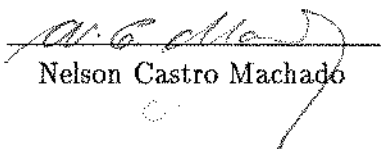


SADAM — Um Sistema para Aquisição  
de Dados Meteorológicos

Este exemplar corresponde à redação final da tese devidamente corrigida e defendida pelo Sr. Paulo Cesar Centoducatte e aprovada pela Comissão Julgadora.

Campinas, 08 de Julho de 1992

Prof. Dr.   
Nelson Castro Machado

Dissertação apresentada ao Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação, UNICAMP, como requisito parcial para obtenção do Título de MESTRE em Ciência da Computação.

Aos meus pais Donato R. Centoducatte e Odette C. G. Centoducatte,

À Roseclea L. O. Melo, Vítor Centoducatte e ...

## Agradecimentos

- Ao professor Nelson Castro Machado pela orientação deste trabalho.
- Ao professor Hilton Silveira Pinto pelas informações referentes à meteorologia.
- Ao engenheiro Paolo Limena pelas “dicas” tão importantes e pelos componentes conseguidos
- Ao CNPq e CAPES pelo apoio financeiro.
- Ao Departamento de Ciência da Computação da UNICAMP
- Gostaria de agradecer a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho: com discussões técnicas; com uma palavra de incentivo; com demonstração de amizade; pelos momentos de descontração; com a pergunta padrão nos corredores do DCC “e aí já ....?”. Em especial gostaria de agradecer ao Zig e Tadeu pelo convívio desde o primeiro dia de Campinas. A Itana pela colaboração e amizade. A Rose e Vítor por tudo.

## Resumo

O presente trabalho descreve o projeto e implementação do hardware e do monitor de um sistema para aquisição de dados meteorológicos. O sistema consiste de uma estação base e de uma estação de campo. Na estação base o meteorologista utiliza um microcomputador convencional e dispõe de uma linguagem apropriada para programar seus experimentos. A estação de campo é um sistema dedicado à coleta de dados através de 16 portas para sensores analógicos e/ou digitais. A interface entre as estações base e de campo é realizada por meio de um cartucho de memória RAM CMOS com sistema de "back-up" de bateria, constituindo um sistema não volátil. Inicialmente o cartucho contém o programa do experimento, gravado na estação base. O cartucho é então levado à estação de campo que possui um interpretador e um monitor capazes de executar o experimento programado na estação base, gravando os dados coletados no próprio cartucho. Após encerrada a coleta dos dados o cartucho é novamente levado à estação base onde os dados são processados e são emitidos relatórios.

## Abstract

The present work describes the project and implementation of the hardware and monitor for a Meteorological Data Acquisition System. The system consists of a base station and a remote station. In the base station, the meteorologist uses a conventional personal computer with an special purpose language to program his experiments. The remote station is a system dedicated to data collection through 16 ports for analogical and/or digital sensors. The interface between the base station and the remote station is accomplished with a RAM CMOS cartridge with a battery back-up system, which constitutes a non-volatile system. Initially the cartridge contains the experiment's program, written at the base station. The cartridge is then brought to the remote station, which has an interpreter and a monitor, able to carry out the experiment programmed in the base station, and to record the collected data in the same cartridge. At the end of the data collection, the cartridge is brought back to the base station, where the data are processed and reports are generated.

# Conteúdo

<b>Resumo</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract</b>	<b>iv</b>
<b>Conteúdo</b>	<b>v</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>ix</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2 Aplicações Típicas e Sistemas Existentes</b>	<b>4</b>
2.1 Experimentos Realizados pelo CEPAGRI . . . . .	4
2.1.1 Experimento Padrão . . . . .	4
2.1.2 Experimento Microclimático . . . . .	7
2.2 Alguns Sistemas Existentes . . . . .	8
2.2.1 Sistema Manual Típico . . . . .	9
2.2.2 Sistemas Automatizados . . . . .	10
2.3 Comentários . . . . .	16
<b>3 Estação Base</b>	<b>21</b>

