uma aplicação de medida de nível com ultra-

som. Entretanto, relacionando o nível do canal com a velocidade na barragem ou seção artificial, o sistema de medida pode fornecer uma medida volumétrica do fluxo, ou seja, a vazão.

2.4.5.2. MEDIDOR ELETROMAGNÉTICO

Os medidores de vazão eletromagnéticos se baseiam na lei de Faraday que para o caso de escoamentos pode ser assim enunciada: *"Todo objeto condutor em movimento, no caso a água escoando com velocidade v no interior de um tubo de diâmetro D , dentro de um campo magnético de intensidade B , dá origem a um campo elétrico de força eletromotriz E , tal que:"*

$$E = D \cdot v \cdot B \quad (2.26)$$

Considerando a velocidade média do escoamento resulta:

$$Q = (\pi D/4B) \cdot E \quad (2.27)$$

ou

$$Q = k \cdot E \quad (2.28)$$

2.5. CONDICIONAMENTO DE SINAIS

Como mostrado na seção 2.4., existe uma grande variedade de sensores para transformar as várias grandezas físicas, necessárias a um sistema automático de medidas e controle, o que por consequência produz um igual número de sinais com características diferentes. Portanto se faz necessária uma compatibilização destes sinais gerados pelos diversos tipos de sensores, com os padrões de entrada dos sistemas de coleta automática de dados e controle de processos. Este interfaceamento, com o objetivo de adequar os sinais, é denominado condicionamento de sinais.

O sistema desenvolvido neste trabalho possibilita a entrada de dados em forma analógica (0 – 5V), que constitui um padrão dos mais utilizados em sistemas de coleta de dados e controle de processos. Assim os sinais a serem aplicados às entradas do sistema deverão ser compatibilizados para este formato (0 - 5V), e este processo pode ser feito pelos mais diversos sistemas de condicionamento de sinais.

Nesta seção será apresentada uma descrição de como devem atuar tais sistemas de modo a converter os sinais disponibilizados por sensores, para uma forma analógica, onde a saída condicionada ainda é representada por uma variável analógica.

Mesmo em aplicações envolvendo processamento digital algum tipo de processamento analógico é requerido antes que a conversão analógica-digital seja feita.

2.5.1. PRINCÍPIOS DE CONDICIONAMENTO DE SINAIS ANALÓGICOS

Um sensor mede uma variável pela conversão da informação referente aquela variável em um sinal dependente da natureza elétrica ou pneumática. Conforme mostrado na seção 2.4., para o desenvolvimento de tais sensores, utiliza-se o fato de que algumas características do material, em circunstâncias eventuais, são influenciadas por alguma variável dinâmica. Conseqüentemente, existe pouca escolha no tipo e no tamanho de tal proporcionalidade. Por exemplo, uma vez constatado na natureza e

achado que a resistência elétrica de um determinado material varia inversamente com a temperatura, deve-se entender então como explorar este dispositivo para medida de variações de temperatura dentro das restrições deste dispositivo.

O condicionamento de sinais analógicos proporciona a operação necessária para transformar a saída de um sensor em uma forma necessária e adequada para consolidar e proporcionar o interfaceamento com os demais módulos componentes de um sistema de monitoramento e coleta de dados. A figura 2.24 mostra um diagrama de blocos de um sistema de condicionamento de sinais.

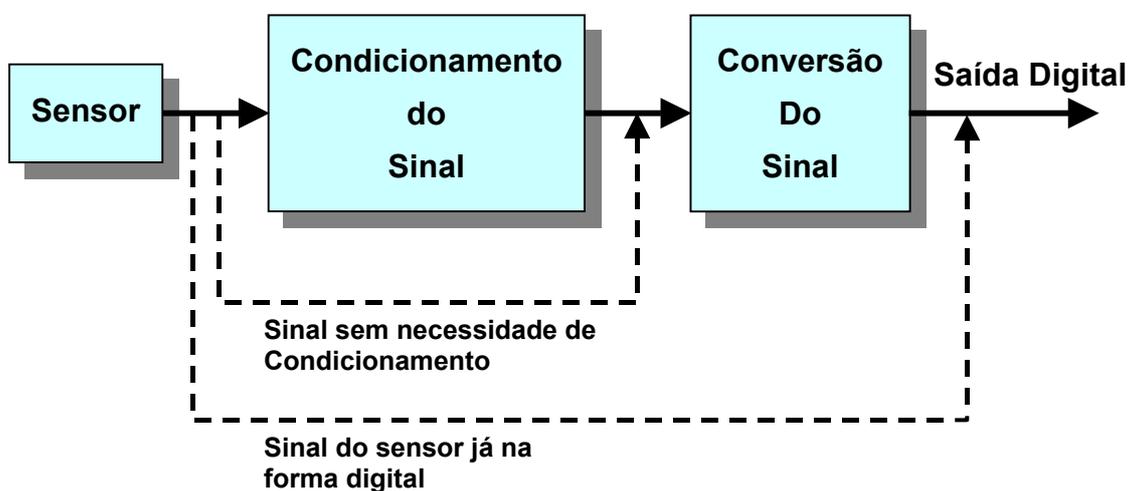


Fig. 2.24 – Sistema de Condicionamento de Sinais

O efeito do condicionamento de sinais pode ser descrito pelo termo função de transferência. Assim, um simples amplificador de voltagem tem uma função de transferência constante que, quando multiplicado pelo sinal de entrada, dá o sinal de saída.

É possível categorizar um condicionamento de sinais em vários tipos, como veremos a seguir, estes principais tipos são:

- Mudança no nível;

- Linearização;
- Conversão;
- Isolação;
- Filtragem e;
- Casamento de impedância.

2.5.2. MUDANÇA NO NÍVEL

O deslocamento de nível é o método mais simples e mais usado no condicionamento de sinais. Um exemplo típico é a necessidade de amplificar ou atenuar um nível de voltagem. Geralmente, em aplicações de controle de processo resulta em sinais que variam lentamente com o tempo (baixas frequências), onde amplificadores DC ou de baixas frequências podem ser utilizados. Um fator importante na escolha destes amplificadores é a sua impedância de entrada. Em controle de processo os sinais são sempre representativos de alguma variável do processo, e qualquer efeito de carregamento afetará a correspondência entre o sinal medido e o valor da variável. Em alguns casos, tais como acelerômetros ou detectores ópticos, a resposta em frequência é muito importante.

2.5.3. LINEARIZAÇÃO

Como foi visto, o projetista tem pouca escolha sob a característica de saída do sensor versus variável de processo. Normalmente a dependência que existe entre a entrada e a saída é não linear. Até mesmo aqueles dispositivos que são aproximadamente lineares podem apresentar problemas quando é necessária uma medida precisa de uma variável. Uma das funções do condicionamento de sinais é a de linearização da resposta do sensor.

Atualmente, com o surgimento de processadores de sinais digitais, os chamados DSP, o projetista do sistema, em algumas aplicações, pode resolver por linearizar o sinal após a conversão do mesmo no DSP.

A linearização pode ser realizada por um amplificador cujo ganho é função do nível de voltagem de entrada. Um exemplo de linearização ocorre freqüentemente para um sensor cuja saída é uma função exponencial de alguma variável dinâmica de processo. A figura 2.25 ilustra este tipo de comportamento onde a voltagem do sensor é assumida ser exponencial com relação a intensidade de luz I. Isto pode ser expresso por:

$$V_1 = V_0 \exp(-\alpha I) \quad (2.29)$$

onde

V_1 é a voltagem de saída na intensidade I

V_0 é a voltagem de saída na intensidade zero

α é a constante exponencial

I é a intensidade de luz

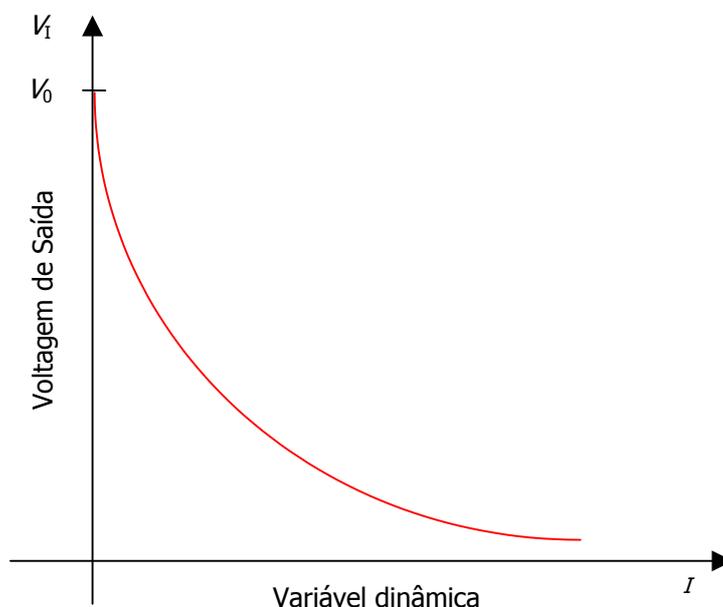


Fig. 2.25 – Saída Não Linear

Para linearizar este sinal, emprega-se um amplificador cuja saída varia no logarítmico natural ou inverso do sinal de entrada. Isto na prática poderia ser implementado com um diodo colocado na malha de realimentação de um amplificador operacional. Feito isto a saída pode ser expressa por

$$V_A = K \ln(V_{in}) \quad (2.30)$$

onde

V_A é a voltagem de saída do amplificador

K é a constante de calibração

V_{in} é a voltagem de entrada do amplificador = V_1 [da equação (2.29)]

Substituindo a equação (2.30) na equação (2.29) e sendo $V_{in} = V_1$, resulta:

$$V_A = K \ln(V_0) - \alpha KI \quad (2.31)$$

Desta forma a saída do amplificador variará linearmente com a intensidade e tendo uma voltagem de offset $K \ln(V_0)$ e um fator de escala $-K$ como mostrado na figura 2.26. Um condicionamento de sinal posterior pode ser realizado para eliminar a tensão de offset.

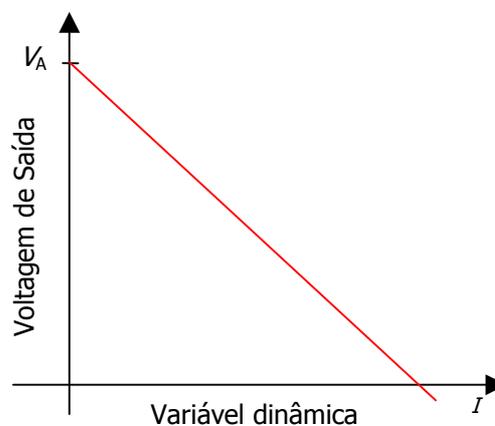


Fig. 2.26 – Saída Linearizada

2.5.4. CONVERSÕES

Freqüentemente, o condicionamento de sinais é usado para converter um tipo de variação elétrica em outra. Assim, como vimos anteriormente, uma grande quantidade de sensores fornece mudança na resistência quando a variável dinâmica muda. Neste caso, é necessário projetar um circuito que converte a variação de resistência em sinal de corrente ou tensão. Quando a variação é pequena, isto é normalmente feito com um circuito na forma bem conhecida de ponte. Ou através de um amplificador cujo ganho depende deste resistor, quando a variação for grande.

Outros tipos de conversão são necessários devido a imposições do sistema, como por exemplo, quando o sinal da variável dinâmica de interesse é monitorado a distância. Neste caso, é comum converter o sinal em corrente no padrão conhecido como 4-20mA. Nestes circuitos, conversores corrente x tensão e tensão x corrente são utilizados.

Quando a distancia é maior ainda o uso da telemetria (medidas remotas de variáveis dinâmicas) sem fio é utilizada, e a conversão do sinal numa forma de fácil propagação (modulação AM, FM, etc.) é feita.

Outra forma de conversão comum em algumas aplicações onde uma precisão apenas moderada é exigida, é converter o sinal em um sinal digital de intervalo de tempo, ou sinal digital PWM (“Pulse Width Modulated”). Desta forma é possível eliminar uma possível conversão AD, e assim reduzir custos.

2.5.5. ISOLAÇÃO

Em algumas situações na prática é possível que o sinal do sensor contenha uma voltagem de modo comum muito acima do valor máximo tolerável do circuito de condicionamento de sinal.

Nesta situação faz-se necessário o uso de amplificadores isoladores para promover a interface entre este sinal e o circuito de condicionamento e aquisição.

2.5.6. FILTRAGEM

Outra forma de condicionamento de sinal consiste na filtragem do sinal. Frequentemente, sinais espúrios de considerável intensidade estão presente em ambiente industrial, tais como sinais da linha de 60 Hertz, transientes de motores e outros sinais indesejáveis. Em muitas situações é necessária a utilização de filtros passa altas, passa baixa ou rejeita faixa para eliminar ou minimizar estes sinais indesejáveis. Estes filtros podem ser implementados apenas com elementos passivos, como resistores, capacitores, indutores, ou filtros ativos, com o uso de amplificadores realimentados.

2.5.7. CASAMENTO DE IMPEDÂNCIA

O casamento de impedância é uma característica importante na interface entre sistemas, quando uma impedância interna do sensor ou a impedância da linha podem causar erro na medida da variável dinâmica. Neste caso, tanto malhas ativas ou passivas podem ser empregadas para realizar tal casamento.

2.5.8. RESUMO

Nesta seção foram mostradas algumas técnicas, procedimentos e medidas empregadas para a transformação dos sinais de sensores, de modo a adaptá-los ao sistema de monitoramento e controle que se pretenda utilizar em um determinado processo automático. E com isso verifica-se que, teoricamente, qualquer que seja o tipo de sinal fornecido por um módulo sensor, este sinal pode ser compatibilizado ao padrão de sinal de entrada do Sistema de Monitoramento.

O sistema desenvolvido neste trabalho foi implementado de modo a aceitar em suas entradas de sinais de sensores, conforme será visto no capítulo “3”, sinais analógicos de 0 – 5,12V(máx).

Assim qualquer sinal de sensor deverá ser compatibilizado de modo a fornecer como saída (entrada para o sistema) um sinal variando de 0V a 5,12V(máx), proporcionais a variação da grandeza física que se deseja medir. E esta compatibilização poderá ser feita utilizando-se módulos e configurações de circuitos elétricos amplamente conhecidos e implementados na engenharia, que permitem a conversão de sinais de qualquer natureza elétrica para a forma de tensão, tais como:

- **Circuitos Conversores Corrente-Tensão:** escalonam e convertem sinais de entrada de corrente para a faixa de tensão de saída desejada. As características podem também incluir filtragem, amplificação ou atenuação. Estes circuitos são utilizados, por exemplo, para converter sinais de “loop” de corrente, que possuem saídas, tipicamente, de 4-20mA, 0-20mA, ou 0-50mA, para uma saída de tensão desejada;
- **Circuitos Conversores/Inversores de Tensão:** que podem ser amplificadores que amplificam os sinais de nível baixo, de sensores ou de dispositivos, para um nível adequado para o sistema de processamento ou digitalização. A taxa de amplificação, ou ganho, pode ser fixo ou programável, e os amplificadores podem incorporar múltiplos canais e outras funções de condicionamento de sinais, como filtragem. Os conversores e inversores de tensão recebem um sinal de entrada de voltagem (tensão) e fornecem uma saída reescalada;
- **Circuitos Conversores Freqüência-Tensão:** que recebem um sinal e convertem a freqüência deste sinal para um nível correspondente de voltagem (tensão);

- **Circuitos Conversores Digital-Analógico:** que transformam uma palavra de bits digitais representando um valor analógico, em uma saída de voltagem (tensão) analógica que corresponde àquele sinal analógico;
- **Etc.**

Quando citado “*sinais de 0 – 5,12 V(máx)*”, significa que os sinais de saída dos módulos sensores, ou seus circuitos condicionadores, deverão fornecer sinais que para o valor máximo da faixa de operação do sensor, corresponda um valor de 5,12V ou menor. Isto porque a interface de entrada do sistema foi implementada com um conversor A/D cuja tensão de referência é ajustada em 5,12V.

2.6. CONVERSÃO ANALÓGICO-DIGITAL

Como já visto, a grande parte dos sensores e transdutores existentes, transformam uma variável física, como temperatura, umidade, pressão, velocidade, etc., em um sinal eletrônico padrão analógico (tensão ou corrente), correspondente a grandeza física medida.

O sinal elétrico resultante do processo de transdução de uma grandeza física em sinal elétrico em geral é analógico, ou seja, pode assumir uma infinidade de valores na forma contínua. Por exemplo, um sinal analógico variando entre 0 e 5V pode apresentar um valor numérico real qualquer.

Para que um sinal analógico possa ser processado por um sistema digital, é necessário discretizá-lo em níveis bem determinados, ou seja, converte-lo para um formato digital. A cada nível discreto é associado um número digital, representável através de cadeia de bits. A este processo de discretização e codificação é dado o nome de conversão analógico-digital e será feito por um conversor Analógico/Digital, que normalmente se constitui de um circuito integrado projetado especificamente para ser capaz de converter uma amostra analógica em um valor binário

No processo de discretização temos perda de informação, ou seja, um nível discreto é associado a uma faixa de valores analógicos. Isto significa que um sinal digitalizado sempre irá apresentar um erro em relação ao sinal analógico original.

Para um conversor Analógico/Digital, é importante saber a sua resolução, que definirá quão preciso o valor binário obtido irá representar a grandeza analógica medida, e que será função do valor elétrico máximo que sua entrada suporta e do tamanho máximo de saída em bits utilizados pelo conversor, seguindo a fórmula:

$$\text{Resolução} = \frac{\text{Valor analógico}}{2^N} \quad (2.32)$$

Onde : N é o Número de Bits do Conversor

Assim, por exemplo, para um conversor de oito bits e uma entrada variando de 0 - 5 Volts, têm-se:

$$\text{Resolução} = 5V/2^8 = 0,0195 \text{ V}; \quad (2.33)$$

Significando que a menor medida a ser lida será de 0,0195V, que corresponderá ao número binário “00000001”.

Do mesmo modo a menor variação da medida percebida pelo conversor será de 0,0195V.

A tabela 2.2 mostra a correspondência entre a grandeza analógica, o valor binário obtido para um conversor de 08 (oito) bits e o correspondente decimal:

Tabela. 2.2

Volts	Binário	Decimal
0.0195	00000001	001
0.0390	00000010	002
0.0585	00000011	003
0.0780	00000100	004
0.0975	00000101	005
⋮	⋮	⋮
4.9725	11111111	255

Em resumo, portanto, um conversor analógico/digital irá tomar as grandezas físicas convertidas em tensões elétricas, através de sensores, e irá converter essas tensões elétricas em dígitos binários, que poderão ser interpretados por um módulo eletrônico, ou computador, conforme exemplifica a figura 2.27.

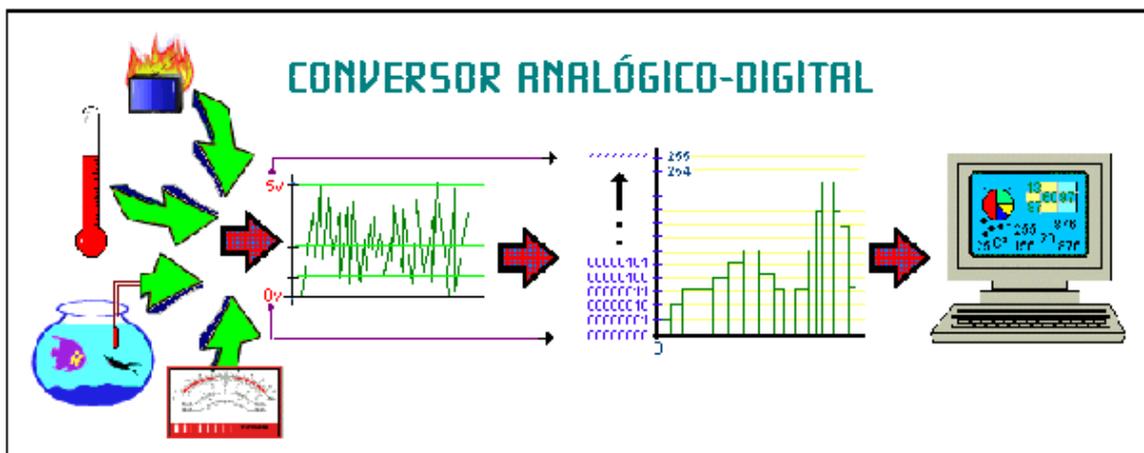


Fig. 2.27 – Conversor Analógico-Digital

2.6.1. TÉCNICAS DE CONVERSÃO A/D

Existem várias topologias de circuitos conversores A/D ou técnicas de conversão, cada uma delas com características específicas priorizando a velocidade de conversão, a resolução, a simplicidade ou o custo.

Entre as técnicas mais conhecidas podemos citar a CONVERSÃO PARALELA OU "FLASH", a CONVERSÃO EM RAMPA, e destacando-se a técnica de "APROXIMAÇÃO SUCESSIVA" que é empregada no conversor A/D utilizado no desenvolvimento deste trabalho.

Será apresentada a seguir a descrição de funcionamento desta técnica de conversão, para um melhor entendimento do processo de conversão utilizado pelo sistema desenvolvido.

2.6.1.1. CONVERSÃO POR APROXIMAÇÃO SUCESSIVA

Para simplificar o entendimento do princípio de funcionamento da conversão por aproximação sucessiva, será apresentado o seguinte exemplo:

Supondo que temos um objeto de peso desconhecido, sabendo-se porém que este se situa na faixa de 0 a 1 kg; e , ainda, que há a disponibilidade de uma balança e um conjunto de pesos conhecidos de $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ kg, etc. Estes pesos sucessivos devem ser usados em uma sucessão de tentativas para determinar o peso desconhecido. Com o peso w desconhecido em um lado da balança, colocamos o peso de $\frac{1}{2}$ kg no outro lado. Se encontramos $w > \frac{1}{2}$ kg, deixamos o peso na balança e colocamos outro de $\frac{1}{4}$ kg. Se achamos $w < \frac{1}{2}$ kg, substituímos o peso de $\frac{1}{2}$ kg pelo de $\frac{1}{4}$ kg. Desta maneira, continuamos as tentativas com pesos sucessivamente menores por um fator de 2. Quando o peso de uma tentativa inclina a balança no sentido dos pesos conhecidos, removemos o último peso e tentamos o seguinte menor. Assim, se verificamos que devemos deixar o peso de $\frac{1}{2}$ kg, removemos o peso de $\frac{1}{4}$ kg e deixamos o peso de $\frac{1}{8}$ kg, aproximando o peso desconhecido como sendo igual a:

$$P = 1 * \frac{1}{2} \text{ kg} + 0 * \frac{1}{4} \text{ kg} + 1 * \frac{1}{8} \text{ kg} = \frac{5}{8} \text{ kg} \quad (2.34)$$

Associando o significado numérico $\frac{1}{2}$ ao dígito binário mais significativo, $\frac{1}{4}$ ao seguinte etc., teríamos, como representação binária do peso, **101**. É claro que continuando esta operação sucessivamente com pesos menores, podemos estabelecer o peso desconhecido com qualquer precisão desejada.