3.1	A linguagem LADAM . . . . .	22
3.1.1	Estrutura de um programa em LADAM . . . . .	23
3.1.2	Expressões e Comandos . . . . .	27
3.2	Código Intermediário . . . . .	28
3.2.1	Tabelas de Controle . . . . .	29
3.2.2	Código das Tarefas . . . . .	31
3.2.3	Listas de Eventos . . . . .	31
3.2.4	Código de Detecção de Erro . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Estação de Campo – Hardware</b>	<b>33</b>
4.1	Principais Componentes da Estação de Campo . . . . .	35
4.1.1	Fonte de alimentação . . . . .	35
4.1.2	Microprocessador . . . . .	37
4.1.3	Memória . . . . .	38
4.1.4	Relógio de Tempo Real . . . . .	41
4.1.5	Teclado . . . . .	43
4.1.6	Display . . . . .	45
4.1.7	Conversor . . . . .	46
4.1.8	Sensores . . . . .	49
4.2	Sistema de Alimentação . . . . .	49
4.2.1	Implementação do Sistema de Alimentação On-Off . . . . .	51

4.2.2	Alguns Problemas e Soluções Adotadas . . . . .	52
<b>5</b>	<b>Estação de Campo – Software</b>	<b>56</b>
5.1	Execução de um experimento típico . . . . .	56
5.2	Interpretador . . . . .	58
5.2.1	Rotinas de atendimento ao console . . . . .	58
5.2.2	Núcleo Básico do Interpretador . . . . .	59
5.3	Monitor . . . . .	60
5.3.1	Rotina de Iniciação . . . . .	61
5.3.2	Rotina de Reconhecimento de Comandos . . . . .	62
5.3.3	Rotinas de Acesso ao Hardware – BIOS . . . . .	63
5.3.4	Ativação e Desativação Lógica-Física . . . . .	65
<b>6</b>	<b>Interfaces</b>	<b>67</b>
6.1	Interface Estações Base-Campo . . . . .	67
6.1.1	Avaliação dos mecanismos de transferência de dados . . . . .	68
6.1.2	Solução Adotada . . . . .	70
6.1.3	Implementação do Cartucho . . . . .	75
6.1.4	Teste de não Volatilidade e Confiabilidade . . . . .	77
6.1.5	Teste de Consumo . . . . .	78
6.1.6	Capacidade do Cartucho . . . . .	80
6.2	Interface SADAM-Sensor . . . . .	81
6.2.1	Barramento de Conexão das Interfaces ao SADAM . . . . .	82



6.2.2	Sistema de Identificação Automática . . . . .	86
6.2.3	Leitura “On the Fly” . . . . .	88
<b>7</b>	<b>Conclusões e Sugestões</b>	<b>91</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>95</b>

# Lista de Figuras

3.1	Estrutura de um programa em LADAM . . . . .	23
3.2	Exemplo de programa escrito em LADAM . . . . .	26
4.1	Diagrama de blocos da Estação de Campo . . . . .	36
4.2	Fonte de alimentação . . . . .	36
4.3	CPU e Barramento de dados, endereços e controle da Estação de Campo . . . . .	38
4.4	Esquema de ligação das memórias . . . . .	40
4.5	Alocação de memória na Estação de Campo . . . . .	40
4.6	Interface MM58167A com o sistema . . . . .	42
4.7	Diagrama de ligação do teclado . . . . .	44
4.8	Esquema de ligação do display . . . . .	46
4.9	Controle de contraste do LCD . . . . .	47
4.10	Controle da alimentação "On-Off" . . . . .	52
4.11	Controle de PowerDown do MM58167A e do pedido de interrupção standby . . . . .	53

5.1	Núcleo Básico do Interpretador <sup>1</sup> . . . . .	60
6.1	Alimentação contínua de memórias RAM . . . . .	71
6.2	Proposta de Woodhull . . . . .	73
6.3	Circuito de controle automático da habilitação da memória . . . . .	74
6.4	Esquema da forma original do cartucho Itautec . . . . .	76
6.5	Cartucho utilizado pelo SADAM . . . . .	76
6.6	Circuito para leitura "On the Fly" . . . . .	89

---

<sup>1</sup>Reproduzida de [13]

## Capítulo 1

# Introdução

Clima. S.m. Conjunto de condições meteorológicas (temperatura, pressão e ventos, umidade e chuvas) típicas do estado médio da atmosfera num ponto da superfície terrestre. 2. Região onde a temperatura e mais condições atmosféricas são, em geral, as mesmas. 3. .... [12]

Diversas atividades do homem tais como: necessidade de irrigação, planejamento do uso da terra, previsão de geadas e controle de pragas na agricultura; projeto de pontes, estradas e barragens na engenharia; controle de suprimento de água e poluição em atividades ambientais, dependem diretamente do clima, o que faz dele um importante objeto de estudos.

A meteorologia é a ciência que investiga os fenômenos atmosféricos, possibilitando entre outros a “previsão” das condições meteorológicas de uma dada região. A meteorologia baseia-se na análise de dados meteorológicos, coletados ao longo do tempo, tais como: velocidade e direção do vento, temperatura do solo

e do ar, radiação solar, índice pluviométrico, etc. Estes dados são medidos e armazenados através de aparelhos especiais instalados em estações meteorológicas localizadas em diferentes pontos da região que se deseja estudar.

As primeiras estações meteorológicas, ainda utilizadas, são baseadas na leitura dos aparelhos de medidas por uma pessoa: “o observador meteorológico”. Este observador faz as medidas em horários prefixados e as anota em uma planilha. Este tipo de sistema está sujeito a falhas humanas e restringe a quantidade de dados coletados.

Na meteorologia a precisão dos resultados obtidos depende da qualidade e da quantidade dos dados disponíveis para análise. Com a automatização dos processos de aquisição<sup>1</sup> dos dados meteorológicos tem se conseguido obter dados de melhor qualidade e em maior quantidade. Com o advento do microprocessador, seguido da redução de seu custo, tem sido crescente a introdução de estações semi-automáticas e automáticas destinadas à coleta de dados meteorológicos, proporcionando assim à meteorologia fornecer resultados mais precisos.

Hoje em dia, são disponíveis diversos tipos de estações meteorológicas automáticas, desde as mais simples, especializadas na aquisição de um único tipo de dados às mais sofisticadas, que utilizam computadores de grande porte, representando alto investimento. A maioria dos sistemas de custo médio é capaz de adquirir diversos tipos de dados através de programação prefixada. Estes sistemas, entretanto, não satisfazem às necessidades da microclimatologia<sup>2</sup>, onde a

---

<sup>1</sup>O termo aquisição é empregado aqui com o sentido de se obter e armazenar os dados para futura utilização

<sup>2</sup>Parte da meteorologia que se dedica ao estudo do microclima, clima nas proximidades do

freqüência de leitura e os tipos de dados adquiridos dependem da história passada da região e/ou dos intervalos em que se situam, em um dado instante, os valores dos dados sob observação. Tendo em vista a falta de um sistema de baixo e mesmo de médio custo que atenda a estas necessidades, foi projetado e implementado o protótipo de sistema que será descrito neste trabalho.

Este documento trata do projeto e implementação do Hardware do sistema e do Monitor da Estação de Campo. O Software desenvolvido para a Estação Base e o Interpretador residente na Estação de Campo foram desenvolvidos por Gimenes [13].

No capítulo 2 são descritos dois experimentos utilizados no estudo do microclima: 1 – experimento realizado em uma estação meteorológica padrão, neste trabalho denominado de experimento padrão; 2 – microclimático. Alguns sistemas existentes e algumas considerações envolvendo as necessidades dos experimentos padrão e microclimático serão também discutidos.

Os capítulos 3, 4 e 5 descrevem o sistema proposto. No capítulo 3 é apresentada a Estação Base, onde é realizada a programação do experimento e a avaliação dos dados adquiridos durante sua realização. Os capítulos 4 e 5 apresentam, respectivamente, o Hardware e Software da Estação de Campo, onde é realizada a aquisição dos dados propriamente dita.

O capítulo 6 trata da interface entre as Estações Base e de Campo, assim como da interface entre a Estação de Campo e os sensores.

As conclusões e sugestões finais são apresentadas no capítulo 7.

---

solo em uma área reduzida[26]

## Capítulo 2

# Aplicações Típicas e Sistemas Existentes

Neste capítulo são descritas duas aplicações típicas das estações meteorológicas: os experimentos padrão e microclimático realizados pelo Centro de Ensino e Pesquisa em **AGRI**cultura da UNICAMP (CEPAGRI). Em seguida são apresentados alguns sistemas existentes e por último é proposto o novo sistema de aquisição de dados.

### 2.1 Experimentos Realizados pelo CEPAGRI

O CEPAGRI, basicamente realiza dois tipos de experimentos denominados de Experimento Padrão e Experimento Microclimático. A seguir são apresentadas as principais características destes experimentos.