O conversor A/D que usa o método das aproximações sucessivas é um dos tipos de conversor mais utilizados atualmente. Seus circuitos são mais complexos do que outros modelos, porém seu tempo de conversão é muito menor, o que torna seu uso bastante atrativo. Além disso, os conversores A/D por aproximações sucessivas têm um tempo de conversão fixo, que não depende do sinal analógico presente em sua entrada.

O esquema eletrônico básico deste tipo de conversor faz uso de módulos *comparadores*, *conversores D/A*, *lógicas de controle*, *registradores*, etc. A figura 2.28 mostra a estrutura de um conversor A/D de aproximação sucessiva (Taub e Schilling, 1982).

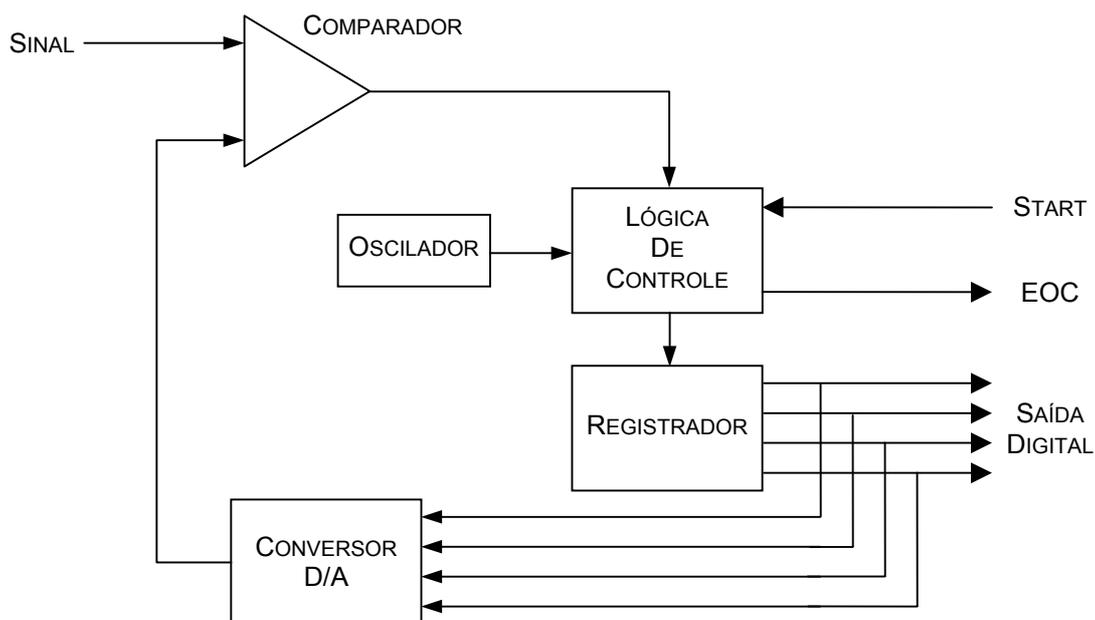


Fig. 2.28 – Conversor A/D por Aproximação Sucessiva

O conversor, conforme mostrado na figura 2.28, tem como circuito básico um conversor D/A de elevada precisão. A conversão é iniciada por um pulso de início de conversão “*IDC*” ou “*START*”, e um registro de saída é fixado na metade do valor da máxima tensão de entrada, ou seja, “100” (binário) para um conversor de 03 bits. Este valor é convertido pelo conversor D/A em uma tensão analógica e comparada com a tensão de entrada em um comparador analógico. A saída do comparador pode ser “1” ou “0” dependendo se a tensão de entrada é maior ou menor. Caso seja maior, o bit é mantido em “1”, se for menor o bit é zerado. Um registrador de deslocamento avança para o bit seguinte e a operação é repetida, desta feita referindo-se a quarta parte da máxima tensão de entrada. Conforme o resultado do comparador, o bit é mantido em “1” ou zerado. O processo é repetido até o bit menos significativo (LSB), quando é

gerado o sinal de fim de conversão “FDC” ou “EOC” (*End of Conversion*). A figura 2.29 mostra a seqüência de comparações para um conversor de 3 bits. Em cada comparação o lado esquerdo mostra a situação em que o bit permanece “1”, enquanto que no lado direito o bit é zerado.

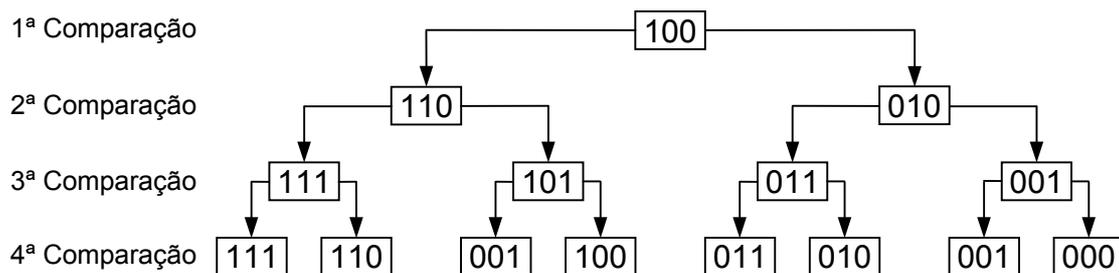


Fig. 2.29 – Seqüência de Comparação para Um Conversor de 03 Bits

O tempo de conversão depende da resolução do conversor, ou seja, do número de bits, tipicamente de 10 a 30 μ seg para conversores de 8 a 12 bits (Taub e Schilling, 1982).

2.7. MÓDULOS E PLACAS DE AQUISIÇÃO E CONTROLE

Os sistemas de aquisição de dados são uma alternativa de instrumentação que combinam baixo custo com alta qualidade. Hoje sistemas podem ser encontrados comercialmente, disponibilizados por diversos fabricantes, em uma gama considerável de opções de sistemas de aquisição de dados como instrumentos dedicados, dataloggers, placas a serem instaladas diretamente nos slots de PCs (DAQs – Data Acquisition Boards), controladores lógicos programáveis, unidades terminais remotas, etc.

O sistema adequado a cada aplicação depende essencialmente do tipo de grandeza a ser medida e do objetivo da medida. Com base nestes dois parâmetros é possível definir características como: velocidade da medição, número de grandezas distintas, exatidão e a configuração do sistema, determinando os tipos de componentes utilizados.

Dentre os tipos mais comuns de sistemas de aquisição de dados podemos citar:

- **Instrumentos de Medição Digital:** incorporam ou permitem a adição de uma interface para troca de dados com o computador. A vantagem desta opção é a quantidade de recursos oferecidos pelos instrumentos digitais de medição, possuindo vários modos de operação e diferentes escalas. Esta pode ser a opção mais vantajosa quando se deseja medir um determinado tipo de grandeza e o medidor já está disponível no laboratório. As desvantagens são o custo e a pouca flexibilidade quando comparados a outras opções. Em geral um instrumento só permite a medição de uma única grandeza durante seu funcionamento, enquanto os Dataloggers, DAQs, etc., podem monitorar diversas grandezas de diferentes tipos.
- **DataLoggers:** equipamentos que conectados ao computador através de uma interface (serial ou paralela), permitem a medição de uma ou mais grandezas. A diferença de um datalogger para um instrumento de medição está em sua construção mais simples. Geralmente os dataloggers são construídos com

várias entradas de tensão, exigindo que o sinal gerado pelo sensor seja adaptado às condições destas entradas.

- **Placas de Aquisição de Dados (DAQs):** possuem função similar aos dataloggers em relação a digitalização de valores de tensão e transferência dos valores binários para o computador. A principal diferença é que as placas são ligadas diretamente aos barramentos internos do computador, conferindo uma maior velocidade na troca de dados. Desta forma, a placa de aquisição de dados possui as mesmas condições de acesso de outros componentes do sistema como controladores de vídeo, memória, disco, etc... Além da digitalização de tensões, é prática comum entre os fabricantes, incluírem nestas placas outras funções que possibilitam controle de processos, tais como: Conversor D/A, Saídas Analógicas, Entradas e Saídas Digitais, Contadores e Temporizadores.
- **Controladores Industriais:** sistemas dedicados ao controle de processos existentes em algumas etapas de linhas de produção. A concepção de um controlador assemelha-se a de um computador equipado com placa de aquisição de dados, só que mais simples e dedicado a um conjunto específico de funções. Os controladores industriais são construídos em torno de processadores especiais chamados microcontroladores. Os microcontroladores assemelham-se aos microprocessadores utilizados nos computadores pessoais, incluindo alguns circuitos adicionais como conversores A/D, D/A, contador, temporizador, controlador PWM, e outros, dependendo do modelo. Ao contrário dos computadores, os controladores não possuem sistema operacional. O programa contendo as funções de controle é executado diretamente na memória, geralmente do tipo não volátil (não perde o conteúdo se o sistema for desligado). Os controladores industriais incluem algum tipo de interface para que possam ser conectados entre si e com um computador para supervisão geral dos processos em andamento. Desta forma, um computador pode realizar aquisição de dados através de um controlador industrial dotado de um ou mais sensores. Existem

vários padrões de conexão para controladores industriais, a maioria utilizando interface serial.

- **Sistemas com Unidades Processadoras:** quando as grandezas medidas demandam uma velocidade elevada na aquisição de dados, grande quantidade de medidas e uma grande capacidade de processamento uma solução é a utilização de várias placas de aquisição de dados controladas por uma placa de computador dedicada exclusivamente ao controle do funcionamento destas placas utilizando um barramento de interconexão desenvolvido especificamente para esta função. Neste caso o computador fica com a função de trabalhar com os resultados já processados pela placa do sistema. O sistema de aquisição de dados é montado em um gabinete específico contendo as várias placas de aquisição, barramento de conexão e computador dedicado e pode ser interligado ao microcomputador através de uma das interfaces computacionais. Existem diversos tipos de sistemas com estas características, mas a maioria dos fabricantes segue uma norma para que componentes com diferentes procedências possam ser compatíveis entre si, garantindo total compatibilidade entre os mesmos, através de definições de especificações mecânicas, elétricas e lógicas para interligação dos componentes.

Um módulo/placa de aquisição de dados é geralmente composto por:

- Entradas Analógicas
- Conversor A/D
- Triggers

Em sistemas de controle de processos automatizados, onde se faz necessária a ação, pelo sistema, em atuadores, chaves eletrônicas, etc., o módulo/placa de aquisição deve dispor também de componentes como:

- Conversor D/A
- Saídas Analógicas
- Entradas e Saídas Digitais
- Contadores e Temporizadores

2.7.1. ENTRADAS ANALÓGICAS

As especificações de entradas analógicas fornecem informações sobre as características e a precisão do sistema de aquisição de dados. As especificações básicas informam o número de canais, a taxa de amostragem, a resolução e a escala de entrada.

- Número de Canais – O número de canais de entrada analógica é especificada pelas entradas single-ended e diferenciais. Entradas single-ended são todas referenciadas a um terra comum. Essas entradas são tipicamente usadas quando os sinais de entrada são de alto nível (maior que 1 V), a distância entre a fonte de sinal ao hardware de entrada analógica são pequenas (menos que 5 m) e todos os sinais de entrada compartilham um terra comum. Se os sinais não se encaixam a esses critérios, deve-se utilizar as entradas diferenciais. Com entradas diferenciais, cada entrada tem seu próprio terra; os erros causados por ruídos são reduzidos.
- Taxa de amostragem – Para placas de aquisição, este parâmetro determina a frequência com que as conversões são realizadas. Uma taxa de amostragem muito rápida adquire mais dados num tempo determinado e podem portanto gerar uma representação do sinal original. Este parâmetro é medido em função de amostras por segundo (samples per second, samples/s).
- Resolução – O número de bits utilizado pelo Conversor A/D para representar o sinal analógico é a Resolução. Quanto maior a resolução maior o número de divisões que a faixa é particionada e, portanto, menor a faixa de voltagem

detectável. A Figura 2.30 mostra uma onda senoidal e sua imagem digital correspondente obtida por um conversor A/D ideal de 3-bits. Um conversor de 3-bits (que praticamente nunca é usado, mas é conveniente como exemplo) divide a faixa analógica em 2^3 , ou 8 divisões. Cada divisão é representada por um código binário entre 000 e 111. Claramente, a representação digital não é uma boa representação do sinal analógico original, pois a informação tem perda na conversão. Aumentando a resolução para 16 bits, contudo, o número de códigos do conversor aumenta de 8 para 65.536, e pode-se obter uma representação digital bastante precisa do sinal analógico (National Instruments Corporation, 1999).

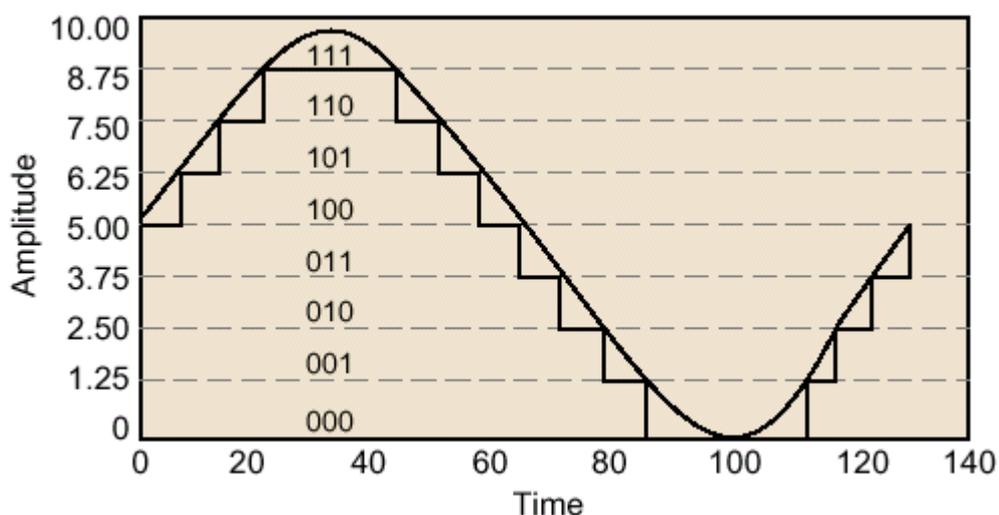


Fig. 2.30 – Onda Senoidal Digitalizada Com Resolução De 03 Bits

- Escala – A escala refere-se aos níveis de tensão máxima e mínima que o conversor pode processar.

2.7.2. CONVERSOR ANALÓGICO-DIGITAL (A/D)

Os conversores analógicos- digitais são circuitos ou componentes que, excitados por uma tensão ou corrente de natureza analógica, produzem um código digital equivalente.

A precisão da conversão é dependente da resolução e linearidade do conversor. O ganho e os erros de offset do amplificador de entrada ainda afetam a precisão. A principal característica a ser observada num conversor analógico-digital é a sua taxa de performance, ou seja, o seu processamento (throughput).

Três elementos especificam o throughput de um conversor A/D: tempo de conversão, tempo de aquisição e tempo de transferência:

- Tempo de conversão: é o tempo necessário para o conversor A/D produzir um valor digital que corresponde ao valor da entrada analógica.
- Tempo de aquisição: é o tempo necessário a ser associado ao circuito analógico que adquire o sinal.
- Tempo de transferência: o tempo de transferência corresponde ao tempo necessário para transferir os dados da interface para os centros de processamento (memória dos computadores).

Throughput é a taxa na qual os três tempos levam para serem completados. Throughput é geralmente o fator mais importante na escolha da interface de aquisição de dados. O teorema de Nyquist especifica que uma entrada deve ser amostrada no mínimo duas vezes mais rápido que a componente de frequência mais alta do sinal a ser coletado. Por exemplo, uma medição precisa de um sinal de 1kHz deve possuir uma taxa de throughput mínima de 2kHz.

2.7.3. TRIGGERS

Muitas aplicações necessitam parar ou começar uma operação de aquisição de dados baseados num evento externo. Triggers digitais sincronizam a aquisição e a geração de tensão por um pulso digital externo. Triggers analógicos, usados essencialmente em operações que envolvam entradas analógicas, param ou iniciam a operação de aquisição quando um sinal de entrada atinge um nível de tensão especificado e troca sua polaridade.

2.7.4. SAÍDAS ANALÓGICAS

Saídas analógicas são geralmente necessárias para gerar estímulos para um sistema de aquisição de dados. Diversas especificações para o conversor digital-analógico determinam a qualidade do sinal de saída produzido – tempo de ajuste, slew rate, e resolução de saída.

- Tempo de ajuste – é o tempo necessário para a saída (um amplificador, relé ou outros circuitos) alcançarem um modo estável. O tempo de ajuste é geralmente especificado para uma alteração no fundo de escala em tensão.
- Slew Rate – O slew rate é a taxa máxima de mudança que o conversor digital analógico pode produzir para o sinal de saída. O tempo de ajuste e o slew rate trabalham juntos na determinação de quão rápida serão as alterações no nível do sinal de saída. Portanto, um conversor digital analógico com um pequeno tempo de ajuste e um alto slew rate podem gerar sinais de alta frequência porque um pequeno tempo é necessário para mudar precisamente a saída para um novo nível de tensão.

Um exemplo de aplicação que requer alta performance desses parâmetros é a geração de sinais de áudio. O conversor D/A requer um alto slew rate um pequeno

tempo de ajuste para gerar sinais de alta frequência para cobrir a escala de áudio. Em contraste, um exemplo de aplicação que não requer rápida conversão D/A é a fonte de tensão que controla um aquecedor. Isto porque o aquecedor não responde rapidamente a alterações de tensão, portanto uma rápida conversão D/A é desnecessária.

- Resolução de Saída – é o número de bits no código digital que geram o sinal analógico. Um vasto número de bits reduz a magnitude de cada incremento de tensão de saída, desse modo tornando possível gerar sinais que se alteram suavemente. Aplicações que requerem uma vasta escala dinâmica com pequenas mudanças incrementais de tensão no sinal de saída analógico necessitam uma alta resolução de saída

2.7.5. ENTRADAS E SAÍDAS DIGITAIS

Interfaces de Entrada e Saída Digital são geralmente usadas em sistemas de aquisição de dados baseados em PC para controlar processos, gerar padrões para teste e comunicar com equipamentos periféricos. Em cada caso, os parâmetros incluem o número de linhas (entradas/saídas) digitais, a taxa na qual pode-se admitir e gerar dados digitais nessas linhas e a capacidade de acionamento dessas linhas. Se as linhas digitais são usadas para controlar eventos tais como desligar aquecedores, motores ou luzes, uma alta taxa de dados não é usualmente necessária pois esses equipamentos não podem responder muito rapidamente. O número de linhas digitais deve relacionar-se com o número de processos a serem controlados. Em cada um desses exemplos, a capacidade de corrente necessária para acionar esses equipamentos e desligá-los deve ser menor que a disponibilidade de corrente do equipamento.

Contudo, com acessórios de condicionamento de sinais digitais apropriados, pode-se usar sinais TTL de baixa corrente do hardware de aquisição de dados para monitorar ou controlar altas tensões e sinais de corrente de dispositivos industriais. Por exemplo, a tensão e corrente necessárias para abrir e fechar uma válvula grande são de aproximadamente 100 VAC e 2A. Por ser à saída de um dispositivo digital algo em torno

de 0 a 5 VDC e alguns miliamperes, um módulo de acionamento, geralmente optoacoplado é necessário para acionar o sinal de potência para controlar a válvula.

Uma aplicação comum de utilização de dispositivo digital é a transferência de dados entre um computador e equipamentos como os dataloggers, os processadores de dados, e impressoras. Como geralmente esses equipamentos trabalham com transferência de bytes (8 bits), as linhas digitais em um dispositivo digital são arranjados em grupos de 8. Além disso, alguns módulos ou placas possuem elementos de hand-shaking para sincronização da comunicação. O numero de canais, a taxa de dados e hand-shaking são importantes especificações que devem ser compreendidas e analisadas nas necessidades da aplicação.

2.7.6. CONTADORES E TEMPORIZADORES

Contadores e temporizadores são geralmente utilizados em muitas aplicações, incluindo contagem de eventos digitais, temporização digital de pulsos e geração de ondas quadradas e pulsos. Pode-se implementar todas essas aplicações usando três sinais de contadores e temporizadores: gate, fonte e saída.

- Gate – O gate é a entrada digital que é usada para habilitar ou desabilitar a função do contador;
- Fonte – O sinal de fonte é a entrada digital que causa o incremento do contador a cada pulso, e portanto, gera a base de tempo para operações de temporização e contagem;
- Saída – A saída gera ondas quadradas ou pulsos na linha de saída.

As especificações mais significantes para operações de contagem e temporização são a resolução e a frequência de clock. A resolução é o número de bits que o contador usa. Uma alta resolução simplesmente significa que o contador pode contar mais. A frequência do clock determina a velocidade com que se pode ativar a fonte de entrada digital. Com uma frequência mais alta, o contador incrementa mais rápido e portanto pode detectar sinais de maior frequência na entrada e gerar pulsos de maior frequência e ondas quadradas na saída (National Instruments, 1999).

2.7.7. PROCESSADORES

Os elementos responsáveis pelo processamento dos sinais adquiridos são os processadores. Os mais utilizados em sistemas de aquisição de dados atualmente são os computadores pessoais (PC).

2.8. CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS

2.8.1. PRECISÃO

A precisão dos dados coletados por um sistema de aquisição depende basicamente do dispositivo utilizado para a aquisição. A avaliação dessa precisão requer portanto um conhecimento dos dados e as fontes que podem contribuir para o erro.