#### 2.1.1 Experimento Padrão

Em geral, este experimento é realizado em local de difícil acesso e sem disponibilidade de energia elétrica. Caracteriza-se pela coleta de dados em horários-padrão (7:00; 9:00; 14:00; 15:00; e 21:00 horas) durante o período de um mês. São cole-

tados os seguintes dados meteorológicos: temperatura do ar e do solo, radiação solar, chuva, orvalho e velocidade e direção do vento. Abaixo estão descritas as medidas realizadas neste experimento<sup>1</sup>.

### 1. Temperatura do ar

Devem ser gravados os valores da temperatura nos horários-padrão e às 7:00 h os valores máximo e mínimo ( com opção do horário de ocorrência), que devem ser verificados de hora em hora. Em geral são utilizados dois sensores analógicos , fornecendo uma tensão em milivolts proporcional à temperatura. O resultado a ser gravado deve ser a média das leituras dos dois sensores. Quando um dos sensores fornecer valores fora de um determinado intervalo (os limites deste intervalo dependem dos valores históricos da temperatura na região onde está sendo realizado o experimento), este valor deve ser descartado, devendo ser utilizado somente o outro valor. O posicionamento dos sensores: altura em relação ao solo, proteção contra sol, etc, podem ser obtidos na bibliografia especializada.

### 2. Temperatura do Solo

Devem ser gravados os valores nos horários-padrão e a temperatura mínima ocorrida entre as 21:00 h e 7:00 h (a gravação do horário de ocorrência é opcional). De março a setembro também deve ser observada a temperatura da relva. Em geral são utilizados cinco sensores analógicos<sup>2</sup>, com

---

<sup>1</sup>Detalhes de funcionamento, valores de resposta e demais dados sobre os equipamentos e sensores de medida podem ser obtidos em livros da área e diretamente dos catálogos dos fabricantes [26, 2, 4, 30, 29, 11]

<sup>2</sup>Em geral instalados na superfície e a 2, 5, 10 e 30 cm da superfície



resposta em milivolts, e devem ser gravadas as médias, observando os valores extremos para a região.

### 3. Radiação Solar

Na coleta da radiação solar são usados três sensores. Um para medir a radiação PAR<sup>3</sup> (sensor analógico, com resposta em milivolts), um para radiação global (sensor analógico, fornecendo de 2 a 7 milivolts/caloria) e um para a radiação líquida (sensor analógico, fornecendo valores em milivolts), que é a diferença entre a radiação que chega e a que sai. Estas medidas têm uma característica, que é a sua natureza “contínua”: os sensores são lidos a cada cinco minutos e deve ser gravado um único valor por dia para cada tipo de radiação. Este valor é a somatória dos valores lidos durante o dia, correspondendo a uma integral aproximada da radiação durante todo o dia.

### 4. Chuva (índice pluviométrico)

Neste tipo de medida é geralmente utilizado um sensor digital<sup>4</sup>. Deve ser feita uma única gravação por dia, às 7:00 h, que é a somatória dos valores do dia. Para cada região deve ser escolhida a frequência dos valores intermediários, conforme o nível característico de chuva local, para não haver perda de valores.

---

<sup>3</sup>Photosynthetically Active Radiation

<sup>4</sup>O pluviometro emite um pulso toda vez que uma “caneca” receptora de chuva é esvaziada, após ter sido completamente cheia

## 5. Orvalho

Em geral, é utilizado sensor digital à base de impedância. Devem ser medidos os intervalos (horário de início e fim) em que houve orvalho. O sensor acusa a existência de orvalho através de uma alteração em sua impedância. A frequência com que é verificada a existência de orvalho é de um minuto nos horários mais prováveis (madrugada) e intervalos maiores nos outros horários, enquanto não for acusada a presença de orvalho.

## 6. Vento

A medida da velocidade e da direção dos ventos, em geral, é feita por sensores digitais. A leitura da direção é realizada nos horários-padrão. A leitura da velocidade começa cinco minutos antes de cada horário-padrão e termina cinco minutos depois. O sensor é lido com frequência de um minuto, obtendo-se onze valores, com os quais é calculada a média que será o valor a ser gravado correspondente àquele horário-padrão.