Existe uma enorme variedade de formas e configurações de dispositivos de aquisição de dados tornando difícil a comparação de produtos. Mas, durante a especificação, merece uma atenção especial a precisão do dispositivo. A que grau um determinado dispositivo está livre de erro? Para tal determinação requer-se um pouco de experiência.

É fácil confundir resolução do conversor A/D de um dispositivo com a precisão global do sistema. Resolução é a menor mudança incremental que o conversor A/D

pode reconhecer. A precisão global de um sistema sempre é menos precisa. Por exemplo, um conversor A/D de 16-bits tem uma resolução de 1 em 65,536. Combine a precisão do conversor A/D com os diversos componentes que interferem na aquisição e se chegará a uma precisão global do sistema de 3 a 100 em 65,536.

Os fabricantes de dispositivos de aquisição de dados utilizam vários métodos e condições para definir precisão. Uma boa conceituação é que precisão descreve a quantidade de incerteza que existe em uma medição em relação ao padrão relevante absoluto. Mas, geralmente, a precisão de um dispositivo é mais bem definida como sendo a soma de três componentes: a leitura, escala e do bit menos significativo (LSB). Quando essas componentes são computadas, a precisão do dispositivo (ou incerteza) será maior que 1 LSB.

Geralmente, a precisão não é constante para toda a escala, varia com a amplitude: pode-se achar erros maiores no início da escala e resultados mais precisos no seu fim. Ao se comparar diferentes dispositivos, a aproximação mais prática é analisar a precisão especificada na folha de dados fornecida pelo fabricante para uma determinada medida de tensão e então definir os limites superiores e inferiores. O dispositivo com menor variação de tensão é o mais preciso para a medida de tensão determinada.

Para determinar o real desempenho do sistema, deve-se considerar todas as possíveis fontes de erro, como o dispositivo de D/A, os sensores externos ou fontes de sinal, e toda a instalação elétrica conectada. Combine estas fontes de erro pelo método da raiz quadrada da soma dos quadrados. Obteremos desta forma um verdadeiro parâmetro da precisão do sistema. Se verificar-se que a aplicação apresentou resultados menos precisos que o esperado, pode-se dizer que alguma fonte de erro durante a análise foi negligenciada.

O erro também pode ser introduzido por sinais indesejados que afetam a precisão de sistema. Enquanto sinais externos ideais teriam impedância zero e nível de ruído desprezível, sinais reais contêm ruído e impedância diferente de zero. Estes aspectos indesejáveis dos sinais e as limitações internas dos dispositivos de D/A

reduzem a precisão. Nenhum sensor é perfeito, e nenhuma instalação é livre de ruído; assim toda aplicação que envolva medida de dados terá um pouco de incerteza que não pode ser controlada ou prevista.

Os dispositivos de aquisição de dados geralmente têm circuitos de condicionamento de sinal entre a fonte deste e o conversor A/D. Estes circuitos contribuem para a inexatidão através de parâmetros como offset, erro de ganho, e ruído. Tensão de offset é um valor de tensão diferente de zero entregue ao conversor A/D quando os dados lidos pelo circuito (provenientes dos elementos de leitura como os sensores) forem diferentes de zero. Erro de ganho é a diferença entre ganho ideal e ganho atual. Ruído entra na forma de ruído térmico nos resistores, conduzindo ou induzindo níveis de potência DC em fontes de alimentação ou em circuitos digitais, e ruídos em fios de alta tensão AC. A redução da maioria dos ruídos pode ser feita utilizando dispositivos D/A com canal de condicionamento individual e incluindo filtros passa-baixos em cada canal.

Outra fonte de erro é aliasing. Se um conversor A/D converte algumas componentes de frequência iguais ou próximas a frequência de conversão A/D, o aliasing acontece. Aliasing causa a entrega de dados errados devido a baixas frequências no conversor A/D. Geralmente pode-se prevenir aliasing limitando a largura de faixa do circuito de entrada de amplificação para menos da metade da frequência de conversão A/D. Alguns fabricantes incluem freqüentemente filtros passa-baixa, ou filtros anti-aliasing para eliminar esta fonte de erro. A segunda causa mais comum de aliasing é uma taxa de amostragem muito baixa em relação ao sinal de entrada. Isto pode ser facilmente evitado elevando a taxa de amostragem.

Os dispositivos de aquisição de dados usam dois tipos primários de conversores A/D para gerar níveis diferentes de precisão. Conversores de aproximação sucessiva com fases de sample-and-hold na entrada de alta velocidade excedem 1 MHz; porém, as leituras individuais estão sujeitas a níveis de ruído que devem ser calculadas de forma a obter a leitura mais precisa possível. Esse conversor é o mais comumente encontrado na maioria das placas de aquisição.

2.8.1.1. PRECISÃO RELATIVA

Precisão relativa é a medida em LSBs do pior caso de desvio da função de transferência do equipamento de aquisição de dados em relação ao ideal, uma reta. Ela é determinada conectando o equipamento de aquisição de dados a uma tensão de fundo de escala negativa, digitalizando a tensão, aumentando a mesma e repetindo os passos até a escala de entrada ser coberta. Quando os pontos digitalizados são plotados, o resultado será uma aparente linha reta. Contudo, pode-se subtrair a reta atual dos valores digitalizados e plotar os pontos resultantes, como mostrado a seguir. O desvio máximo do zero é a precisão relativa do equipamento.

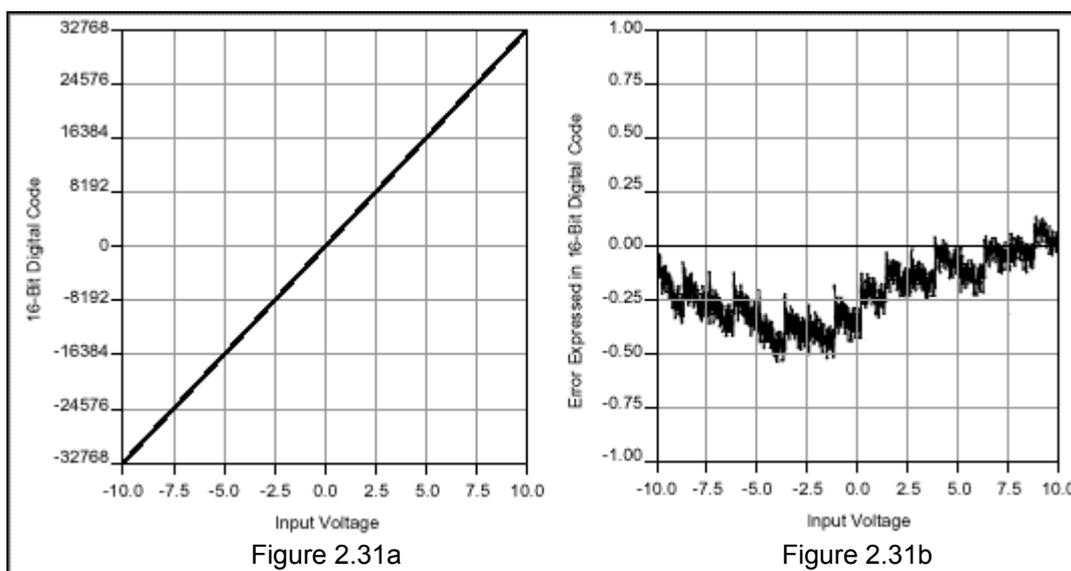


Fig. 2.31 – Determinação da Precisão Relativa

A figura 2.31 mostra a determinação da precisão relativa de um dispositivo de aquisição de dados. A figura 2.31a mostra a aparente linha reta gerada pela varredura da entrada. A figura 2.31b mostra, após subtração dos valores digitalizados com os valores da linha reta a precisão relativa (National Instruments Corporation, 1999).

2.8.2. RESOLUÇÃO

Em quantidade relativa, resolução descreve o grau pela qual uma mudança pode ser detectada. É expressa como uma fração de uma quantidade que se pode facilmente relacionar. Por exemplo, fabricantes de impressoras geralmente descrevem resolução como pontos por polegada, que é mais fácil do que comparar com pontos por página. No mundo da aquisição de dados, resolução geralmente é expressa como um número de bits tais como 12, 16, ou 20. No mundo dos multímetros digitais, resolução é geralmente descrita em relação ao número de dígitos como 4, 5, ou 6.

Assim, a resolução em um sistema de aquisição de dados é determinada pelo número de bits do conversor A/D, e é definida como:

$$\text{Resolução} = \text{um LSB} = (V_{\text{FSR}} / 2^n), \quad (2.35)$$

Onde:

LSB = Bit Menos Significativo (LSB)

V_{FSR} = Tensão de Entrada de Fundo de Escala (Full Scale Input Voltage Range)

n = número de bits

O número de bits define o número de códigos digitais e é 2^n códigos digitais discretos para conversores A/D.

Para relacionar bits de resolução aos parâmetros atuais de medição tais como tensão ou temperatura, deve-se realizar alguns cálculos. Suponha que um equipamento de aquisição de dados com um fundo de escala ± 10 V tenha 16 bits de resolução. Para relacionar a resolução a volts, deve-se calcular 2^{16} , que é 65,536.

Como resultado, o equipamento pode gerar uma parte dos 65,536; sendo a escala ± 10 V tendo 20V pico-a-pico, o equipamento pode gerar $20 \text{ V} / 65,536 = 305 \text{ } \mu\text{V}$. Isto

geralmente significa que a menor mudança que pode ser detectada pela medição é 305 μV .

Na realidade, nem toda resolução é necessariamente utilizada devido a outros fatores dentre as quais o mais significativo é o ruído. Um produto especificado com uma resolução de 16 bits deve ter 4 bits para o ruído. Dessa forma, dos 16 bits, pode-se somente gerar 12.

2.8.3. SENSIBILIDADE

Sensibilidade é uma quantidade absoluta. Resolução é uma quantidade relativa. Sensibilidade descreve a menor quantidade absoluta de alteração que pode ser detectada pela medição, geralmente expressa em termos de mili-volts, ou décimos de grau.

Sensibilidade não deve ser confundida com precisão — eles são parâmetros completamente diferentes. Por exemplo, um equipamento com sensibilidade de 1mV pode gerar 10mV se a entrada aplicada for de 10V. Já se uma entrada de 10V muda de 1mV, o equipamento ainda poderá observar a diferença. Sensibilidade algumas vezes pode ser aumentada realizando a média.

A sensibilidade atual é mais uma função do equipamento de medição do que do meio ambiente em que a medição está sendo feita. Um equipamento deve ser perfeitamente capaz de fazer medições com sensibilidade de 1 μV . Mas se o cabeamento não é adequadamente aterrado e evitar tensões geradas termicamente, então alcançar a sensibilidade de 1 μV será impossível.

A forma mais fácil para determinar a sensibilidade de um equipamento é olhar a performance em sua escala mais baixa. A especificação de ruído nesta escala será largamente ditada pela sensibilidade do dispositivo. Outros fatores como entradas de curta duração, dreno da tensão de offset e a qualidade dos conectores de entrada irão influenciar a sensibilidade.

2.9. SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS UTILIZANDO PC

O PC tem se tornado uma plataforma extremamente popular para a aquisição de dados, e entre tantos outros motivos dessa difusão pode-se ressaltar:

- **Baixo Custo** – O custo dos PC's tem reduzido muito nos últimos anos ao passo que tem se tornado mais rápido e mais poderoso. Atualmente, não há mais um custo efetivo da plataforma. Além disso, mais pessoas no ambiente de trabalho tem uma considerável experiência no uso de PC's, além de que na maioria dos casos existe uma curva de aprendizagem muito curta;
- **Arquitetura Aberta** – A arquitetura aberta dos PC's permite ao usuário a flexibilidade para configurar qualquer sistema imaginável. Sua imensa popularidade tem criado uma rede de apoio de todos os tipos, o que torna a procura por periféricos e softwares algo extremamente fácil. Como mais e mais padrões estão sendo desenvolvidos, a compatibilidade entre diferentes fabricantes de placas e periféricos está deixando de ser um problema;
- **Poderoso** – Como os PC's têm-se tornado mais poderosos e robustos, ficou fácil superar as limitações que impediam as pessoas considerar o PC para uma plataforma de aquisição de dados. A Instrumentação Inteligente oferece diversos produtos para permitir um alto número de canais, podendo chegar até 240 canais digitais de I/O em uma única placa. Placas de alta velocidade permitem captura de transientes e formas de onda numa velocidade de até 100MHz. Placas com processadores DSP (Processamento digital de sinais) podem manipular o processamento intenso de sinais e aplicações de alta velocidade.

- Versatilidade - Os sistemas baseados em PC's não estão mais limitados a placas conectadas internamente. Com o advento dos computadores portáteis e notebooks uma variedade de sistemas de aquisição de dados portáteis surgiram. Pode-se realizar qualquer operação de entrada e saída, analógica ou digital, convenientemente através do barramento ISA, por exemplo, pela porta paralela ou por um slot PCMCIA. A Instrumentação Inteligente oferece competitivamente sistemas completos para ambas as interfaces.
- Software – Além disso tudo, não existe nenhuma plataforma melhor que o PC para tirar proveito do poder dos softwares disponíveis hoje. Com um bom pacote de software de aquisição de dados pode-se fazer um completo uso da poderosa interface de usuário que é o Microsoft Windows customizando seu sistema aos seus próprios requisitos. Pode-se realizar um poderoso processamento de sinais e análises, criar telas profissionais, extremamente realistas para apresentar os dados e exportar seus dados pra outros softwares tais como planilhas ou banco de dados, tudo sem qualquer conhecimento de programação.

2.10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificamos portanto que as variáveis físicas podem ser lidas e armazenadas em forma digital. Para isso se faz necessária a sua conversão através de elementos denominados sensores, para uma forma eletrônica, e em seguida adapta-se este sinal para conformá-lo, de acordo com as necessidades, através de módulos condicionadores de sinais, e a partir daí estes sinais são digitalizados, processados e armazenados em formato digital, por Coletores de Dados (DataLoggers), Placas de Aquisição de Dados (DAQs- Data Acquisition Boards), etc.

Apresentamos os princípios de funcionamento de alguns sensores, algumas técnicas de condicionamento de sinais, e as principais características de Sistemas de Coleta de Dados.

3. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA - METODOLOGIA

3.1. DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA

O produto desenvolvido neste trabalho consiste basicamente de um Sistema de Coleta de Dados, implementado com o objetivo de manter os custos de produção em valores extremamente baixos quando comparados a sistemas comerciais, mas também visando oferecer aos usuários, um produto versátil e atual, do ponto de vista tecnológico, e que possa atender as necessidades mais comuns de utilização de sistemas de monitoramento de dados, por parte de pesquisadores e instituições de pesquisas, com as funcionalidades mais comuns e necessárias à Coleta, Tratamento, e Armazenamento de dados provenientes de sensores.

O sistema foi implementado com componentes e ferramentas facilmente disponíveis no mercado nacional, consistindo basicamente de uma interface eletrônica, onde são interligados os sensores, e é feita a conversão das informações analógicas dos mesmos para o formato digital, a ser transferido para o microcomputador. Esta interface se conecta com um microcomputador padrão IBM-PC (Desktop, Laptop, Notebook, etc.), onde um software, também implementado, coleta, trata e armazena os dados, que estão a disposição do usuário através de uma interface amigável, com todas as opções de configuração, visualização, etc.

O sistema é dividido em dois módulos: Módulo Interface e Software de Usuário

- **Módulo Interface**

Consiste de um produto eletrônico, que tem a função de acondicionar os sinais eletrônicos provindos dos sensores, referentes a variáveis físicas como temperatura, umidade, pressão, direção e velocidade de vento, pluviometria, radiação solar, enfim qualquer sorte de parâmetro que possa ser disponibilizado em forma de sinal eletrônico através de sensores, convertendo para o modo digital esses sinais analógicos, e

possibilitando a transferência dessas informações para um microcomputador padrão IBM-PC, através da porta paralela (porta para impressora padrão Centronics), facilitando a instalação pelo usuário, que não necessitará instalar e configurar placas no interior do microcomputador, e possibilitando o uso com qualquer modelo desktop, laptop ou notebook.

Este módulo de Interface Eletrônica foi projetado levando-se em conta que suas entradas deverão atender as especificações, a níveis de tensão e corrente, dos modelos de sensores mais comumente utilizados no mercado

- **Software de Usuário**

Consiste de um sistema de software, que permite ao usuário o acesso às informações dos sensores, coletados através da interface.

Este sistema foi desenvolvido para uso em plataforma compatível com IBM-PC, em suas versões mais básicas, tendo em vista a poder ser utilizada com um microcomputador que represente o mais baixo custo possível, mantendo também total compatibilidade com equipamentos de última geração e configurações robustas.

Consistindo de uma interface gráfica amigável, o sistema permite ao usuário definir os sensores a monitorar, faixas de operação dos sensores, zero e fundo de escala, unidades das medidas, periodicidade de medição, gravação e apresentação dos dados, visualização gráfica dos dados coletados, etc.

Para a implementação do Software de Usuário foram utilizadas as ferramentas de desenvolvimento de software amplamente difundidas no mercado, a fim de prever-se que futuros aperfeiçoamentos, “upgrades” e inclusões, possam ser facilmente implementadas por qualquer desenvolvedor de software que tenha familiaridade com a linguagem utilizada

A figura 3.1 mostra um diagrama representando o sistema desenvolvido.

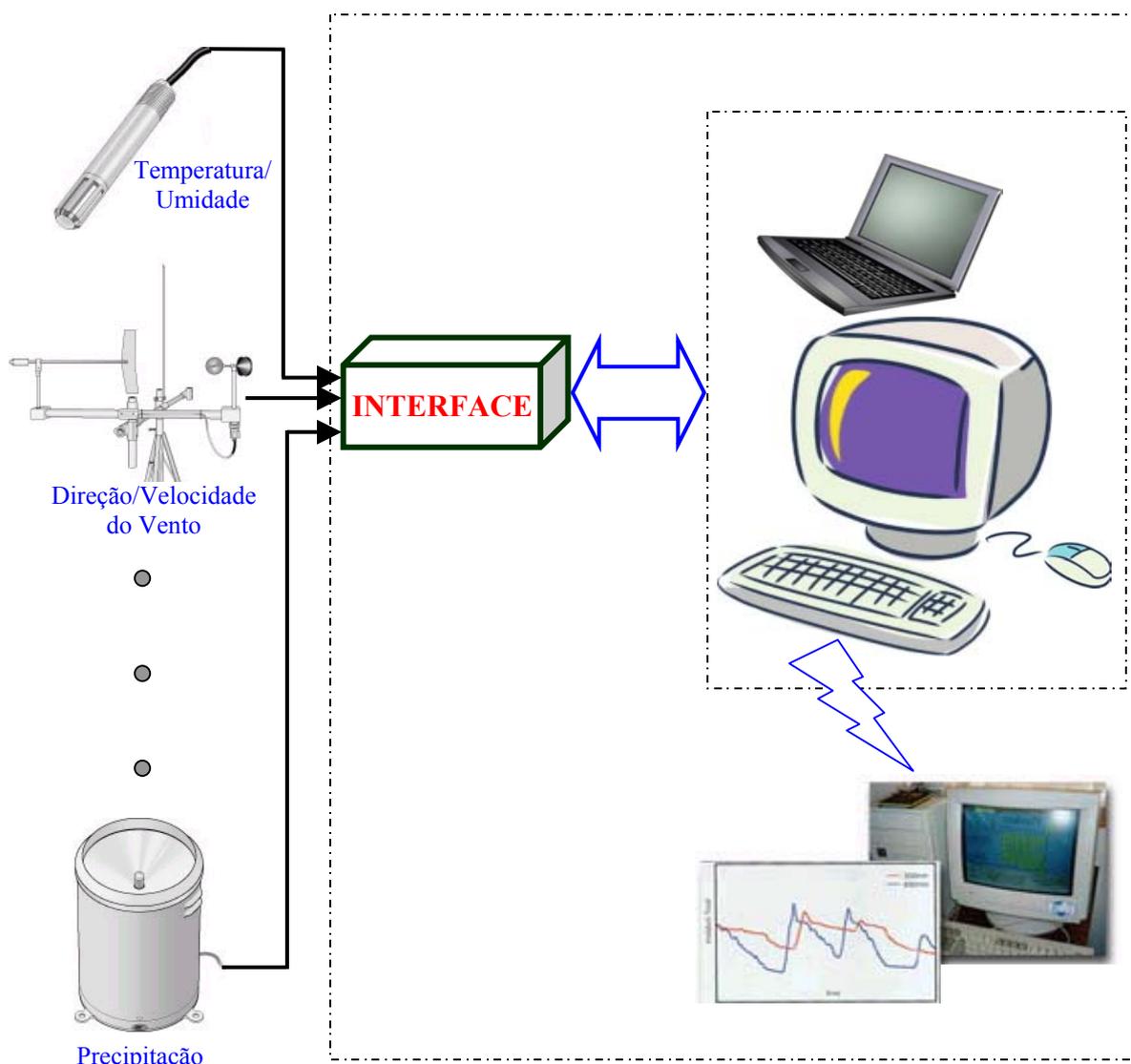


Fig. 3.1 – Diagrama de Blocos

3.2. DESCRIÇÃO DETALHADA DO SISTEMA

3.2.1. HARDWARE

O hardware do sistema constitui-se basicamente do Módulo Interface, que tem as funções de gerenciar a leitura analógica dos vários sensores, converter para um valor digital, processar estes dados digitais, e gerenciar a transferência para o

microcomputador, de forma sincronizada com o Software de Usuário, rodando no PC, através de um protocolo próprio.

Para executar as funções acima, o Módulo Interface é composto de dois blocos fundamentais: a Interface Sensores e a Interface PC, que agrupam, em termos funcionais, um Conversor A/D, Unidade de Controle e um Buffer de E/S (Entrada/Saída), conforme mostra o diagrama de blocos da figura 3.2.

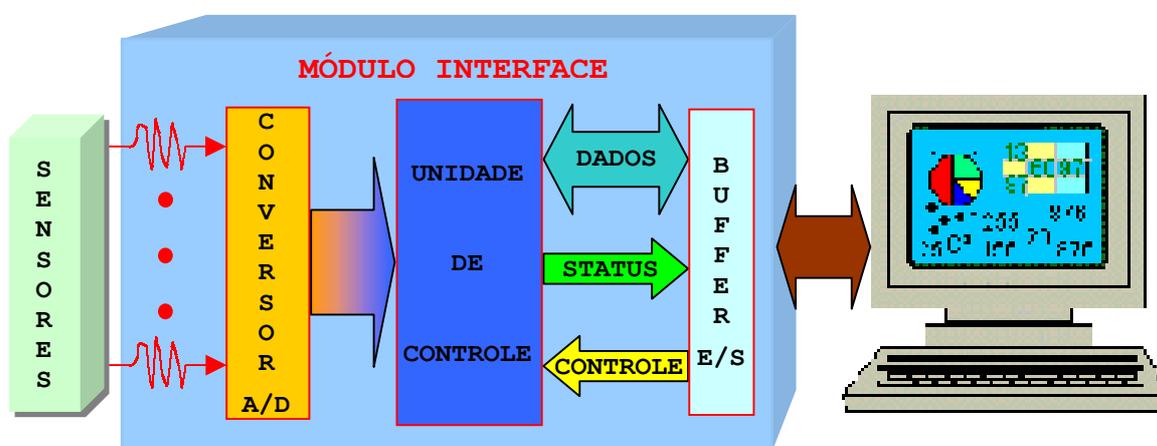


Fig. 3.2 – Diagrama de Blocos do Módulo Interface

3.2.1.1. INTERFACE SENSORES

A interface foi implementada visando dotar o sistema com um acesso analógico de 16 (dezesseis) canais, e assim poder-se interligar e monitorar até 16 (dezesseis) sensores que forneçam em sua saída um sinal compatível com estas entradas.

A figura 3.3 apresenta o diagrama de blocos da interface sensores.

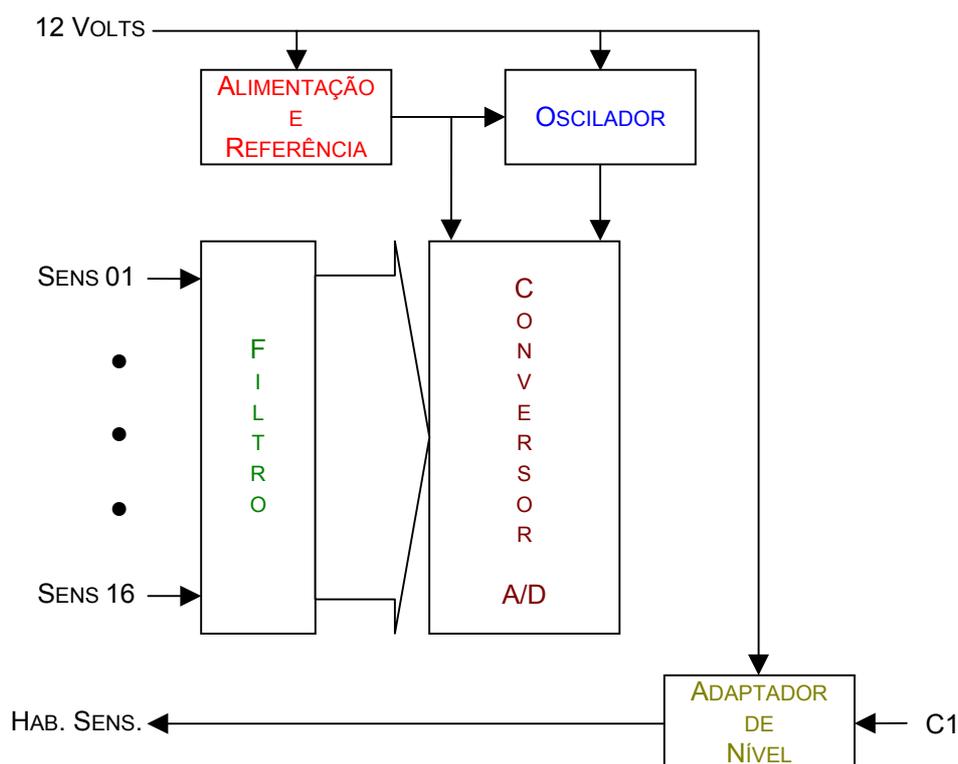


Fig. 3.3 – Diagrama de Blocos da Interface Sensores

O bloco de *ALIMENTAÇÃO E REFERÊNCIA* é composto por um regulador de tensão que fornece a alimentação para todo o circuito eletrônico do módulo interface, bem como a Tensão de Referência para o comparador do conversor A/D. A tensão de saída deste bloco é regulada a partir da tensão de 12VDC entregue por uma fonte de alimentação externa, gerando uma tensão precisa de 5,10 Volts DC.

O *OSCILADOR* tem a função de gerar a frequência de oscilação necessária à operação do conversor A/D, e esta frequência é ajustada em torno de 100KHz.

Os canais de entrada do módulo interface são dotados de um *FILTRO* passa-baixa, utilizado para evitar interferência de sinais espúrios que viessem a causar a leitura errônea dos sinais dos sensores.

O sistema prevê também a utilização de sensores, transdutores, etc., que necessitam de um sinal de habilitação antes da efetiva leitura de dados, na maioria das vezes com o objetivo de estabilizar os sinais de saída dos sensores, antes da medida. Este sinal foi denominado “HAB. SENS.” (Habilita Sensores). Como os sinais gerados pelo microcomputador através da porta paralela são de níveis em torno de 5 Volts, o bloco *ADAPTADOR DE NÍVEL* tem a função de compatibilizar este nível em 12Volts para uso externo.

O bloco *CONVERSOR A/D* foi implementado tomando-se como elemento central um circuito integrado ADC0816, dispositivo este que incorpora muitas das características padrões de aquisição de dados em um único chip, incluindo um conversor analógico-digital com resolução de 08 (oito) bits, um multiplexador de 16 canais, e lógica de controle para interfaceamento.

Este conversor usa aproximação sucessiva como técnica de conversão, e necessita de até oito interações para aproximar o resultado da conversão ao valor correspondente da tensão de entrada.

3.2.1.2. INTERFACE PC

Como já foi citado anteriormente, este projeto faz uso da porta de comunicação Paralela do IBM-PC, pela facilidade de acesso pelo usuário, a instalação, bem como pela disponibilidade desta interface em todos os modelos já lançados no mercado, desde os primeiros XTs até as mais modernas configurações.

Assim será apresentada a seguir uma descrição detalhada do funcionamento desta interface, para que se possa entender como o sistema foi projetado para fazer uso da mesma.

3.2.1.2.1. PORTA PARALELA DO IBM-PC

A porta paralela é uma interface de comunicação entre o computador e um periférico. Quando a IBM criou seu primeiro PC (Personal Computer) ou Computador Pessoal, a idéia era conectar a essa porta uma impressora, mas atualmente, são vários os periféricos que se utilizam da mesma porta para enviar e receber dados para o computador, como exemplos podemos citar: Scanners, Câmeras de vídeo, Unidade de disco removível, entre outros.

Com o conhecimento da eletrônica de funcionamento desta interface, e o domínio de uma linguagem de programação como: C/C++/C++Builder, Pascal/Delphi, Visual Basic, etc., poderá ser desenvolvido um programa que controle um equipamento conectado à porta paralela, ou um programa de transferência de arquivos entre dois computadores, utilizando um cabo paralelo como meio de transmissão, bem como desenvolver um módulo eletrônico que será conectado ao conector DB-25 da porta paralela.

3.2.1.2.1.1. MODELOS DE PORTA PARALELA

A configuração original da Porta Paralela de Impressora do IBM-PC, tem um total de 12 (doze) saídas e 05 (cinco) entradas digitais, acessadas via 03 (três) portas consecutivas de 08-bits disponíveis para entrada/saída pelo processador, em um conector externo padrão DB-25 (25 pinos) assim distribuídas:

- 08 (oito) pinos de saída acessados como porta de “Dados”;
- 05 (cinco) pinos de entrada acessados como porta de “Status”;
- 04 (quatro) pinos de saída acessados como porta de “Controle”;
- Os demais 08 (oito) pinos restantes são referenciados ao terra eletrônico.

A figura 3.4 mostra um diagrama do conector DB-25, e a figura 3.5 mostra uma foto deste conector.

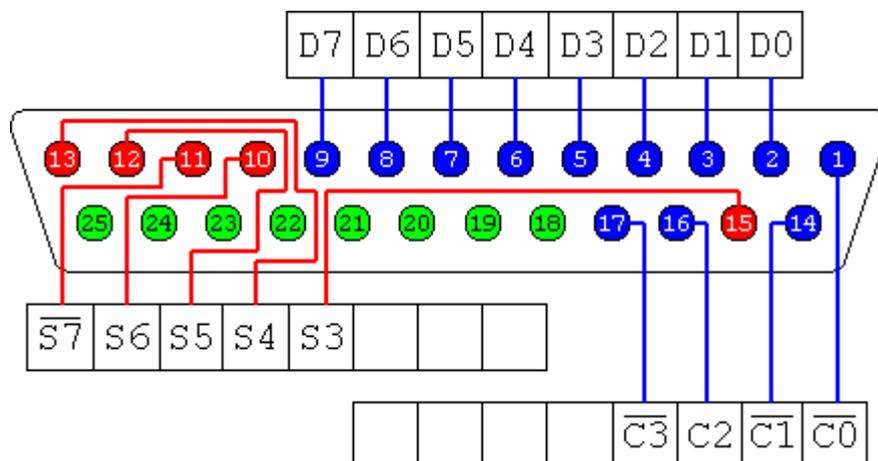


Fig. 3.4 – Diagrama de Pinagem do Conector DB-25



Fig. 3.5 – Conector DB-25 Macho

Ao longo dos anos foram introduzidas várias versões aprimoradas das especificações originais que são:

- Standard Parallel Port (SSP): transmissão unidirecional; pode chegar a uma taxa de transmissão de dados a 150KB/s. Comunica-se com a CPU utilizando um BUS de dados de 8 bits. Para a transmissão de dados entre periféricos são usados 4 bits por vez.
- Enhanced Parallel Port (EPP): transmissão bidirecional; chega a atingir uma taxa de transferência de 2 MB/s (para atingir essa velocidade, será necessário um cabo especial); comunica-se com a CPU utilizando um BUS de dados de

32 bits; para a transmissão de dados entre periféricos são usados 8 bits por vez.

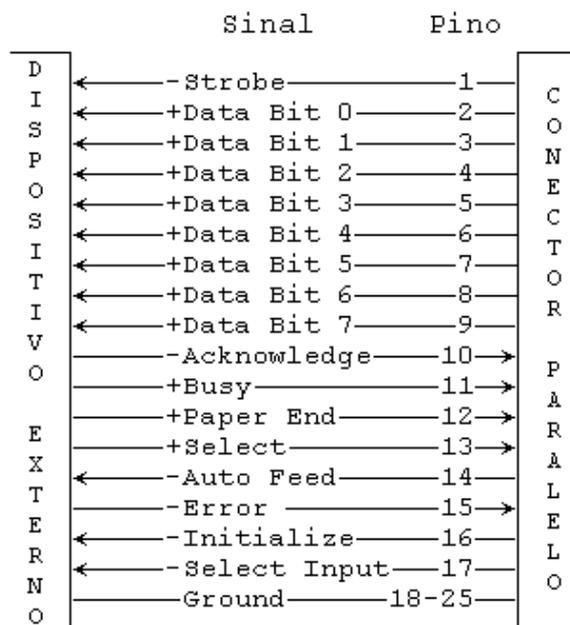
- Extended Capability Port (ECP): tem as mesmas características que a EPP, porém, utiliza DMA (acesso direto à memória), sem a necessidade do uso do processador, para a transferência de dados; utiliza também um buffer FIFO de 16 bytes.

3.2.1.2.1.2. ENDEREÇAMENTO USADO PELA PORTA PARALELA

O computador nomeia as portas paralelas, chamando-as de LPT1, LPT2, LPT3 etc., mas, a porta física padrão é a LPT1, e seus endereços de acesso são: 378H(hexa decimal) (para enviar um byte de dados), convencionado como Registro de DADOS (DATA); 379H (para receber um valor através da porta), convencionado como Registro de ESTADO (STATUS); e 37AH (para enviar dados), convencionado como Registro de CONTROLE (CONTROL). Às vezes pode está disponível a LPT2, e seus endereços são: 278H, 279H e 27AH, com as mesmas funções dos endereços da porta LPT1, respectivamente.

3.2.1.2.1.3. DENOMINAÇÃO DOS SINAIS NA PORTA PARALELA

Os sinais eletrônicos presentes no barramento da porta paralela, são convencionados conforme mostra o diagrama a seguir:



Sinal	Bit do Registro	Pino do Conector	Direção de E/S
-Strobe	C0	1	Saída
+Data Bit 0	D0	2	Saída
+Data Bit 1	D1	3	Saída
+Data Bit 2	D2	4	Saída
+Data Bit 3	D3	5	Saída
+Data Bit 4	D4	6	Saída
+Data Bit 5	D5	7	Saída
+Data Bit 6	D6	8	Saída
+Data Bit 7	D7	9	Saída
-Acknowledge	S6	10	Entrada
+Busy	S7	11	Entrada
+Paper End	S5	12	Entrada
+Select In	S4	13	Entrada
-Auto Feed	C1	14	Saída
-Error	S3	15	Entrada
-Initialize	C2	16	Saída
-Select	C3	17	Saída
Ground	-	18-25	Saída

(Os Sinais S7, C0, C1 & C3 são invertidos)

3.2.1.2.1.4. COMUNICAÇÃO COM DISPOSITIVOS EXTERNOS

A comunicação através da porta paralela com dispositivos externos, se estabelece através dos sinais de seus registros, e o estabelecimento desta comunicação se procede em função do modo de operação configurado.

- **Modo SSP**

A porta paralela, no modo padrão (SSP), disponibiliza cinco entradas que podem ser utilizadas para comunicação com dispositivos externos, quais sejam: “Acknowledge” no pino 10, “Busy” no pino 11, “Paper End” no pino 12, “Select” no pino 13, e “Error” no pino 15, os quais formam o Registro de STATUS. Portanto, através do Registro de STATUS, poderão ser transferidos cinco bits de uma só vez para o microcomputador, possibilitando, assim, capturar sinais do mundo externo para dentro do computador, como por exemplo, saber se um sensor está ativo ou não; se um sinal de alarme foi disparado, etc.

Usando-se instruções de programação de leitura em portas, o Registro de STATUS poderá ser lido, e com isto saber-se se o sinal de um determinado pino está em nível lógico alto ou baixo (“0” ou “1” para o sistema binário).

As instruções de leitura em portas lêem um byte (oito bits). Portanto para saber se um determinado sinal está alto ou baixo, o sistema implementado deverá verificar o valor binário deste byte, para identificar o estado de cada sinal que está relacionado a um bit. No caso do Registro de STATUS, somente cinco bits são operacionais, portanto os bits das posições 0, 1 e 2 não estão relacionados a um sinal definido e não deverão ser considerados, ainda que façam parte do byte recebido.

No sentido inverso, o dados a serem enviados para o dispositivo externo, serão escritos nos Registros de CONTROLE e de DADOS.

A figura 3.6 apresenta um esquema de funcionamento da porta paralela operando no modo SPP.

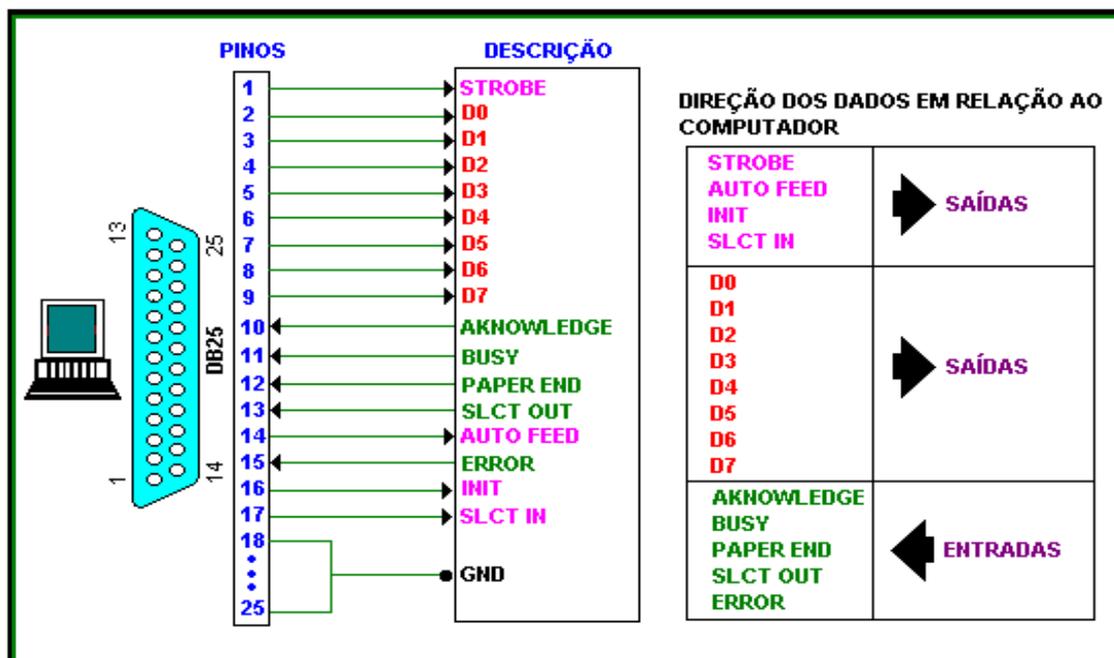


Fig. 3.6 – Funcionamento no Modo SSP

- **Modo EPP**

O modo EPP permite, através de 08 (oito) vias, a transferência bidirecional de dados entre o PC e um dispositivo externo. A transferência se dá mediante um byte que é enviado ou recebido de cada vez, através do Registro de DADOS.

O Controle da direção dos dados é feito através da manipulação do Bit 5 do Registro de CONTROLE (C5), endereçado através da porta LPT1 37A(H), ou LPT2 27A(H).

Um estado lógico “0” neste bit, define o sentido dos dados como de saída do PC, tal qual no modo SSP, de modo que se pode escrever no Registro de DADOS a informação (byte) que se deseja enviar para o dispositivo externo.

Para receber um byte de dados do dispositivo externo, é necessário colocar um nível lógico “1” no bit 5 do Registro de CONTROLE (C5), e em seguida uma instrução de leitura poderá ler os dados disponibilizados no barramento de dados pelo dispositivo externo.

No modo EPP os dados também poderão ser escritos ou lidos na porta LPT1 37C(H) ou LPT2 27C(H).

A figura 3.7 apresenta um esquema de funcionamento da porta paralela operando no modo EPP.

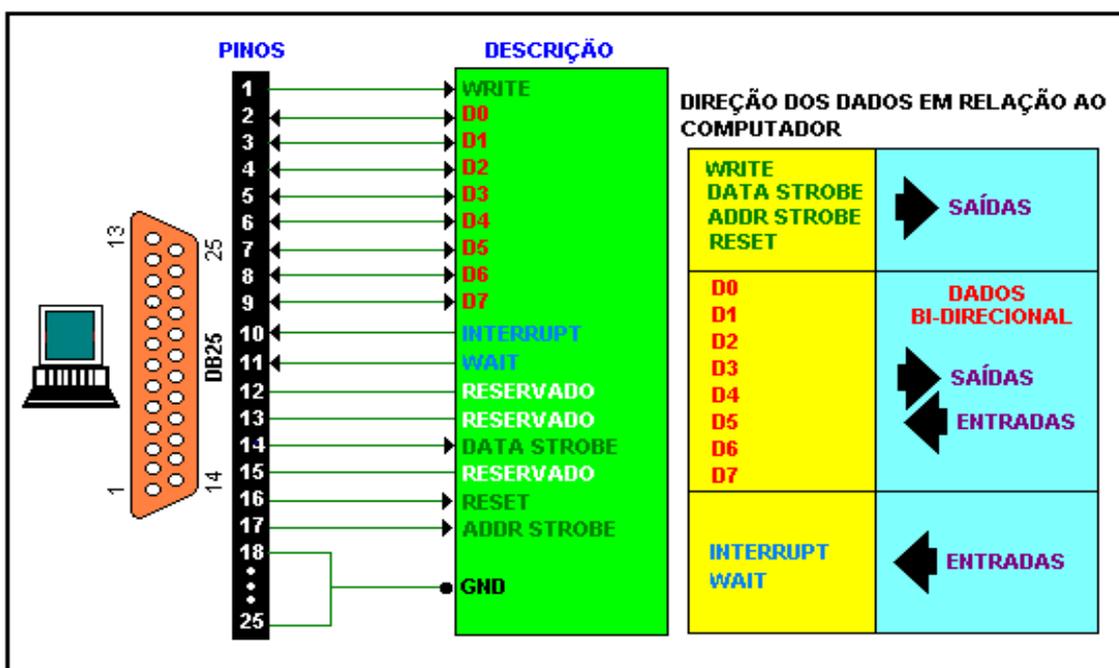


Fig. 3.7 – Funcionamento no Modo EPP

3.2.1.2.2 DESCRIÇÃO DA INTERFACE PC DESENVOLVIDA

Conforme visto, a comunicação com o PC utilizando-se a porta paralela se dá através dos sinais de CONTROLE, STATUS e DADOS. Assim o sistema desenvolvido se fundamenta nestes sinais para gerenciar toda a transferência de dados de e para o PC.

O sistema foi desenvolvido visando utilizar o modo SSP, a fim de ser compatível com qualquer configuração de microcomputador, e sem que haja necessidade de configuração de modo de operação da porta paralela, por parte do usuário.

Para ilustrar o modo de operação, protocolo de conversão e leitura de dados, e funcionamento do interfaceamento e comunicação com o microcomputador, é apresentado um diagrama de blocos na figura 3.8.