### 2.1.2 Experimento Microclimático

Este experimento é geralmente realizado em locais de fácil acesso, com energia elétrica disponível, e dura de um a três dias. A coleta dos dados deve ser acompanhada por um técnico. Os dados são coletados com frequência igual ou superior a um minuto e a frequência de aquisição de alguns dos valores ou de todos pode ser alterada durante o experimento. Todas as leituras devem ser armazenadas e não somente alguns totais como ocorre no experimento padrão. Os

sensores utilizados neste experimentos são do mesmo tipo que os utilizados no experimento anterior. As medidas características do experimento microclimático estão relacionadas abaixo:

### 1. Temperatura

São utilizados oito sensores, onde quatro são para temperatura do ar e os outros quatro para a do solo.

### 2. Radiação Solar

Medida da radiação PAR, Líquida e Global.

### 3. Chuva

### 4. Orvalho

### 5. Vento

Sensor lido de minuto em minuto, armazenando a cada 5 (cinco) minutos a velocidade e a direção.

## 2.2 Alguns Sistemas Existentes

Os sistemas de aquisição de dados meteorológicos utilizados atualmente compreendem desde equipamentos totalmente manuais, até produtos sofisticados que utilizam fibra óptica como meio de transmissão dos dados para um computador central. A seguir, são descritos alguns sistemas objetivando compara-los com o proposto neste trabalho.

### 2.2.1 Sistema Manual Típico

Este tipo de equipamento é ainda utilizado em muitas estações climatológicas. Nele as medidas são obtidas através de observadores meteorológicos que anotam os dados em uma planilha e depois os armazenam em arquivos tradicionais. São coletados dados para meteorologia e climatologia.

As medições referentes à meteorologia são realizadas às 9:00, 15:00 e 21:00 horas e os dados são transcritos num código internacional. Os parâmetros medidos com os respectivos equipamentos para a medida são:

- Temperatura do ar

Sêco – Termômetro de bulbo sêco

Úmido – Termômetro de bulbo úmido

- Vento (direção e Velocidade) – Anemômetro
- Precipitação – Pluviógrafo e pluviômetro
- Observações diretas de visibilidade e nuvens

As medições relativas à climatologia são as seguintes:

- Medições referentes à meteorologia, realizadas de hora em hora
- Evaporação

Superfície líquida exposta – Tanque de evaporação

### Superfície úmida – Evaporímetro

As leituras são realizadas às 9:00, 15:00 e 21:00 horas

- Temperatura do solo

Solo desnudo e com cobertura vegetal

Profundidade: 2, 5, 10 e 30 cm da superfície

As leituras são feitas às 9:00, 15:00 e 21:00 horas

- Temperatura mínima da relva no período noturno (21:00 às 7:00 horas)
- Insolação – Heliógrafo
- Radiação solar – Piranógrafo
- Evapotranspiração – Evapotranspirômetro
- Orvalho – Orvalhógrafo

## 2.2.2 Sistemas Automatizados

### 1. CR21 Microllogger

O sistema CR21 Microllogger[5] é dotado de um processador e circuitos auxiliares para suportar até nove entradas analógicas. Através de uma programação fixa (de fábrica), ele varre os sensores a cada minuto, manipula os dados obtidos e armazena o sumário das informações em intervalos selecionados pelo usuário. A manipulação dos dados é realizada por meio

de procedimentos pré-programados em ROM, que podem ser selecionados pelo usuário. Os procedimentos disponíveis são: médias, máximas e mínimas, desvio padrão, amostragem simples e condicional e histogramas. Este sistema pode ser conectado a um computador central via rede telefônica, armazenar os dados em fita cassete, ou imprimi-los em uma impressora ou terminal. O sistema é alimentado por baterias tipo pilha D com vida útil de aproximadamente 5.000 horas.

## 2. Sistema desenvolvido por Haro

Haro [14] apresenta um sistema de aquisição de dados pluviométricos e enfatiza o interesse em equipamentos específicos e de baixo custo para levantamento de dados meteorológicos. O equipamento por ele apresentado é composto por um sensor de precipitação, um sistema de aquisição de dados baseado em microprocessador e um programa decodificador dos dados coletados. Os dados são gravados em fitas cassete e posteriormente processados em uma estação base.

## 3. Systron Donner Weathermeasure

O Systron Donner Weathermeasure[31] é um conjunto modular série M733 formado por quatro sistemas de aquisição de dados meteorológicos de complexidade e custo crescente. Os quatros sistemas utilizam como unidade de saída de dados fitas cassete ou impressora ou ambos. As versões mais simples são os sistemas M733D e M733E. Eles utilizam três programas padrões "fixos": MET-1, AQM-1 e APS-1 para a aquisição dos dados. Os modelos

diferem pela presença de um painel de controle no M733E enquanto o controle do M733D é feito via terminal.