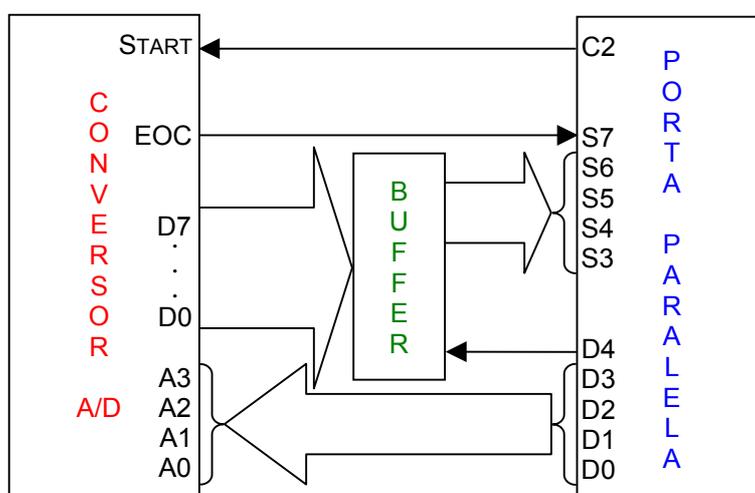


Fig. 3.8 – Diagrama de Interfaceamento

No diagrama de blocos da figura 3.8 verifica-se que os dados digitais (bits D0 a D7) do conversor A/D provenientes da conversão dos sinais dos sensores, são transferidos para o microcomputador através do Registro de STATUS (S3 a S6), consequentemente transferindo-se 04 bits por vez. A função do BUFFER é fazer a seleção dos bits de dados (D0 a D3 ou D4 a D7), do conversor A/D, a serem

disponibilizados para o barramento da porta paralela. A seleção é feita pelo bit D4 do Registro de DADOS. O sinal de início de conversão (START) é promovido pelo bit C2 do Registro de CONTROLE, e a verificação de conclusão da conversão (EOC) é verificada através do bit S7 do Registro de STATUS.

Um protocolo, mínimo, de leitura dos dados de um canal do conversor, estabelecendo a seqüência de eventos, para a leitura dos dados referentes a um sensor, é implementado, e esta seqüência é apresentada no Diagrama de Timing da figura 3.9:

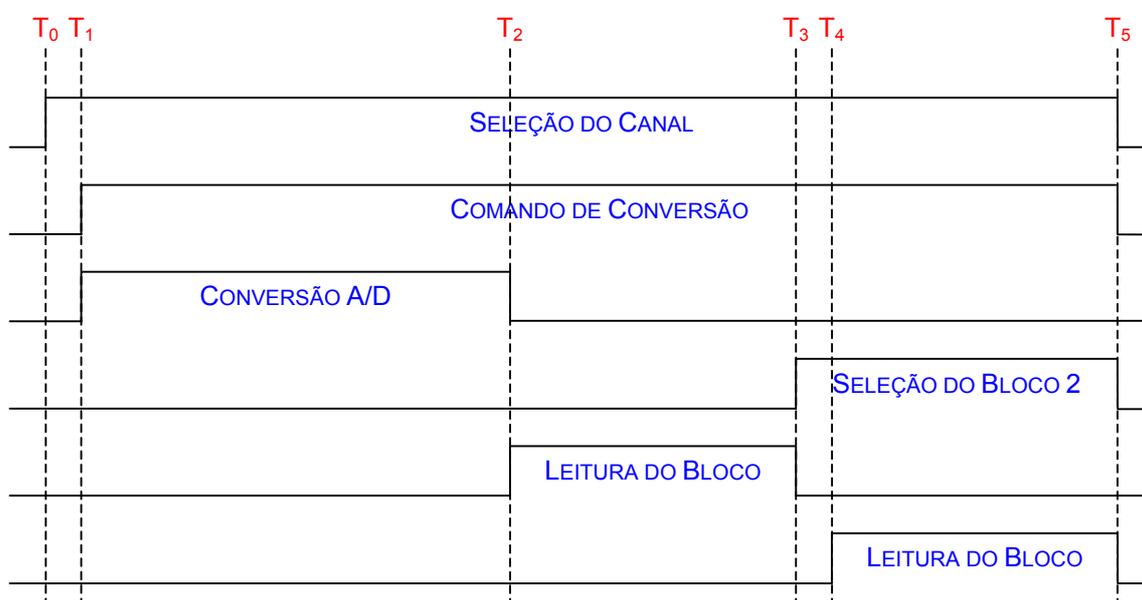


Fig. 3.9 – Diagrama de Timing de Leitura de um Canal

Verifica-se portanto que para a leitura dos dados de um sensor, conectado a um determinado canal de entrada (1 a 16), a seqüência de eventos é a seguinte:

- Inicialmente, no instante T₀, o sistema define o canal de entrada a ser lido (SELEÇÃO DO CANAL), disponibilizando através dos bits D0 a D3 do Registro de DADOS da porta paralela, o endereço do canal para o conversor A/D (A0 a A3);

- b. Em seguida, no instante T_1 , é acionado o COMANDO DE CONVERSÃO (START), através do bit C2 do Registro de CONTROLE e o conversor passa a executar o processo de aproximação sucessiva para determinação do valor digital do sinal analógico de entrada (CONVERSÃO A/D);
- c. Após a conclusão da conversão A/D (EOC), no instante T_2 , que é verificada através do bit S7 do Registro de STATUS, o sistema faz a leitura dos quatro primeiros bits (D0 a D3) da “palavra” (oito bits) de dados (LEITURA DO BLOCO 1);
- d. Após a leitura do Bloco 1, no instante T_3 , o sistema aciona o BUFFER, através do comando de SELEÇÃO DO BLOCO 2, através do bit D4 do Registro de DADOS, fazendo com que os próximos bits (D4 a D7) da “palavra” (oito bits) de dados, sejam disponibilizados ao barramento da porta paralela;
- e. Em seguida ao acionamento do BUFFER, para seleção do 2º bloco de dados, no instante T_4 , o sistema faz a LEITURA DO BLOCO 2;
- f. Finalmente, após a leitura do segundo bloco dos dados, no instante T_5 , o sistema reinicializa todos os comandos, ficando pronto para uma próxima conversão e leitura de dados.

O sinal de habilitação de sensores “HAB. SENS”, previsto para permitir a utilização de sensores, transdutores, etc., que necessitam de um sinal de habilitação antes da efetiva leitura de dados, na maioria das vezes com o objetivo de estabilizar os sinais de saída dos sensores, antes da medida, é gerado a partir do Bit 1 do Registro de CONTROLE (C1) da porta paralela.

3.2.2. SOFTWARE

Os dados dos sensores, processados pelo Módulo Interface, são transferidos para o microcomputador, através da porta paralela, ficando disponíveis ao usuário do sistema, através do SOFTWARE DE USUÁRIO rodando no PC, com as funções de ler tais informações na porta paralela, processar, armazenar em disco, e apresentar ao usuário.

Conforme já explanado, o acesso à porta paralela do PC se dá através de leitura e escrita em registros do hardware. Portanto o SOFTWARE DE USUÁRIO, denominado SisMoS (Sistema de Monitoramento de Sensores), foi desenvolvido para executar estas funções.

As grandezas físicas a serem medidas, através dos sensores, em cada um dos canais de entrada (dezesseis) possuem características próprias de zero e fundo de escala, unidades, etc. Portanto o software prevê, em uma tela de configuração, as definições para cada um dos canais, permitindo a utilização do sistema com os mais variados padrões de sensores encontrados no mercado.

Uma outra característica de configuração implementada no SOFTWARE DE USUÁRIO, são as definições de aquisição de dados dos sensores, como horários de coleta, intervalo entre medidas, gravação dos dados em arquivo, apresentação gráfica dos dados, etc.

Ademais o SOFTWARE DE USUÁRIO foi desenvolvido objetivando apresentar uma interface clara e amigável, dotando o usuário de uma ferramenta que possibilite executar as tarefas básicas, normalmente implementadas e necessárias em um sistema de coleta de dados “stand-alone” como os conhecidos Data-Loggers e DAQ, vendidos comercialmente.

3.2.2.1. PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO

Para desenvolvimento do SOFTWARE DE USUÁRIO, foi utilizado um microcomputador PC Pentium III 850 MHz, com 128Mb de memória RAM, rodando o sistema operacional Microsoft Windows Me[®].

3.2.2.2. LINGUAGEM

A linguagem escolhida para desenvolvimento deste Software de Usuário é o Microsoft Visual Basic. Nesta linguagem o acesso ao hardware do PC é executado mediante o acesso a Bibliotecas de Ligações Dinâmicas (DLLs) com as funções específicas desejadas.

Uma DLL implementada pelo autor deste projeto, utilizando linguagem de baixo nível, foi utilizada para permitir o acesso aos registros da porta paralela do microcomputador, pelo Visual Basic, uma vez que esta linguagem não implementa recursos de acesso direto a tais registros.

3.2.2.3. OPERAÇÃO DO SOFTWARE DE USUÁRIO

A seção 4.3. traz o manual de usuário do SISMOS, com todas as características e modos de operação, detalhes de configuração, instalação, operação, etc.

4. RESULTADOS

4.1. TESTES E PERFORMANCE

O sistema foi exaustivamente testado durante vários meses nos laboratórios do INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, na unidade CRN – Centro Regional de Natal, fazendo uso de vários sensores e transdutores disponíveis como *Temperatura*, *Direção de Vento*, *Velocidade de Vento*, *Pluviômetro*, *Bateria*, etc, instalado em um microcomputador PC 486, com 32Mb de memória RAM, rodando o sistema operacional Microsoft Windows 98[®].

A verificação da performance foi feita utilizando-se instrumentação de precisão disponível no INPE/CRN, constatando-se grande estabilidade no seu funcionamento.

De precisão global de conversão verifica-se que é função de vários erros, que são analisados a seguir:

4.1.1. ERRO DO MULTIPLEXADOR

Conforme citado na seção 3.2.1.1., foi utilizado como elemento central do processamento de conversão o circuito integrado ADC0816, que incorpora entre outros, um multiplexador. O erro introduzido por este elemento é devido, basicamente, à variação da resistência (ΔR_{on}) apresentada pelas chaves analógicas de cada canal. Para o circuito integrado utilizado (ADC0816), a variação típica de resistência (ΔR_{on}), fornecida pelo fabricante, é de 75Ω , que, face a impedância de entrada do sistema de $1M\Omega$, introduz um erro percentual dado por

$$\xi_{mux} \cong 75/10^6 * 100\% = 0,0075\% \ll \frac{1}{4} \text{ LSB} \quad (3.1)$$

onde :

ξ_{mux} é o erro introduzido pelo multiplexador

LSB é o valor do Bit Menos Significativo (Last Significant Bit)

Sendo, portanto, insignificante em relação a outros erros introduzidos pelo conversor A/D

4.1.2. ERRO DA TENSÃO DE REFERÊNCIA

Este erro deve-se, fundamentalmente, ao fator de estabilidade em temperatura, uma vez que a rede resistiva, incorporada ao conversor A/D apresenta uma impedância constante em toda a faixa de seleção, descartando, assim um possível erro por variação de carga.

Em uma faixa de temperatura de -20°C a $+60^{\circ}\text{C}$, o regulador utilizado (LM205) como gerador de Alimentação e Referência, apresenta, segundo o fabricante, um fator de estabilidade de 0,3%, sendo tipicamente $0,2\% < \pm \frac{1}{2}$ LSB (National Semiconductor, 1999)

4.1.3. ERRO DE CONVERSÃO A/D

- **Linearidade:** Quantificado devido a não linearidade do conversor A/D como sendo o máximo desvio compreendido na interseção dos pontos de erro com a curva característica de transferência. Para o conversor utilizado, o erro de não linearidade é de $\pm \frac{1}{2}$ LSB, sendo tipicamente $\pm \frac{1}{4}$ LSB;
- **No Zero:** Define-se como sendo a diferença, sobre a curva característica de transferência, entre o valor real e ideal, para uma tensão de entrada nula (0Volts). Para o conversor utilizado, o erro de zero é de $\pm \frac{1}{2}$ LSB, sendo tipicamente de $\frac{1}{4}$ LSB

- **A Plena Escala (*full scale*):** de forma análoga, define-se como sendo a diferença, sobre a curva característica de transferência, entre o valor real e ideal, para uma tensão de entrada de fundo de escala. Para o conversor utilizado, o erro de *full scale* é de $\pm \frac{1}{2}$ LSB, sendo tipicamente $\pm \frac{1}{4}$ LSB.

A figura 4.1 mostra uma representação gráfica dos erros de linearidade, zero e *full scale*, de conversão A/D para 3 bits, obtida do catálogo do fabricante (National Semiconductor, 1999)

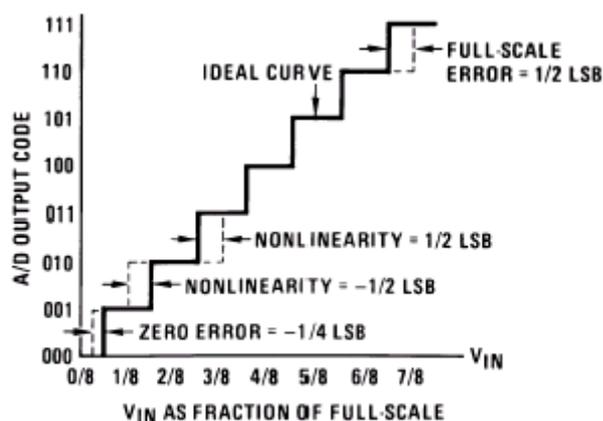


Fig. 4.1 – Curva de Transferência A/D para 03 bits

- **Quantização:** Este erro, decorrente da resolução do conversor A/D, é de, no máximo, $\pm \frac{1}{2}$ LSB.

A figura 4.2 mostra a curva de precisão absoluta do conversor A/D com a representação gráfica dos erros de quantização e outros inerentes, compostos da adição dos erros de linearidade, zero e *full scale*, de conversão A/D para 3 bits, obtida do catálogo do fabricante (National Semiconductor, 1999).

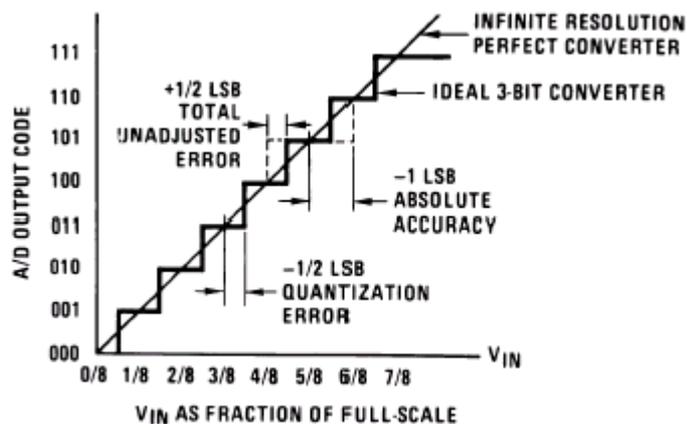


Fig. 4.2 – Curva de Precisão Absoluta A/D para 03 bits

Como forma final de qualificar o sistema, introduz-se o parâmetro *precisão absoluta*, que caracteriza a diferença entre o valor que deveria representar a tensão de entrada e o valor binário (digital) fornecido pelo conversor, incluindo-se a quantização de todos os outros erros.

Para verificação da performance do sistema, em relação a conversão do valor de tensão lido em suas entradas, foi utilizada uma fonte de tensão de precisão, para fornecer uma voltagem nas entradas da INTERFACE SENSORES, e com auxílio de um multímetro digital, também de precisão, a fonte foi ajustada, inicialmente, com uma tensão de $0,000V \pm 2mV$, e obtendo-se um valor que está dentro das especificações estabelecidas, qual seja:

Com $V_{in} = 0,000V \pm 2mV$, o valor digital obtido foi de:

$$\begin{array}{cc}
 M & L \\
 S & S \\
 B & B \\
 V_{dig} = 00000000 & \text{ou} \\
 V_{dig} = 00000001
 \end{array}$$

Valor Digital = 0 ou 1

De modo similar, a fonte foi ajustada em $2,540V \pm 2mV$, obtendo-se um valor dentro da faixa de tolerância:

Para $V_{in} = 2,540V \pm 2mV$, o valor digital obtido foi de:

M	L
S	S
B	B

$V_{dig} = 01111111,$
 $V_{dig} = 01111110$
 $V_{dig} = 01111101$

$$125 < \text{Valor Digital} < 127$$

Finalmente, a fonte foi ajustada em $5,100V \pm 2mV$, verificando-se que, mais uma vez, o valor obtido encontra-se dentro das especificações:

Para $V_{in} = 2,540V \pm 2mV$, o valor digital obtido foi de:

M	L
S	S
B	B

$V_{dig} = 11111111,$
 $V_{dig} = 11111110$
 $V_{dig} = 11111101$

$$253 < \text{Valor Digital} < 255$$

A tabela 3.1 apresenta os valores de parâmetros de performance do sistema.

Tab. 4.1 - Parâmetros de Performance

Parâmetro	Valor Garantido	Valor Típico
MULTIPLEXADOR		
• Resistência de Entrada (R_{on})	3K Ω	1,5K Ω
• Variação de Resistência entre Canais (ΔR_{on})	100 Ω	75 Ω
TENSÃO DE REFERÊNCIA		
• Coeficiente de Temperatura	0,3%	0,2%
• Regulação	0,03% / V	0,015% / V
CONVERSOR A/D		
• Resolução	8 bits	-
• Não Linearidade	$\pm 1/2$ LSB	$\pm 1/4$ LSB
• Erro de Zero	$\pm 1/2$ LSB	$\pm 1/4$ LSB
• Erro de <i>Full Scale</i>	$\pm 1/2$ LSB	$\pm 1/4$ LSB
• Erro Total Acumulado	± 1 LSB	$\pm 1/4$ LSB
• Erro de Quantização	$\pm 1/2$ LSB	-
• Precisão Absoluta	$\pm 1 1/2$ LSB	± 1 LSB

4.2. CUSTOS

4.2.1. CUSTOS DE DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do protótipo foram necessários produtos e ferramentas de desenvolvimento, quais sejam:

- **Conversor A/D ADC0816** : Circuito integrado conversor Analógico-Digital de 08 bits , com 16 canais de entrada, fabricado pela National Semiconductor (R\$ 30,00);
- **Componentes Diversos** : Circuitos Integrados, Transistores, Resistores, Capacitores, Soquetes para CI, Placas de Circuito Impresso, etc. (custo estimado de R\$ 30,00);
- **Conector DB-25**: (R\$ 5,00)
- **Conector para fonte de alimentação**: (R\$ 2,00)
- **Barramento para conexão dos sensores**: (R\$ 3,00)

- **Caixa de Acondicionamento em Plástico ABS** (R\$ 15,00);
- **Cabo Paralelo DB25-DB25** (R\$ 5,00);
- **Fonte de Alimentação:** Para alimentação do Módulo Interface foi utilizada uma fonte de alimentação Entrada:110/220 VAC, Saída: 12VDC 300mA, encontrada facilmente em qualquer loja de eletrônicos. (R\$ 15,00);
- **Ferramenta de Desenvolvimento de Software:** A ferramenta utilizada foi o Visual Basic 5.0, que não está mais disponível para venda, a sua versão mais atual é Microsoft Visual Basic.Net 2002 Standard Inglês Acadêmico (R\$ 240,00)
- **Literatura Especializada** (R\$ 400,00);

- **CUSTO TOTAL DE DESENVOLVIMENTO** : R\$ 745,00.

Outrossim, a instrumentação de medição e testes, de custos bastante elevados, e necessária à implementação de testes diversos para verificações de funcionamento, foram viabilizadas pelo INPE/CRN (Unidade Natal), que dispõe de vasto laboratório de desenvolvimentos em eletrônica, e onde são exercidas as atividades de trabalho profissional do autor deste trabalho.

Bem como, o custo de desenvolvimento dos softwares agregados (DLLs, OCXs, Software de Usuário em Microsoft Visual Basic, etc.) não são considerados pois fazem parte do trabalho aqui apresentado.

4.2.2. CUSTOS DE REPRODUÇÃO

Uma vez que já se tem o protótipo desenvolvido, os materiais a serem adquiridos para reprodução do produto apresentado podem ser estimados em:

- **Conversor A/D ADC0816:** (R\$ 30,00);

- **Componentes Diversos** : Circuitos Integrados, Transistores, Resistores, Capacitores, Soquetes para CI, etc. (custo estimado de R\$ 30,00);
- **Conector DB-25**: (R\$ 5,00)
- **Conector para Fonte de Alimentação**: (R\$ 2,00)
- **Barramento Para Conexão dos Sensores**: (R\$ 3,00)
- **Reprodução da Placa de Circuito Impresso**: (R\$ 20,00)
- **Caixa de Acondicionamento em Plástico ABS** (R\$ 15,00);
- **Fonte de Alimentação**: Entrada:110/220 VAC, Saída: 12VDC 300mA (R\$ 15,00);
- **Cabo Paralelo DB25-DB25** (R\$ 5,00);

- **CUSTO TOTAL DO PRODUTO** (Estimado): R\$ 125,00.

O desenvolvimento do protótipo apresentado neste trabalho comprova a sua viabilidade técnica de aplicação, e o custo final do produto aliado as funcionalidades do mesmo mostram que torna-se bastante viável a sua reprodução para diversas aplicações, tendo em vista o custo de um produto de coleta de dados comercial, conforme apresentado no Apêndice deste trabalho.

4.3. MANUAL DE USUÁRIO DO SISTEMA

Informações Gerais

O *SISTEMA DE MONITORAMENTO DE SENSORES (SisMoS)*, é um sistema composto de uma interface de hardware e um software de operação. À interface serão interligados os sensores a serem monitorados e o microcomputador. Este último será interligado através da porta de impressora padrão Centronics (porta paralela).

Sobre este Manual

Este Manual de Operação, fornece informações detalhadas sobre os procedimentos de instalação e operação do hardware e do software. É recomendada a leitura dos procedimentos de instalação do hardware visando observar os limites e requisitos mínimos exigidos, de forma a proceder-se uma operação correta, segura e que não venha a prejudicar o perfeito funcionamento ou até mesmo danificar o sistema. Bem como recomenda-se a instalação do software para proceder a leitura deste manual, e facilitar o entendimento de suas funções.

Requisitos de Sistema

Para uso do SisMoS necessita-se de um microcomputador compatível com IBM-PC, com os seguintes requisitos:

Configuração Mínima:

- Processador 486-DX
- Windows 95 ou superior

- 8 MB of RAM
- 100 MB de espaço em disco (antes da instalação)
- Placa de Vídeo VGA 800x600 com 16 bits de cores
- Drive de CD-ROM
- Mouse
- Porta Paralela padrão Centronics

Configuração Recomendada:

- Processador Pentium
- Windows 95 ou superior
- 64 MB of RAM
- 1 Gb de espaço em disco (antes da instalação)
- Placa de Vídeo VGA 800x600 com 16 bits de cores
- Drive de CD-ROM
- Mouse
- Porta Paralela padrão Centronics

O que acompanha o sistema:

- CD com software de instalação;
- Fonte de Alimentação para Interface;
- Cabo paralelo Padrão Centrônicos para interconexão com microcomputador;
- Interface para sensores.