O programa meteorológico padrão (MET-1) tem como objetivo realizar a varredura de múltiplos canais, processar, formatar e gravar dados. Neste programa alguns parâmetros como: período de varredura, número de canais, unidades de medida, tipos de cálculos, ajuste dos limites de alarme e calibração dos canais são passíveis de escolha pelo usuário. A frequência da emissão dos relatórios pode ser feita de hora em hora, a cada três horas ou diária. Os cálculos disponíveis são: valores instantâneo, acumulado, médio, máximo e mínimo, seguidos dos respectivos horários.

Os programas AQM-1 e APS-1 são similares, usados na monitoração e controle da qualidade do ar e para aquisições de dados necessárias ao controle de aeroportos respectivamente.

O modelo M733F possui um interpretador a partir do qual é possível a construção de programas de aplicação para coleta, formatação e gravação dos dados, assim como para controle do processo. Ele pode operar com ou sem painel de controle, o qual fornece a possibilidade de exibição dos dados e horários, conjunto de funções para entrada de dados de controle do programa, e sinais luminosos para indicação do estado e acompanhamento do programa. Possui ainda um programa para reativação do sistema em caso de falta de energia, onde os dados críticos são armazenados em uma memória RAM CMOS com "back-up" de bateria. Já o M733G utiliza um

microcomputador completo, onde as aplicações podem ser programadas em linguagem de alto nível, tais como: Basic, Fortran, Pascal, etc.

#### 4. Projetos desenvolvidos no Instituto Nacional de Pesquisas

##### Espaciais – INPE

A nível nacional podem ser citados dois projetos, desenvolvidos no Departamento de Meteorologia e Oceanografia do INPE [28] [1].

O primeiro é um sistema automático portátil e de baixo custo para aquisição de dados meteorológicos utilizando um microcomputador. Este sistema é utilizado a bordo de pequenas aeronaves para coletar dados relativos à pressão e temperatura úmida e seca. A coleta dos dados é feita por um microcomputador que controla também a taxa de amostragem e os armazena em fita cassete. Possui 16 canais de entrada para um conversor A/D de 8 bits com o software desenvolvido em Basic e linguagem de montagem.

O segundo é a Estação Meteorológica Automática (EMA) que tem como objetivo coletar dados em uma estação agrometeorológica padrão. O sistema é composto por quatro equipamentos: 1) – microcomputador com monitor de vídeo, interface para controle de disco, interface serial com protocolo RS-232C, unidade de disco 5 1/4"; 2) – estação EMA; 3) – interface condicionadora de sensores e 4) – sistema "nobreak". A EMA tem capacidade para 16 sensores analógicos e 10 digitais, memória de 8 KBytes, relógio digital com amostragem por dia, hora, minuto. As leituras são realizadas em intervalos preestabelecidos e os dados são armazenados na



memória da estação com capacidade para 8.192 dados. Estes são posteriormente transmitidos via linha serial para o microcomputador.

#### 5. Sistema Minilog-A

O Minilog-A[22] é um sistema de aquisição de dados distribuídos baseado em microprocessador. Ele é constituído por um microprocessador Z80-A CMOS de 4 MHz, 8 K de EPROM, 2 K de RAM CMOS, interface serial RS232C, conversor A/D de 12 bits, 12 canais de entradas analógicas e até 16 entradas digitais, 8 linhas de saída digital, interface RS422. A aquisição dos dados pode ser programada para ser efetuada em qualquer intervalo de tempo entre 1 minuto e 18 horas e são calculados os valores médios, máximos e mínimos. Várias estações podem ser ligadas em rede do tipo anel através da interface RS422 e os dados coletados são transmitidos, via RS232C para um computador pessoal que os armazena, gera gráficos e relatórios. Também está disponível uma versão que implementa a comunicação com o computador pessoal via satélite.