Instalação do Hardware

A interface é projetada para operar em condições ambientais adversas, não requerendo, portanto, cuidados especiais, desde que respeitados os limites preconizados nas especificações do sistema.

Preferencialmente deve-se instalar o sistema em local abrigado e ventilado. O cabo fornecido para interconexão com o microcomputador, é de 1,5 m, sendo este comprimento um padrão vendido comercialmente em lojas de artigos de informática. Caso haja necessidade, este cabo pode ser confeccionado ou adquirido em comprimento diferente, entretanto convém observar as especificações máximas, e que dependem muito do sistema utilizado, em alguns casos pode-se ter este comprimento de até 20 m, mas em alguns modelos pode-se observar problemas para comprimentos acima de 03 m. Assim recomenda-se, de forma geral, quando não houver necessidade, manter o limite dos 03 m máximos para comprimento do cabo de interligação entre a interface e o microcomputador.

Para evitar quaisquer danos à interface, recomenda-se proceder as interligações com a fonte de alimentação da interface, bem como o microcomputador, desligados.

Interligação Interface-PC

A interface é conectada ao microcomputador, utilizando-se o cabo paralelo, através do conector DB-25 da interface ao conector DB-25 do microcomputador (conector para impressora paralela).

Interconexão com Sensores

A interconexão com os sensores é feita através dos terminais identificados de S01 a S16 na interface. Deve-se observar a polaridade dos terminais (+ -) para que correspondam aos sinais positivo e negativo provenientes de cada sensor.

Deve-se observar ainda os limites de especificação de entrada da interface (5.10 Volts), de forma que os sinais provenientes dos sensores não ultrapassem este limite. Caso seja necessário deve-se adaptar os sinais dos sensores utilizando-se técnicas de condicionamento de sinais para garantir um sinal de saída dos sensores nesta faixa de operação.

O sinal de *HABILITE*, presente na saída “HAB”, da interface fornece um sinal de 12VDC que tem como função habilitar sensores que assim necessitem ser energizados ou estabilizados segundos antes da leitura.

Instalação do Software

Para instalação do software “SisMoS”, deve-se executar o arquivo “setup” fornecido, e seguir os passos apresentados.

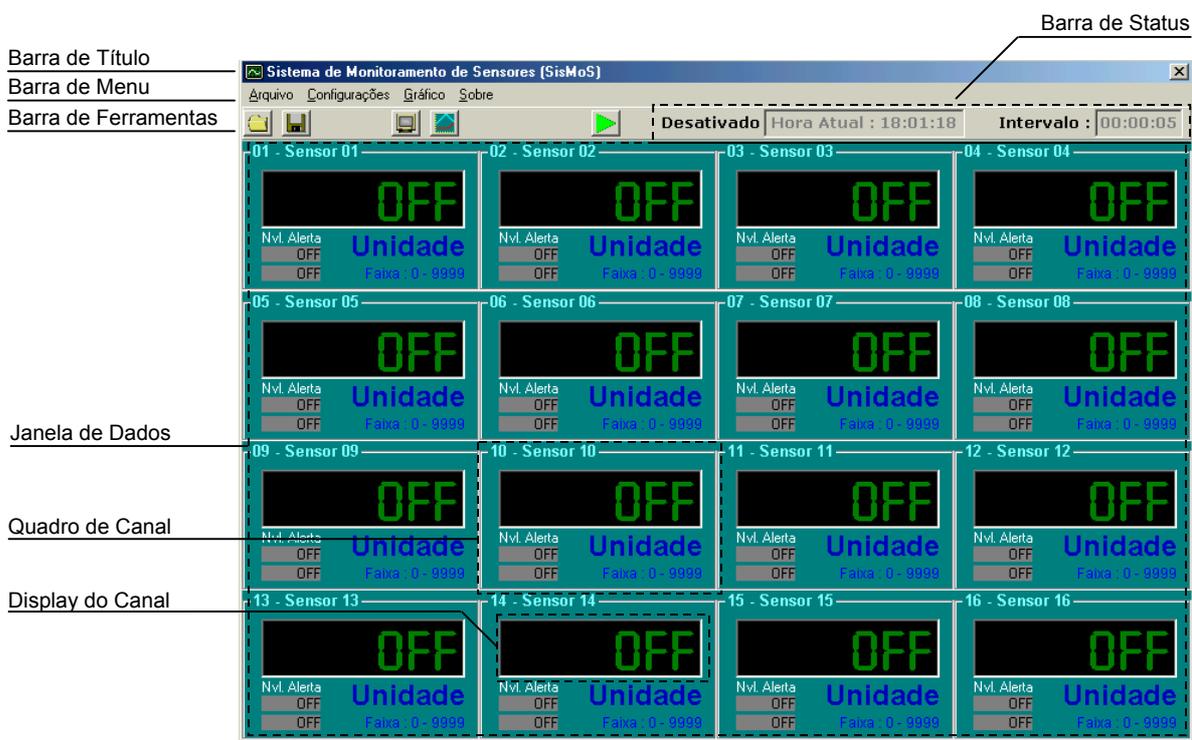
Interface de Usuário

O programa SisMoS compõe-se basicamente de 03 (três) janelas: uma janela principal uma de configuração e outra de gráficos.

Janela Principal

A janela principal do SisMoS agrupa um conjunto de características que facilitam a navegação, operação e configuração do sistema.

Serão descritos a seguir os componentes básicos da janela principal:



Barra de Título

A Barra de Título se estende ao longo do topo da aplicação, e mostra o nome do programa. O botão ao final, no lado direito, da barra de título permite a finalização do programa.

Barra de Menu

Pode-se escolher os itens do menu usando tanto o mouse quanto o teclado. Para uso do mouse, click no nome do item no menu que deseja acessar, quando o menu abrir, click no item desejado.

Para acessar via teclado, pressiona-se a tecla “ALT” e, com esta tecla pressionada, digita-se a letra sublinhada no nome do menu.

Barra de Ferramentas (Botões)

A barra de ferramentas constitui-se de botões que acessam rapidamente funções do menu, bem como a execução dos procedimentos de leitura de sensores.

A passagem do mouse por cima de cada um dos botões mostra um texto indicando a função daquele botão.

Barra de Status

A barra de Status está localizada do centro à direita da barra de ferramentas e mostra mensagens e estados do sistema, horário em que foi feita a última leitura de dados, e o intervalo entre as leituras.

Janela de Dados

A janela de dados mostra, para todas as 16 (dezesesseis) entradas de sensores do sistema, as implementações configuradas, como o *Nome do Parâmetro*, *Unidade*, *Faixa de Operação* e *Níveis de Alerta*, bem como, quando o sistema está ativo (coletando dados), os dados da última leitura efetuada.

Quadro de Canal

O “*Quadro de Canal*”, agrupa todas as informações referentes aquele canal (entrada de sensor), mostrando as configurações definidas para aquele sensor, bem como o “*Display de Canal*”

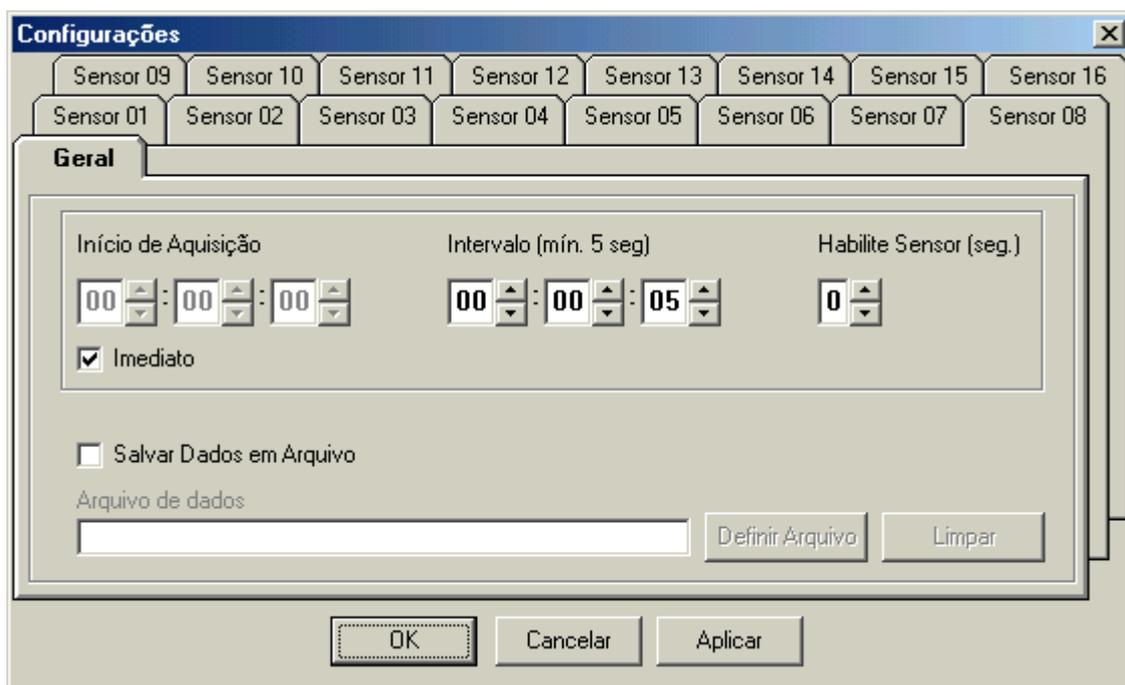
Display de Canal

O “*Display de Canal*”, apresenta os dados lidos do sensor ligado àquele canal, já formatado com as devidas casas decimais configuradas. Quando o sensor não está habilitado (ativo), o “*Display*” apresenta-se “apagado” e com a informação “*OFF*”. Ao ser ativado nas opções de configuração, o “*Display*” apresenta-se “ligado” e com o valor da última leitura de dados efetuada. Caso ainda não tenha sido efetuada nenhuma leitura, o “*Display*” apresenta-se zerado e com as devidas casas decimais.

Operação

Basicamente, o SisMoS é um sistema para monitoramento de 01 a 16 sensores ligados a interface de hardware. Para a leitura dos dados se estabelece alguns parâmetros de configuração do sistema de forma que o mesmo possa operar adequadamente. E assim se faz necessário uma configuração em função de que tipo de sensor está ligado em cada uma das entradas; de quando se deseja iniciar as leituras; de quanto em quanto tempo deseja-se fazer estas leituras; definir a necessidade de um sinal de excitação para os sensores e quanto tempo antes da leitura este sinal deve estar presente; caso se deseje que os dados lidos sejam armazenados automaticamente em arquivo, deve-se definir pasta e o nome deste arquivo.

Assim, antes de operar o sistema, se faz necessário estabelecer o que passamos a chamar de configuração. Para o estabelecimento desta configuração utiliza-se o menu “*Configurações*”, ou o botão correspondente , abrindo-se a janela de “*Configurações*”:



Nesta janela têm-se 17 abas correspondentes a configuração de cada um dos 16 sensores, *Sensor 01* a *Sensor 16* e uma aba de configuração *Geral*.

Geral

Nesta aba tem-se acesso a configurações que são genéricas e atual nas medidas de todos os sensores, e na operação geral do sistema.

Início de Aquisição:

Define-se aqui o horário em que o sistema executará a primeira medida, ou seja, fará a primeira leitura dos dados, após colocar o sistema em modo de execução. Este horário é definido utilizando-se os controles de spin up/down ou digitando-se a hora, minuto e segundos. Inicialmente esta opção está indisponível, uma vez que, por default, a opção “*Imediato*” está marcada. Esta opção diz ao sistema que logo que seja colocado em modo de execução a primeira leitura será imediata. Portanto, para se definir um

horário preciso para a primeira leitura de dados, deve-se desabilitar a caixa “*Imediato*” e definir o horário desejado. O horário pode variar de 00h:00m:00s a 23h:59m:59s.

Como referência para a programação do horário de início de aquisição, o SisMoS apresenta na “*Barra de Status*” a hora atual.



Intervalo (mín. 5 seg)

As leituras de dados dos sensores serão efetuadas periodicamente, num intervalo de tempo entre medidas definido nesta opção. O intervalo mínimo permitido é de 5 Seg, isto para garantir uma estabilidade no valor lido, bem como para garantir que sensores que necessitam de um tempo de estabilização, possam ser assegurados. O intervalo pode variar de 00h:00m:05s a 23h:59m:59s.

Habilite Sensor (Seg.)

Alguns tipos de sensores necessitam de uma excitação anterior a medida, ou que sejam alimentados, habilitados, ou excitados, antes da medida ser efetuada. Assim a interface disponibiliza um sinal de 12VDC, que poderá ser utilizado como “habilitador” para o sensor, antes da medida ser efetuada. Este sinal será ativado um intervalo de tempo antes do sistema fazer a leitura, e este tempo, de no máximo 05 seg, é definido nesta opção.

Salvamento em Arquivo

Os dados de sensores lidos pelo sistema são automaticamente colocados na janela de dados, para monitoramento pelo usuário do sistema. Entretanto estes dados

poderão ser automaticamente salvos em arquivo, que poderá ser acessado posteriormente pelo usuário para uma leitura histórica das medidas efetuadas.

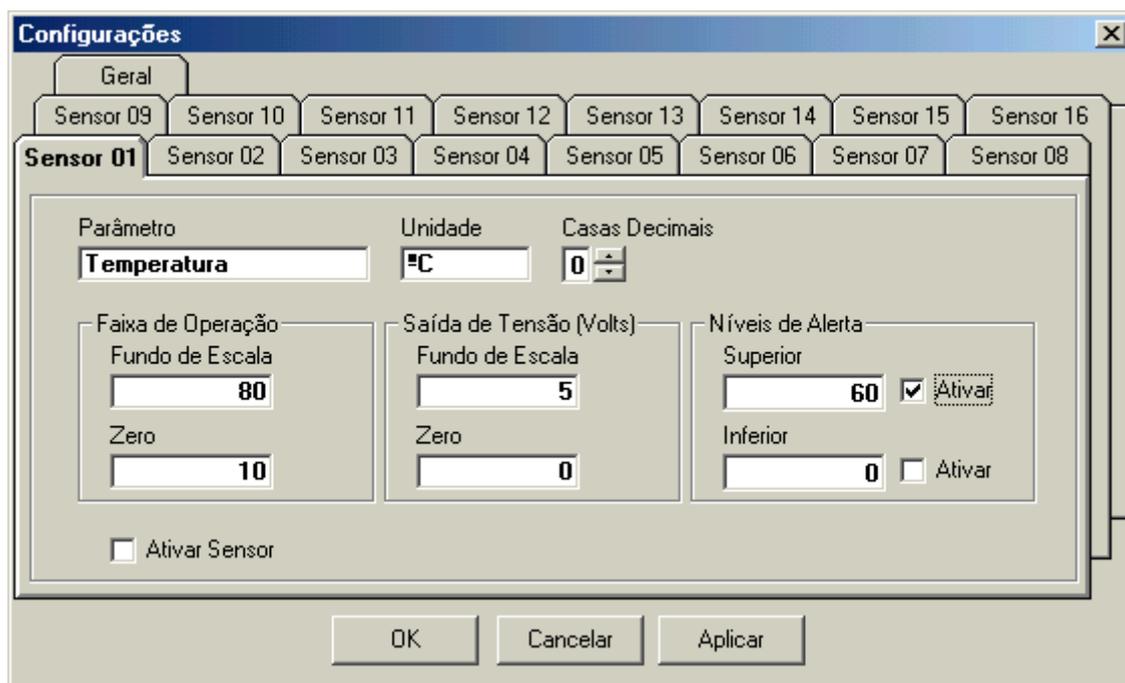
Para que os dados sejam arquivados, deve-se selecionar a caixa de opção “*Salvar Dados em Arquivo*”, e em seguida digitar na caixa de texto “*Arquivo de Dados*” o caminho e o nome do arquivo, ou ainda selecionar-se o arquivo através do botão “*Definir Arquivo*”, quando será aberta a janela de seleção de arquivo, no formato padrão do windows, e através da qual escolhe-se diretamente o diretório e a pasta em que será criado o arquivo, ou ainda selecionar-se um arquivo já existente.

O botão “*Limpar*” apaga o arquivo definido. Observando-se que, conforme alerta o sistema, “*Deve ser definido um arquivo para salvamento dos dados! Ou desmarque a opção “Salvar dados em Arquivo”*”

O arquivo de dados gerado pelo sistema SisMoS é do tipo texto (“.txt”), com os dados separados por “;”, o que torna fácil a leitura em qualquer editor de texto, bem como a importação por programas de gerenciamento e tratamento e manipulação de dados numéricos, como planilhas e aplicativos matemáticos, tais quais Microsoft EXCELL, MATHLAB, etc.

Configuração de Sensor

Através das abas *Sensor 01* a *Sensor16* da janela de “*Configurações*”, tem-se acesso às configurações de cada canal de entrada da interface.



Parâmetro

Nesta caixa de texto digita-se o nome da variável ou grandeza física cujo sensor está ligado àquela entrada e sendo monitorada naquele canal. Por exemplo, se o sensor que está ligado ao canal 01 (Sensor 01) é um sensor de temperatura, digita-se na caixa de texto “*Temperatura*”.

Unidade

Digita-se aqui a unidade de medida referente àquela grandeza que será monitorada neste canal, por exemplo, no caso de temperatura, “°C” (Graus Cécius), “*Kelvin*”, “*Fahrenheit*”, “*Rankine*”, etc.

Casas Decimais

Define-se, a quantidade de casas decimais que serão apresentadas para este sensor. Deve-se ter em mente que a máxima quantidade de casas decimais está associada a resolução do sensor, pois se numa escala de 0 a 100% a resolução máxima

para um determinado sensor de umidade, por exemplo, é de 1%, definir-se uma ou mais casas decimais para este sensor não representa informações significativas, ou até mesmo incorretas, pois 0.1% está dentro da escala de erro de resolução do sensor.

Faixa de Operação

A faixa de operação representa a faixa da grandeza física, definida pelo fabricante do sensor, em que o mesmo opera linearmente. Por exemplo um sensor de temperatura que garantidamente opera de forma linear para temperaturas de 10 a 80 graus Cécius:

Fundo de Escala: A máxima medida da grandeza física que o sensor pode medir. Por exemplo 80 graus Cécius

Zero: A mínima medida da grandeza física que o sensor pode medir. Por exemplo 10 graus Cécius

Saída de Tensão (Volts)

Um sensor normalmente produz em sua saída um sinal elétrico. O sistema SisMoS opera com sinais em tensão de até 5.10 Volts. Caso o sensor a ser utilizado não disponibilize em sua saída um sinal de voltagem de 0 a, no máximo, 5.10 volts, a saída do sensor deve ser acomodada, utilizando-se técnicas de condicionamento de sinais, para ser compatibilizada com a entrada da interface do sistema. Portanto, nesta opção de configuração define-se a faixa de saída de tensão do sensor, correspondente ao zero e fundo de escala da faixa de operação definida no item anterior.

Fundo de Escala: Nível de tensão de saída do sensor que corresponde ao valor do fundo de escala da faixa de operação. Por exemplo: um sensor de temperatura que opera de 10 a 80 °C, e fornece em sua saída uma tensão de 5 Volts quando temperatura for de 80 °C.

Zero: Nível de tensão de saída do sensor que corresponde ao valor do zero da faixa de operação. Por exemplo: um sensor de temperatura que opera de -10 a 80 °C, e fornece em sua saída uma tensão de 0 Volts quando temperatura for de -10 °C.

Níveis de Alerta

O SisMoS permite ao usuário estabelecer limites superior e inferior, para os quais ao ser atingido um desses valores o sistema emita um sinal de alerta, em forma audível (um sinal sonoro) e em forma visível, através de um sinal piscante intermitente na “*janela de dados*”, no “*quadro*” correspondente aquele sensor.

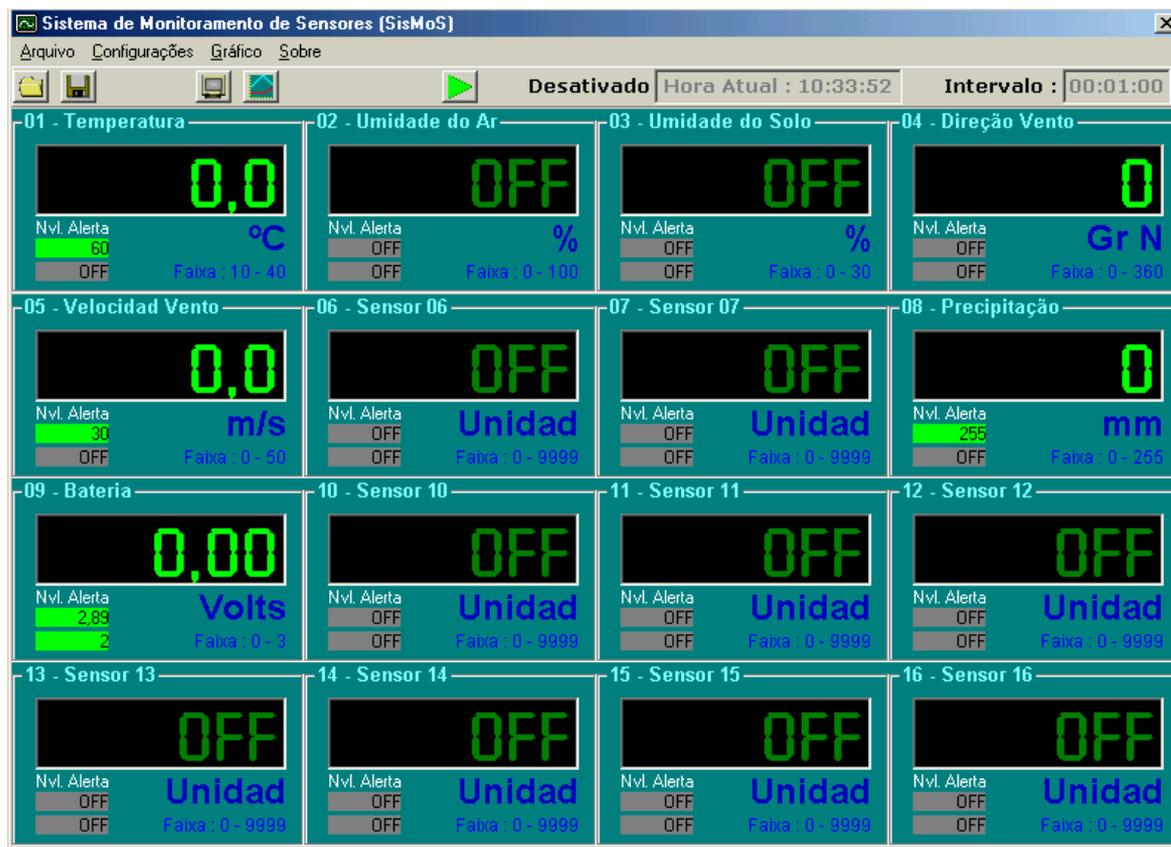
Superior: Limite de valor da grandeza física para o qual acima deste o sistema emite um sinal de alerta. Por exemplo, para um sensor de temperatura, 60°C, significando que para leituras iguais ou superior a este valor o sistema emitirá um sinal de alerta. A caixa de seleção “*Ativar*”, quando marcada, habilita o sistema a fazer a verificação do limite superior de alerta.