#### 6. Delta-T Automatic Weather Station

O Delta-T Automatic Weather Station[3] é um sistema completo para aquisição de dados meteorológicos, em particular em locais remotos. O sistema padrão coleta dados tais como: temperatura do ar e do solo; chuva; velocidade e direção do vento; humidade relativa e radiação solar. A estação utiliza como unidade de controle, de leitura e de armazenamento de dados o Delta-T Logger, que tem as seguintes características: 15

a 60 entradas analógicas ou contadores, programáveis para diversos tipos de sensores; “display” LCD para leituras dos sensores no local; memória RAM com “back-up” de bateria para até 128 K leituras; conversor A/D de 12 bits. Para cada sensor o usuário pode escolher armazenar todas as leituras ou somente valores máximo, mínimo ou médias. A frequência de coleta para cada sensor pode ser de 5 segundos a 24 horas. A programação do Delta-T Logger é realizada por meio de um computador pessoal via interface serial RS232. O software de configuração e coleta de dados está disponível para computadores IBM PC, BBC e muitos tipos compatíveis com CP/M.

#### 7. Environmental Monitoring Station (EMS)

O sistema EMS[9] provê um método automático de coleta de dados meteorológicos e ambientais. Existem sete configurações padrão para as estações EMS que são montadas a partir de um de dois tipos de Datalogger disponíveis: MM900 e MM950. Estes diferem basicamente pela presença no MM900 de um “display” LCD, um teclado numérico e teclas de funções. As outras características principais dos sistemas são: 128 K de RAM com “back-up” de bateria para armazenamento dos dados; 3 canais de entrada digital; de 4 a 30 canais de entrada analógica (dependendo da configuração); alimentação através de 6 baterias alcalinas de 1,5 V cada (opcionalmente pode ser usada outros tipos de baterias); conversor A/D de 12 bits; varedura dos canais em intervalos selecionados pelo usuário (1 s,

5 s, 10 s, 30s, 1 m, 5 m, 10 m, 30 m, 1 h, 2 h, 4 h, 12 h e 24 h). Dialog 900 é um software especialmente projetado para uso em aplicações de monitoramento ambiental, capaz de: inicializar a estação EMS; iniciar e parar a coleta de dados; armazenar os dados em discos e produzir gráficos. O Dialog 900 roda em computadores pessoais IBM ou compatíveis e sua comunicação com a estação EMS é feita via interface serial RS232.

#### 8. Sistema MDAS

O sistema MDAS de aquisição de dados meteorológicos[23], consiste em uma rede local interconectada por fibra óptica e suporta até 16 estações remotas, chamadas torres. Neste sistema, um computador central é responsável pelo controle da rede, do armazenamento de dados provenientes das estações remotas, das interações com o usuário e da seleção de programas executáveis. O software utiliza-se de 6 das 7 camadas do protocolo ISO-OSI, exceto o nível de transporte. Com um software simples rodando em cada torre o sistema é capaz de adquirir dados de 128 canais, isto é: 16 torres, cada uma com 8 canais e transmitir para o computador central a uma taxa de 100 Hz.

## 2.3 Comentários

Os dois tipos de experimentos realizados pelo CEPAGRI utilizam-se de aproximadamente 16 sensores, que podem ser tanto digitais quanto analógicos e apresentam diferentes tipos e níveis de sinais de resposta. A leitura dos sensores não

deve ser do tipo varredura completa, pois em um determinado ciclo de leitura nem sempre todos os sensores devem ser lidos. Um sistema automático deve ser programável para ser utilizado nos dois tipos de experimentos e ainda suportar mudanças "online" na programação, principalmente no tocante à frequência de coleta de dados, devido às exigências do experimento microclimático. Além disto o sistema deve consumir pouca energia, para permitir o uso de baterias no experimento padrão. Antes de apresentar o sistema proposto, serão tecidos alguns comentários acerca dos sistemas existentes.

O sistema manual não é recomendável pois além de desvantagens como pouca precisão, erros por fadiga, etc, exige a presença de um ou mais observadores meteorológicos no local por um longo período de tempo, elevando os custos de operação do experimento padrão uma vez que este realiza-se geralmente em locais remotos e sem infra-estrutura.

O sistema CR21 Micrologger possui somente 9 entradas para sensores, a programação é fixa e utiliza-se do sistema de varredura completa para leitura destes sensores. Os dados coletados são transmitidos por linha telefônica (às vezes não disponíveis no local do experimento) ou através de um gravador cassete (que consome relativamente muita energia).

O sistema Systron Donner possui as mesmas desvantagens do CR21 em relação à saída dos dados. As versões M733D/E não são programáveis e as versões M733F/G satisfazem os requisitos de programação, mas não satisfazem os requisitos de alteração "online" na programação da frequência de coletas dos

dados.

O primeiro modelo do INPE é bastante restrito quanto aos dados coletados e o segundo tem a desvantagem de utilizar-se de interface serial para transmissão dos dados, além de não permitir alterações "online" na programação.