Inferior: Limite de valor da grandeza física para o qual abaixo deste o sistema emite um sinal de alerta. Por exemplo, para um sensor de temperatura, 20°C, significando que para leituras iguais ou inferiores a este valor o sistema emitirá um sinal de alerta. A caixa de seleção “*Ativar*”, quando marcada, habilita o sistema a fazer a verificação do limite inferior de alerta.

Ativar Sensor: Para tornar o sensor ativo, ou seja, para “ligar” o sensor na janela de dados e para que o SisMoS proceda as leituras e armazenamento dos dados, verificação de níveis de alerta, quando ativos, etc, esta caixa deve estar selecionada.

Após configurados todos os parâmetros, confirma-se através do botão “*Aplicar*”, continuando-se na janela de configurações, ou “*OK*”, retornando-se a janela de dados,

ou cancela-se as alterações de configurações e retorna-se a janela de dados, acionando-se o botão “Cancelar”.



A janela de dados agora apresenta a configuração aplicada, mostrando nos quadros de cada sensor o nome da grandeza física medida, as unidades, a faixa de operação, os níveis de alerta superior e inferior, e o *display* de dados, que apresenta-se “aceso” para os canais ativos e com as casas decimais definidas nas configurações. Os sensores que não foram ativados permanecem com o *display* “apagado” e com a informação “OFF”; bem como os níveis de alerta desativados para cada sensor, permanecem “cinza” e com a informação “OFF”.

Menu Arquivo

Uma vez configurado, são estabelecidos todos os parâmetros de sensores, em seus canais correspondentes, arquivo de salvamento, etc. Entretanto, quando for desligado, o sistema perderá todas as configurações. Quando o usuário, rodar novamente o SisMoS e desejar executar com aquela mesma configuração de parâmetros, terá de reconfigurar tudo outra vez. Para evitar este trabalho de reconfiguração, pode-se salvar toda esta configuração em um arquivo, através do menu “Arquivo”, “Salvar Configuração”



Assim, uma vez salva a configuração, quando se desejar operar com aquela mesma configuração, basta ler o arquivo de configuração, através do menu “Arquivo”, “Ler Configuração”

As opções de *Salvar* e *Ler* arquivo de configurações podem ser acessadas diretamente através dos botões da barra de ferramentas   , respectivamente.

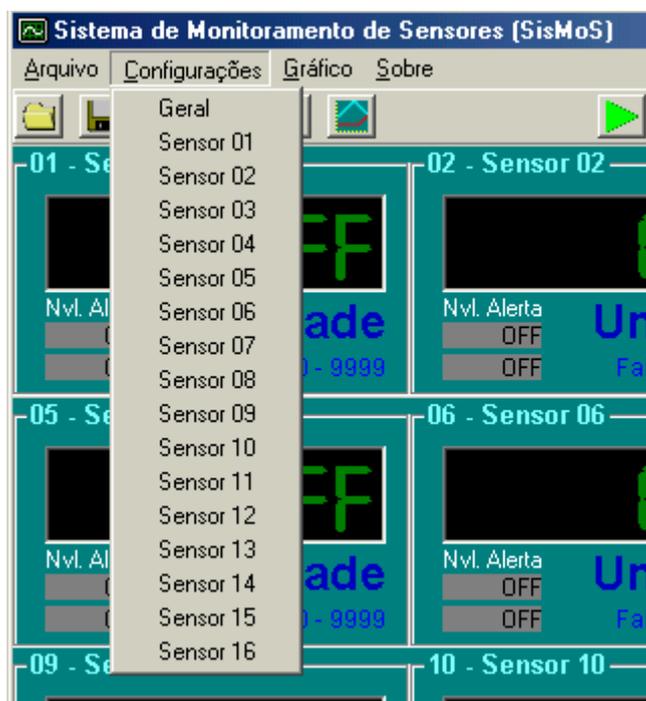
A opção “Minimizar”, do menu “Arquivo” permite minimizar a janela do SisMoS, colocando o ícone do sistema,  , no “systray” da “Barra de Tarefas” do Windows, no canto inferior direito. Quando o SisMoS está em modo de execução e é minimizado, o ícone na barra de tarefas alterna entre:  e 

Estando a janela do SisMoS minimizada na barra da tarefas, um click duplo no ícone do SisMoS restaura a mesma.

A opção “Sair” do menu Arquivo, finaliza o programa. Caso a configuração atual não tenha sido salva, será perguntado se deseja salvar, antes que seja definitivamente finalizado o programa.

Menu Configurações

Como já foi dito a janela de configurações pode ser acessada através do menu “Configurações” ou do botão correspondente. Através do menu “Configurações”, pode-se ter acesso diretamente a aba “Geral” ou a aba de um sensor específico, por exemplo “Sensor 10”.



Botão Executar

Uma vez configurado o horário de Início de Aquisição, o Intervalo de Aquisições, definido o arquivo de salvamento dos dados, os parâmetros dos sensores, etc., coloca-se o sistema em modo de execução, clicando-se no botão correspondente. A partir daí o sistema irá aguardar o horário de início para fazer a primeira coleta dos

dados, ou se definido na configuração de horário de início como “*imediate*”, o sistema já irá fazer a primeira leitura dos dados.



Para parar o modo de execução aciona-se o botão “*Parar Execução*”  .

Após a leitura dos dados dos sensores o SisMoS apresenta na “*Barra de Status*” o horário da última medida e o intervalo entre medidas consecutivas



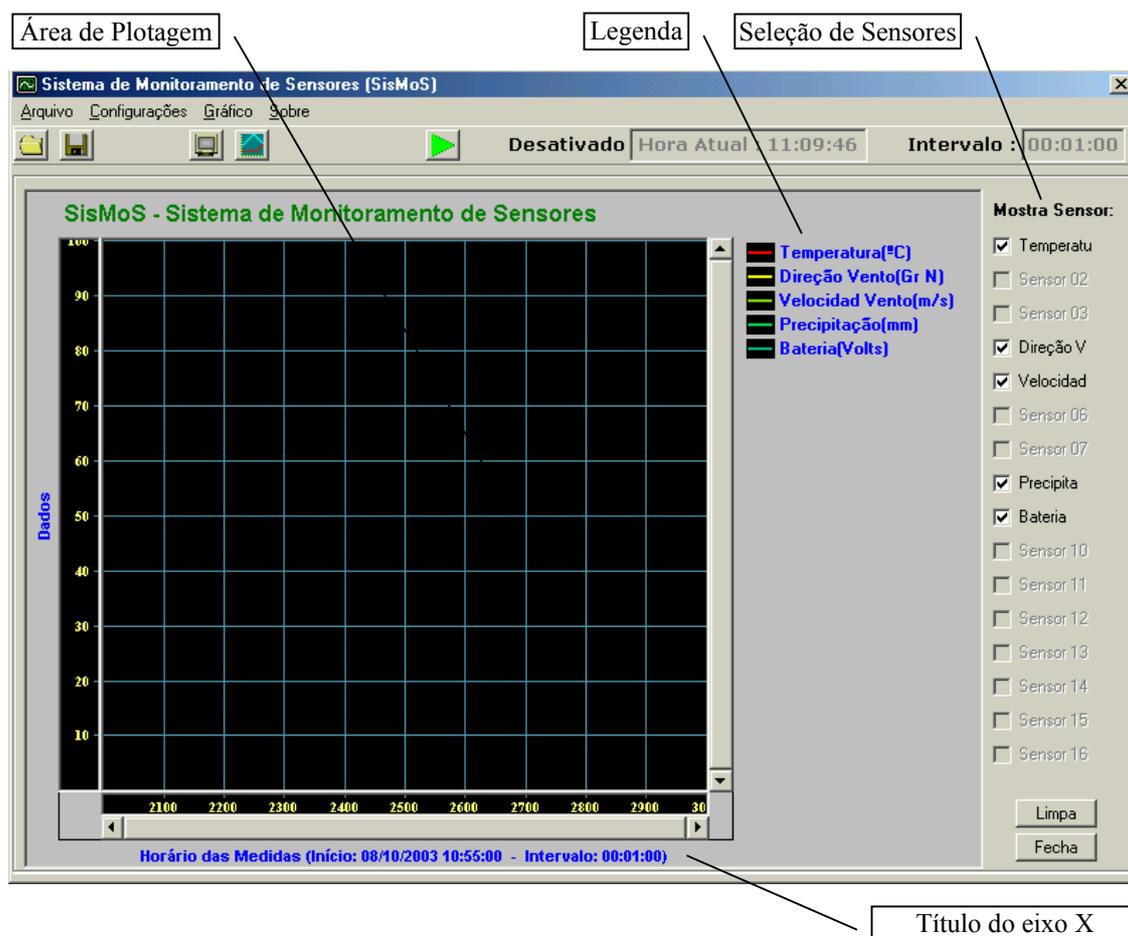
Gráficos

O SisMoS permite a visualização gráfica dos dados coletados.

Através do menu “*Gráfico*”, pode-se marcar a opção “*Plotar*”, que por default é marcada, e os dados serão plotados em um gráfico.

Recomenda-se deixar a opção “*Plotar*” desmarcada, quando o sistema for permanecer ativo e plotando dados por um longo período de tempo, e que o acompanhamento das curvas gráficas de dados não sejam imprescindíveis, tendo em vista que o acúmulo de dados plotados consomem recursos de memória do sistema tornando-o mais lento, especialmente para sistemas com configurações de hardware menos poderosas.

Através do menu “Gráfico”, “Mostrar”, ou do botão  , abre-se a “Janela de Gráfico”.



Na janela “Gráfico” visualiza-se a seqüência de dados de cada sensor, atualizado a cada nova leitura. O eixo vertical do gráfico mostra a faixa de valores lidos, e o horizontal mostra a data e horário das medidas.

Título do Eixo X

No título do eixo x (horizontal) vê-se o horário em que foram iniciadas as medidas plotadas, bem como o intervalo entre medidas.

Área de Plotagem

Nesta área serão plotados os valores para cada curva de sensor.

Legenda

Aqui é mostrada a legenda para cada uma das curvas de sensor com suas respectivas cores.

Seleção de Sensores

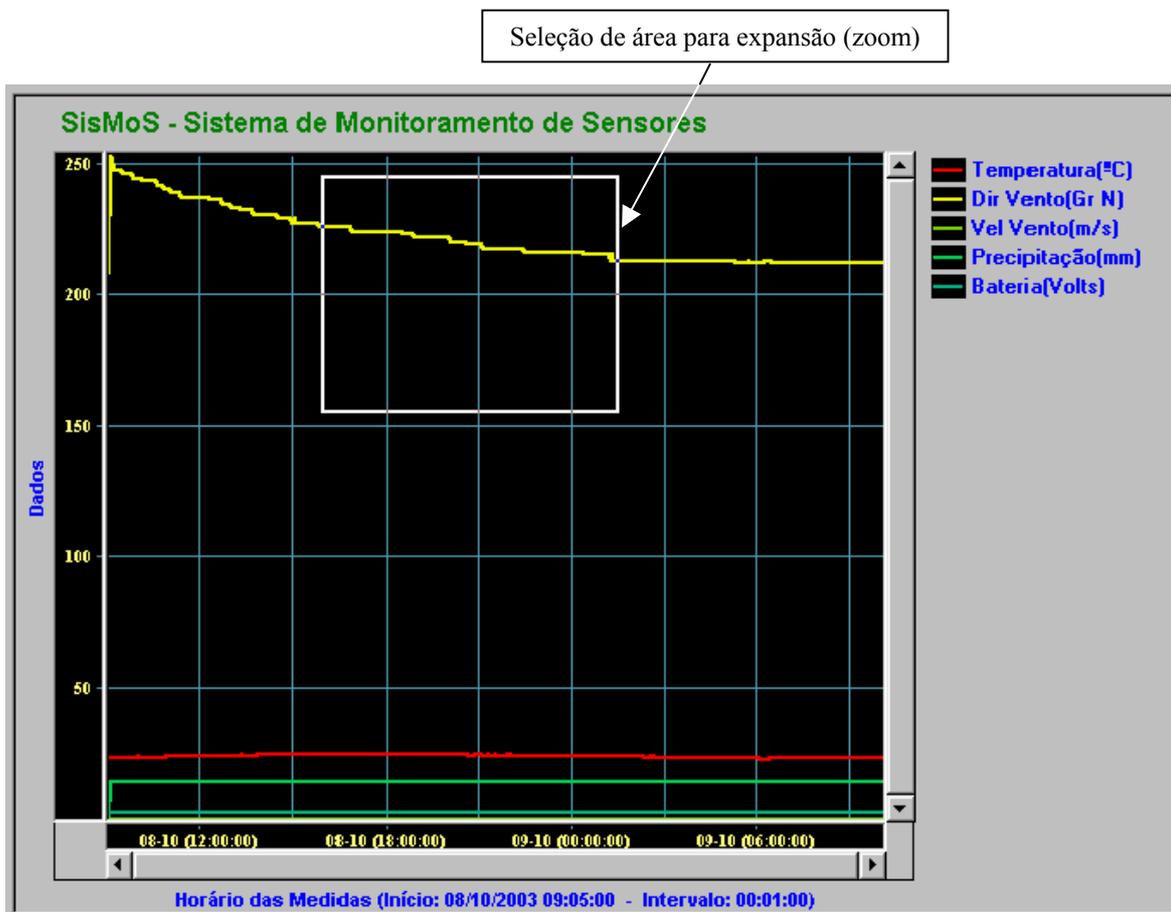
Através da seleção das respectivas caixas, serão mostradas na “*Área de Plotagem*” as curvas dos sensores.

Quando se faz uma nova seleção, marcando ou desmarcando uma caixa referente a um sensor, o gráfico na “*Área de Plotagem*” é automaticamente reescalado para o máximo valor medido entre todos os sensores. Isto torna-se útil quando deseja-se comparar as curvas de valores de apenas um ou alguns sensores, ou ainda quando os valores lido dos sensores são bastante distintos entre si. Por exemplo: um sensor de pressão atmosférica tem a sua faixa de medida acima dos 900mbar, e um outro sensor de velocidade de vento tem o seu valor em torno de 10 m/s, assim o eixo y estará escalonado no maior valor numérico que é em torno dos 900, o que faz com que variações na curva de velocidade de vento sejam, graficamente, quase imperceptíveis nesta escala. De forma que, selecionando-se apenas o sensor de velocidade de vento ou outro com variações em torno dos mesmos valores numéricos, o gráfico estará escalonado para os valores máximos lidos para este sensor, e as variações na curva serão mais facilmente visualizadas.

Zoom

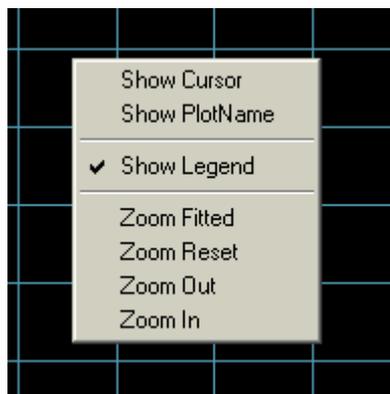
Uma forma de se visualizar mais detalhadamente um determinado trecho do gráfico plotado é através de um “zoom” em uma determinada área da “*Área de Plotagem*”. Isto pode ser feito clicando e arrastando o mouse e desta forma selecionando a área desejada, que automaticamente será expandida. Nesta nova área expandida pode

ser feito o mesmo procedimento de seleção e expansão, e assim por diante, até o limite do sistema.



Menu da Área de Plotagem

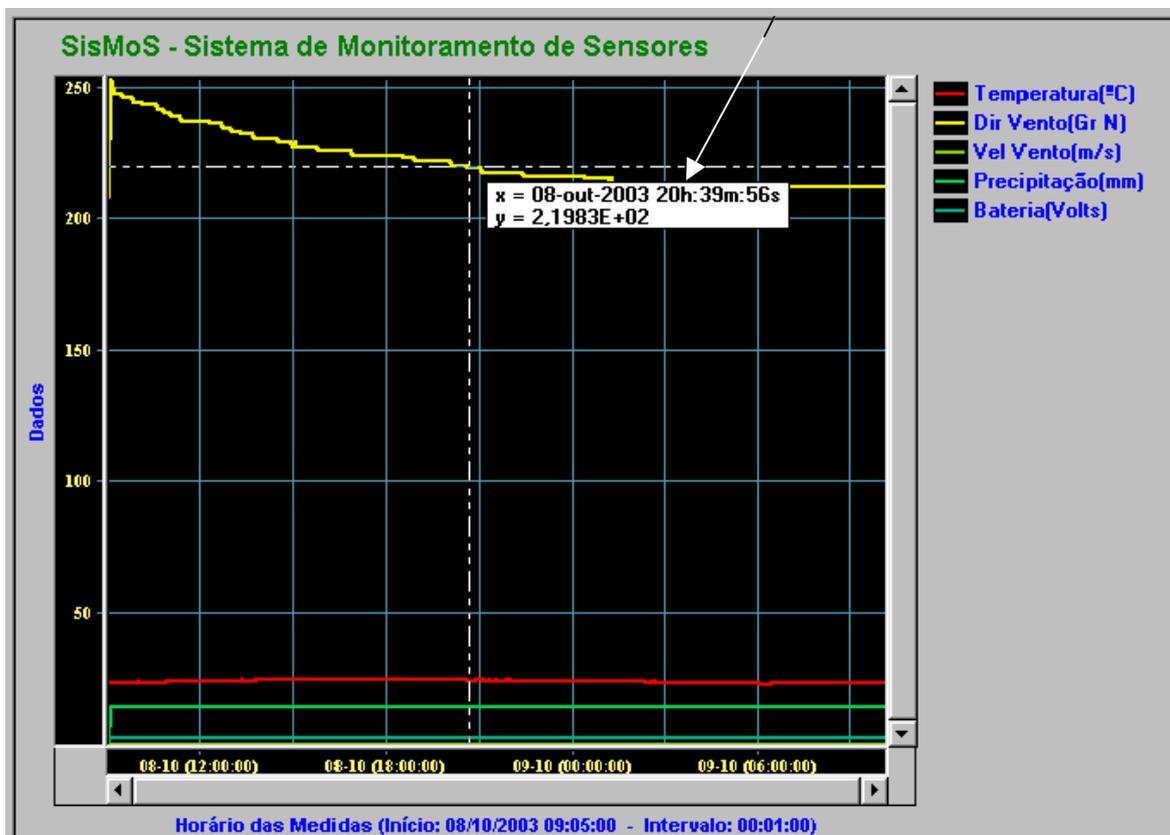
O “Menu da Área de Plotagem” é mostrado ao se pressionar o botão direito do mouse, com o cursor sobre a “Área de Plotagem”.



Show Cursor

Esta opção do menu é selecionada ou não, e quando selecionada permite mostrar as coordenadas x/y da posição corrente do cursor ao navegar-se sobre a “Área de Plotagem”.

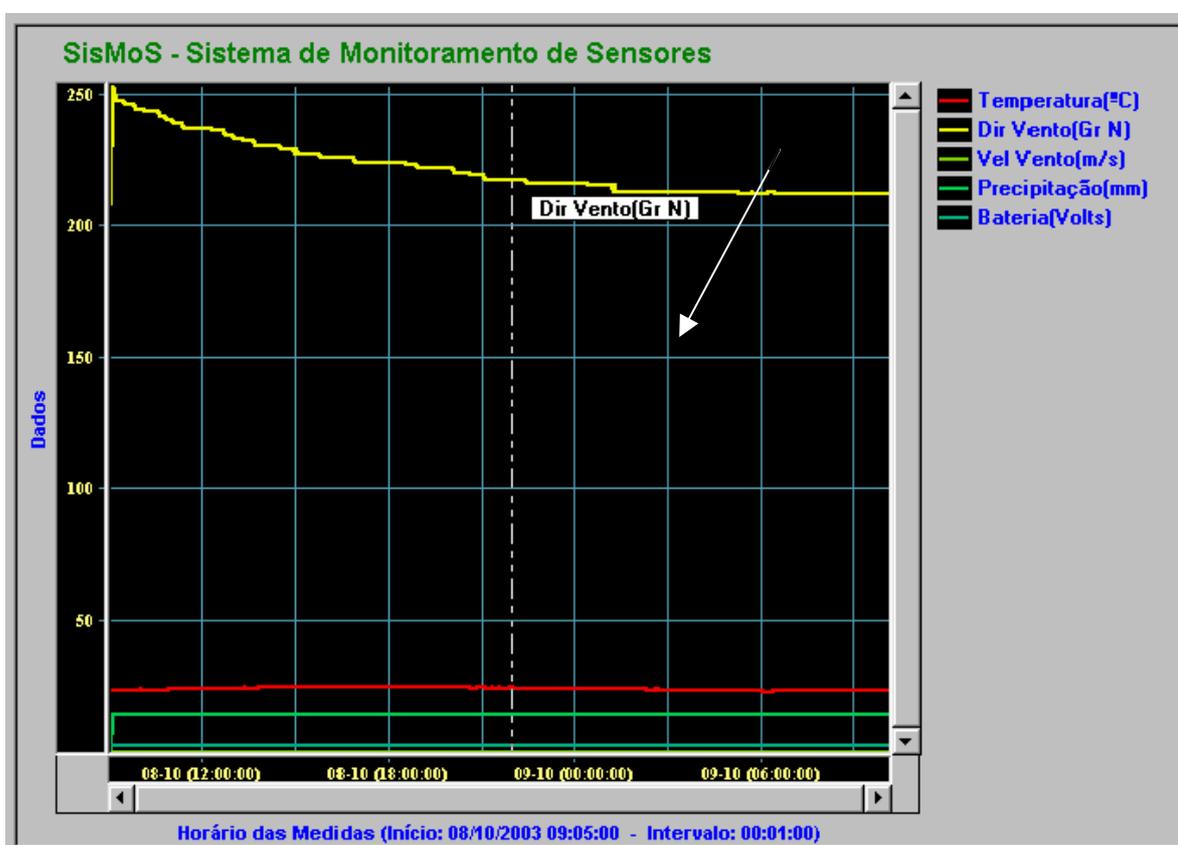
As coordenadas são mostradas



Show PlotName

Esta opção do menu é selecionada ou não, e quando selecionada permite mostrar a legenda de texto da curva sobre a qual está o cursor, ao navegar-se sobre a “Área de Plotagem”.

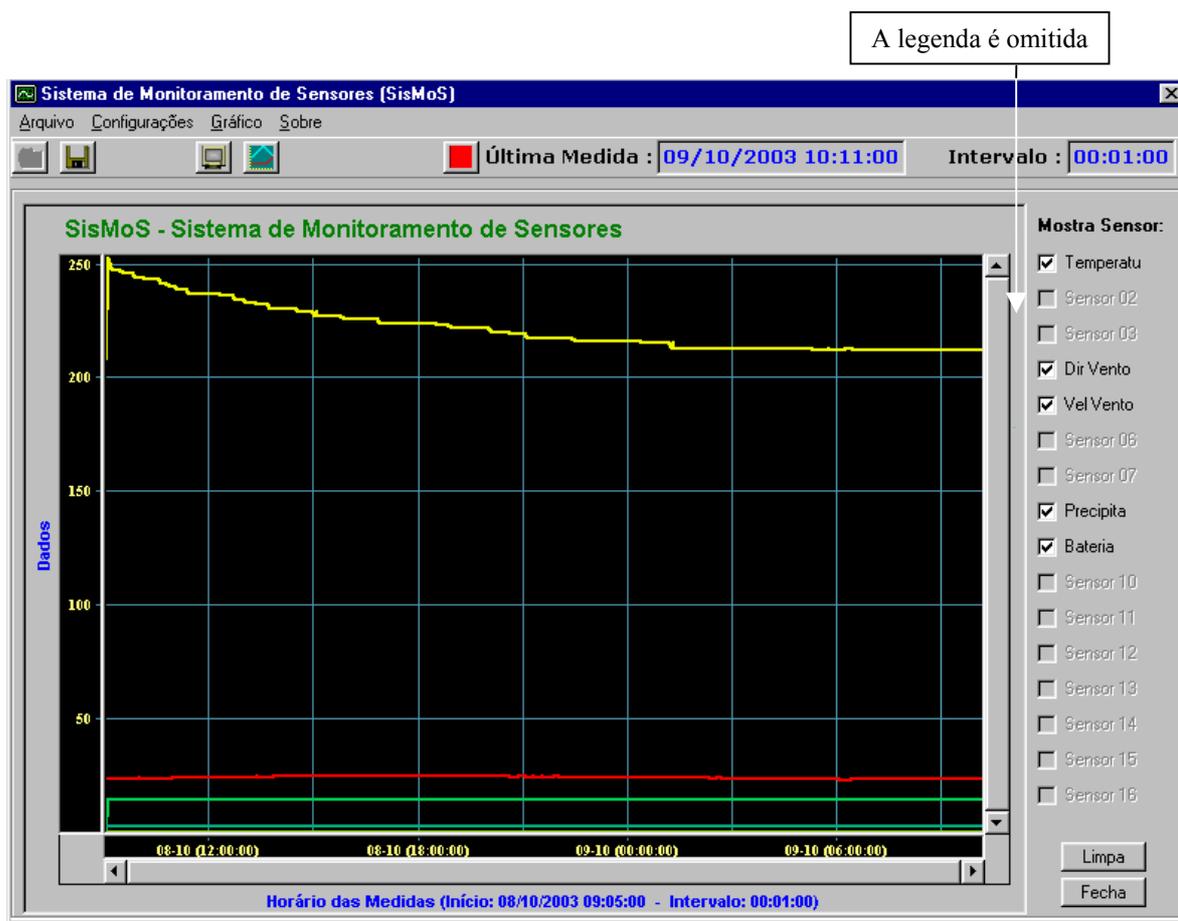
A legenda da curva é mostrada



As opções “Show Cursor” e “Show PlotName” são excludentes, de forma que apenas uma estará selecionada por vez.

Show Legend

Esta opção do menu é selecionada ou não, e quando não selecionada omite-se a legenda para cada uma das curvas de sensor e suas respectivas cores, ao lado direito da “Área de Plotagem”.



Zoom Fited

O gráfico é automaticamente ajustado para mostrar toda a área plotada.

Zoom Reset

O gráfico é ajustado para o modo normal

Zoom Out

Será dado um “zoom out” no gráfico por um fator de “2”

Zoom In

Será dado um “zoom in” no gráfico por um fator de “2”

Botão Limpa

O botão “*Limpa*” permite apagar os dados plotados, e a plotagem será reiniciada a partir da próxima leitura de dados, caso a opção “*Plotar*” do menu “*Gráfico*” da “*Barra de Menu*” do SisMoS esteja selecionada.

Recomenda-se utilizar esta opção, periodicamente, quando o sistema permanecer ativo e plotando dados por um longo período de tempo, tendo em vista que o acúmulo de dados plotados consomem recursos de memória do sistema tornando-o mais lento, especialmente para sistemas com configurações de hardware menos poderosas.

Botão Fecha

Este botão permite fechar-se a “*Janela de Gráfico*”, retornando à “*Janela de Dados*”

Arquivo de Dados

O arquivo de dados gerados pelo sistema SisMoS, quando esta opção for selecionada na janela de configurações, é do tipo texto (“.txt”), com os dados formatados em colunas separadas por “;” (ponto e vírgula), de modo que pode ser lido em qualquer editor de texto, e sua importação em qualquer editor de planilha, gráfico ou utilitário de matemática, se procede de forma simples e direta.

ESPECIFICAÇÕES

MECÂNICAS

- Caixa de acondicionamento em plástico, apresenta considerável resistência mecânica, bem como boa estabilidade à ação de agentes corrosivos.

FÍSICAS

- Formato: caixa em formato retangular
- Dimensões (cm): 15 x 7 x 6 (comprimento x largura x altura)
- Peso (kg): 0,3
- de acondicionamento em plástico, apresenta considerável resistência mecânica, bem como boa estabilidade a ação de agentes corrosivos.

ELÉTRICAS

Alimentação

- Fonte externa com tensão $12,0V \leq V_{DC} \leq 13,5 V$
- Consumo: $I \leq 10mA @ 12,5V$

Conversor A/D

- Resolução: 08 bits
- Não linearidade: $\pm \frac{1}{4} \text{ LSB}$
- Precisão absoluta: $\pm 1 \text{ LSB}$

Sinais de Sensores

- Número de entradas (canais): 16, multiplexadas
- Nível: 0 – 5V, analógico.

Sinal de Saída

- Habilitação de sensores: 12 VDC
- Sinais de conexão com microcomputador: compatível TTL

AMBIENTAIS

- Temperatura de operação: de -20°C a $+55^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de armazenamento: de -40°C a $+70^{\circ}\text{C}$
- Umidade relativa: 95% @ $+55^{\circ}\text{C}$

5. CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido atingiu as expectativas de produzir um equipamento que atendesse, inicialmente, uma necessidade do Laboratório de Canais do LARHISA, no que diz respeito a implementação de monitoramento automático de variáveis, e mostrou-se útil e aplicável a vários trabalhos de pesquisa e operação, onde o monitoramento de variáveis físicas, sejam na hidrologia, hidráulica, meteorologia, etc., se faz necessário e fundamental, com a apresentação de um protótipo, que pode ser considerado funcional, de custo extremamente reduzido quando comparado a produtos de aplicação similar vendidos comercialmente.

O equipamento foi instalado, testado, e encontra-se em operação, monitorando vários sensores, nas instalações do INPE/CRN, apresentando uma performance excelente no que diz respeito a linearidade de funcionamento, a coerência dos dados coletados e armazenados, à facilidade de instalação e operação por parte de usuários, possuindo uma interface de software amigável e de fácil compreensão, com recursos de visualização gráfica que facilita o acompanhamento do comportamento das variáveis físicas tanto para o monitoramento instantâneo como para o histórico.

5.1. APLICAÇÕES

O trabalho desenvolvido pode ser utilizado em diversas aplicações, das quais algumas são citadas a seguir:

5.1.1. LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA DO LARHISA

O desenvolvimento deste trabalho teve como objetivo específico a imediata aplicação no Laboratório de Hidráulica da Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da UFRN, instalado no prédio do LARHISA.

O sistema poderá monitorar a pressão de bombas, níveis, e vazões, através do uso de sensores adequados às aplicações, instalados em pontos definidos de acordo com os ensaios previstos.

A aplicação do SisMoS no Laboratório de Hidráulica do LARHISA, poderá contribuir na automação de vários ensaios, dentre os possíveis de serem realizados naquele laboratório:

–Banca hidrostática, com possibilidade de realização das seguintes experiências:

- Medição da densidade relativa por meio de hidrômetro;
 - Medição de pressões;
 - Manometria e tubo de Hare;
 - Demonstração do cálculo das pressões estáticas;
 - Variação da pressão com a altura manométrica;
 - Medição da viscosidade dos fluídos por meio de capilaridade e esfera em queda;
 - Utilização do medidor de nível tipo “Vernier Level Gauge”;
 - Demonstração da lei de Pascal;
 - Pressão hidráulica;
 - Determinação da pressão hidrostática;
 - Medição do impulso estático numa superfície submersa;
 - Determinação do centro de pressões numa superfície submersa;
- Princípio de Arquimedes.

– Banco hidráulico, com possibilidade de realização das seguintes experiências:

- Demonstração do teorema de Bernoulli;
- Determinação da força de um jato;
- escoamento por orifícios e caudal por saída livre;
- Determinação dos coeficientes de contração e vazão;
- Demonstração da experiência de Osborne Reynolds;

- Estudo de bombas em série e em paralelo;
- Escoamentos em descarregadores;
- Calibração de manômetros tipo Bourdon.

– Painel para estudo de perdas de carga, que permite determinar a perda de carga em tubos de diferentes rugosidades e diferentes diâmetros internos, tendo em consideração a velocidade do fluido.

– Canal hidráulico, permitindo realizar as seguintes experiências:

- Escoamentos em superfície livre;
- Escoamentos em descarregadores de parede delgada e espessa;
- Perdas de carga em leitos de diferentes rugosidades;
- Estudo de velocidades e caudais;
- Escoamentos sob comportas;
- Escoamentos em passagens hidráulicas;
- Movimentos ondulatórios para diferentes profundidades e frequências.

– As experiências realizadas com maior frequência no laboratório serão:

- Determinação do número de Reynolds.
- Medição de vazões em canal.
- Determinação de viscosidade.
- Determinação de perda da carga em tubos.
- Estudo de vertedores.
- Determinação de curvas características de bombas.
- Ensaio do tubo de Pitot.
- Estudo de bocais e orifícios.
- Estudo de corpos flutuantes.

5.1.2. OUTRAS APLICAÇÕES

5.1.2.1. CLIMATOLOGIA

- Estações Hidro-Meteorológicas – coleta de dados de sensores hidrometeorológicos, para estudos climáticos e de previsão de tempo;
- Monitoramento e Controle de Bacias – verificação automática de dados de nível, vazão, sistema de bombeamento, etc., em barragens e canais, permitindo também a geração de sinais de alarmes para níveis de alerta pré-definidos, possibilitando o controle e gerenciamento para tomada de ações, por exemplo, em bacias nervosas, de abastecimento, etc.

5.1.2.2. AGRICULTURA

- Controle e Monitoramento de Estufas – monitorar e controlar a temperatura, umidade e irrigação, permitindo a avaliação de métodos precisos a serem conduzidos para determinar condições otimizadas para o plantio;
- Controle e Monitoramento de Criação de Peixes – monitorar e controlar as condições da água, através do uso de sensores de temperatura, pH e a taxa de oxigênio, e usando estas informações no controle de compressores, aquecedores, misturadores ácido/base e a entrada e saída de fluxo de água para manter as condições desejadas.

5.1.2.3. INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

- Teste de Estrada – usando o sistema desenvolvido com PC portáteis (notebook) pode-se capturar e analisar dados pertinentes aos fatores de

performance tais como ruído, performance do motor, suspensão, aceleração e freios;

- Teste de Motores – automação das medidas incluindo temperatura do óleo, da água, pressão do óleo, pressão do combustível, rotações por minuto, etc., que fazem parte dos exaustivos procedimentos de testes pelos quais passam as amostras dos motores.

5.1.2.4. MEIO AMBIENTE

- Monitor de Aquecimento Solar de Água – medir a eficiência e distribuição de temperatura de um aquecedor solar de água;
- Sistemas de Controle de Poluição – medição do nível de poluentes do ar.

5.1.2.5. GERENCIAMENTO DE ENERGIA

- Monitoramento de Sistemas Geradores – monitorar entradas, saídas e condições de operação tais como potência de saída, temperatura, consumo de combustível, fluxo de ar e eficiência;
- Monitoramento de Usinas Nucleares – monitorar a distribuição de temperatura no sistema de fluxo de vapor de uma usina nuclear.

5.1.2.6. PETROQUÍMICA

- Monitoramento de pressão e temperatura em tanques de estocagem – o constante monitoramento de pressão e temperatura em tanques de óleo é de

extrema importância, para ajustar a saída e a entrada de pressão de bombas para controle de temperatura a fim de prevenir o superaquecimento do tanque mantendo um alto nível de segurança ao sistema;

- Alarmes – além do monitoramento da pressão e da temperatura, o sistema pode gerar sinais de alarmes para informar ao operador quando a pressão ou a temperatura desviar de patamares pré-definidos, permitindo ao operador tomar uma ação corretiva.

Muitas outras aplicações, além dos exemplos acima, poderão fazer uso do sistema, proporcionando uma solução expansível, aberta e de fácil operação pelo usuário final, pois além da simplicidade de hardware, haverá expressiva redução dos custos envolvidos na manutenção e instalação em relação a outras soluções de mercado.

6. PERSPECTIVAS FUTURAS DE APERFEIÇOAMENTO

O modelo implementado possui limitações previstas e que poderão ser aperfeiçoadas num modelo subsequente, tais como:

- **Resolução:** o conversor A/D utilizado no modelo implementado é um de 08 (oito) bits, que atende a grande maioria das aplicações, entretanto, este pode ser substituído, sem acarretar grandes alterações a nível de projeto e até mesmo de custos, por um de resolução maior, por exemplo 12 bits ou 16 bits;
- **Sinal de Entrada:** o protótipo implementado neste trabalho requer que os sinais provenientes dos sensores a serem monitorados, sejam do tipo tensão (voltagem), variando de 0 a 5,10 (máx) volts (ou conforme ajustes da tensão de referência do conversor A/D, com máx de 5,10Volts), necessitando, portanto, que sinais de sensores ou transdutores que não forneçam diretamente um valor de tensão em sua saída, sejam compatibilizados através de circuitos condicionadores para assim serem conectados as entradas do SisMoS. Entretanto, em um modelo posterior, circuitos de condicionamento de sinais poderão ser incorporados, possibilitando que sinais elétricos de naturezas variadas, como sinais de corrente, pulsos, eventos, contatos elétricos, etc., possam ser aplicados diretamente às entradas do equipamento.
- **Intervalo de Aquisições:** o software de gerenciamento do sistema prevê a programação, por parte do usuário, do início de aquisição e período entre aquisições de dados, conforme explica o manual de usuário constante do Apêndice A. Entretanto esta programação é aplicada a todos os canais, ou seja, o início de aquisição e o período de coleta será o mesmo para todos os sensores monitorados. Alterações podem ser implementadas de modo a permitir a configuração individualizada para cada canal. Uma vez que as modificações necessárias requerem apenas implementações a nível de software, o projeto de hardware não sofreria nenhuma alteração;

- **Processamento de Coleta:** a implementação do software atual prevê a leitura do dado com o período programado, apresentação deste valor lido, em forma numérica e gráfica, e, a critério do usuário, armazenamento em arquivo. Funções de processamento com o dado coletado poderão ser implementadas, como por exemplo, a possibilidade de leitura de um número de amostras em períodos pré-estabelecidos, definidos pelo usuário, cálculo da média destes valores, apresentação, em forma numérica e gráfica, e armazenamento em arquivo desta média. Vários outros procedimentos de processamento não previstos nesta primeira versão do software, poderão ser implementados em futuras versões, de modo a atender necessidades específicas ou gerais, sem alterações no hardware, garantindo assim um compromisso com o objetivo fundamental deste desenvolvimento, que é de oferecer um produto que atenda necessidades de monitoramento de sensores a um custo reduzido, comparado a produtos comerciais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITKEN, P. – Visual Basic 4 Kit do Explorador – Berkley Brasil Editora, São Paulo, 1996. 539 p

ANDERSON, P. H. – Use of a PC Printer Port for Control and Data Acquisition – Department of Electrical Engineering, Morgan State University – Electronic Journal for Engineering Technology, 1996.

AXELSON, J. – Parallel Port Complete Programming, Interfacing, and Using the PC's Parallel Printer Port – Lakeview Research, 1996. 304 p.

BERGSMAN, P. – Controlling the World With Your PC – LLH Technology Pub, 1994. 268 p.

BORTONI, E. C. – Instrumentação Industrial, DON/IEE/EFEI, 2001;

DALLY, J. W.; RILEY, W. F. & MC.CONNELL, K. G., – Instrumentation for Engineering Measurements, 2ª Edição – John Wiley & Sons, Inc., 1993. 608 p.

FERREIRA, E. C. – Curso IE763 Sensores e Condicionamento de Sinais, 2002;

GADRE, D. V. – Programming the Parallel Port: Interfacing the PC for Data Acquisition & Process Control – CMP Books, 1998. 308 p.

GÜTHS, S.; VICENTE DE PAULO – Instrumentação em Ciências Térmicas – UFSC, 1998;

JOHNSON, J. H. – Build Your Own Low-Cost Data Acquisition and Display Devices – McGraw Hill/TAB Electronics, 1993. 305 p.

JONHSON C. – Process Control Instrumentation Technology, 6ª Edição – Prentice Hall Career & Technology, 1999. 678 p

MCKELVY, M. – Usando o Visual Basic – Editora Campus, Rio de Janeiro, 1996. 740 p.

NATIONAL INSTRUMENTS – Application Note 007, 1999;

NATIONAL INSTRUMENTS – Data Acquisition Basics Manual, 2001;

NATIONAL SEMICONDUCTOR – CMOS Logic Databook, 1998;

NATIONAL SEMICONDUCTOR – Linear Applications Databook, 1998;

NATIONAL SEMICONDUCTOR – TTL Logic Databook, 1998;

NORMA ASHRAE STANDARD 41.6 - Medição de Umidade, 1994.

NUNES, E. – Visual Basic, Guia do Usuário – Makron Books, São Paulo, 1996. 348 p.

ROSCH, W. L. – Desvendando o Hardware do PC – Editora Campus, 1990. 524 p.

SANTOS, J. P. & RAYMUNDI JÚNIOR, E. – Programando em Assembler 8086/8088 – McGraw Hill, São Paulo, 1989. 328 p.

SOUZA, C. P. & COSTA FILHO, J. T. – Controle Por Computador – EDUFMA, 2001. 178 p.

STEINHART, J.S. & S.R. HART – "Calibration Curves for Thermistors", Deep-Sea Research, Vol 15, 497. 1968.

SYDENHAM, P. H. – Tranducers in Measurements and Control – Instrument Society of America (ISA), 1978;

TAUB, H. & SCHILLING, D. – Eletrônica Digital – Editora McGraw Hill do Brasil, 1982. 582 p.

THOMAS, Z.; PETERSON, K.; PETERSEN, C.; SHIELDS, J.; GREENBERG, S. & WAITE, M. – Visual Basic 4 How-To, Editora Ciência Moderna, Rio de Janeiro, 1996; 1094 p.

UNESP, & FEB – Introdução a Sistemas de Aquisição de Dados, 2001;

WILLIS; TOMPKINS, J.; WEBSTER, J. G. – Interface Sensors to IBM PC, Prentice Hall, 1988. 400 p.

APÊNDICE

Tabela de Preços de Sistemas Comerciais para Coleta de Dados

Fabricante/Distribuidor	Modelo	Descrição	Nº de Canais Analógicos	Resolução A/D (Bits)	Preço (US\$)
Campbell Scientific do Brasil Ltda	CR10X	Datalogger - Measurement & Control Module,	12	12	2.000,00
Squitter do Brasil	A1000	Datalogger Squitter	16	12	1.250,00
LR Informática Industrial	IQ-VMA	Datalogger 20K amostras, entrada V/MA	01	12	450,00
LR Informática Industrial	IQ-VMA-40	Datalogger 40K amostras, entrada V/MA	01	12	500,00
LR Informática Industrial	CIO-DAS16/330	Cartão conversor A/D 16 EA, 12 bits, 7 DIO, 3 CTR	16	12	2.250,00
LR Informática Industrial	A-8111	Cartão conversor A/D ISA, 8EA, 1SA, 16DIO	08	12	500,00
MadgeTech	OctProcess	MadgeTech 8 Channel Current Recorder	08	16	1.100,00
MicroDAQ.com, Ltd	VC4-300	Microdaq 4 Channel Voltage Logger	04	16	700,00
MicroDAQ.com, Ltd	webDAQ/100	webDAQ/100 - 32 Channel Data Acquisition System	32	12	1.000,00