O sistema Minilog-A pode ser conectado em rede em anel, ampliando a área de coleta de dados, mas apresenta a desvantagem de utilizar linha serial para a transmissão dos dados; somente se pode programar a frequência de leitura dos sensores.

Os sistemas Delta-t Automatic Weather Station tem programação mais versátil que o sistema Minilog-A mas não apresentam opções de programação que permitam leituras condicionais dos sensores nem alteração da programação durante o experimento. Também neste caso a programação do experimento e a transferência dos dados coletados para o computador pessoal é realizada por interface serial.

O sistema Environmental Monitoring Station também só apresenta opções de programação quanto à frequência para leitura dos sensores. A transferência dos dados coletados também neste caso é feita por interface serial.

Os sistemas aqui descritos não esgotam a gama de equipamentos existentes mas são bastante representativos das opções disponíveis no mercado e mostram que existe uma lacuna a ser preenchida, pois ou são muito simples, não sendo programáveis ou são muito complexos e caros. Considerando a inexistência de um sistema automático que atenda aos requisitos básicos dos experimentos de in-

interesse do CEPAGRI (padrão e microclimático) e procurando uma relação custo-benefício satisfatória, foi proposto o projeto e construção de um novo sistema de aquisição de dados que apresentasse: um custo relativamente modesto, quando comparado aos já existentes; versatilidade na programação dos experimentos, permitindo inclusive alteração na política de amostragem em função dos valores coletados até o momento; possibilidade de alteração da programação inicial durante a realização do experimento; versatilidade quanto ao número e tipos de sensores conectáveis ao sistema. O sistema proposto é composto por dois equipamentos distintos, a Estação Base e a Estação de Campo.

A Estação Base é um microcomputador de propósito geral, comum a qualquer ambiente de pesquisa não implicando em custos adicionais. Ele é utilizado para a programação do experimento, análise dos dados coletados e emissão de relatórios, que são realizados no próprio ambiente de trabalho do meteorologista. A programação do experimento é escrita em uma linguagem de alto nível especialmente desenvolvida para este fim<sup>5</sup>.

A Estação de Campo é um sistema dedicado à coleta de dados através de 16 portas para sensores analógicos e/ou digitais, não possuindo relação fixa porta X tipo-de-sensor. Possui ainda um monitor e um interpretador residentes que possibilitam a execução do experimento conforme programado na Estação Base e a alteração "online", se necessário, da programação. Com a finalidade de redução de consumo a Estação foi totalmente projetada com dispositivos CMOS e dotada com uma função denominada "stand-by". A utilização destes dois

---

<sup>5</sup>No capítulo 3 é apresentada uma descrição desta linguagem

últimos recursos possibilita que a Estação, no experimento padrão, possa operar com baterias.

A interface entre as duas estações é feita por meio de um cartucho de memória RAM CMOS com “backup” de bateria, constituindo um sistema não volátil, onde o programa do experimento é gravado na Estação Base. O cartucho é então levado até a Estação de Campo, que executa o programa nele contido e grava os dados coletados no próprio cartucho. Ao fim da coleta, o cartucho é novamente levado à Estação Base onde os dados são processados e os relatórios emitidos.

## Capítulo 3

# Estação Base

A Estação Base consiste de um microcomputador de propósito geral, no qual será executado o Sistema de Aquisição de Dados, que é constituído por um tradutor da linguagem **LADAM** (Linguagem de Aquisição de DAdos Meteorológicos) e um programa receptor dos dados adquiridos na Estação de Campo. Este programa tem por finalidade ler o cartucho proveniente da Estação de Campo, verificar sua consistência e criar arquivos em disquetes.

O sistema da Estação Base (Tradutor LADAM e programa Receptor) foi originalmente desenvolvido para microcomputadores Itautec I-7000, sob o Sistema Operacional SIM/M [13, 15], compatível com o sistema CP/M. A escolha destes microcomputadores se deu por estarem disponíveis na UNICAMP quando da definição do projeto e também por facilitarem a interface com o cartucho, que é o elemento que implementa a comunicação entre as estações Base e de Campo: como o I-7000 já dispunha de uma interface para cartuchos proprietários de EPROM, adotou-se para nossos cartuchos o mesmo formato físico e interface elétrica, de maneira que pudessem ser instalados no I-7000 sem qualquer mo-



dificação no hardware do microcomputador. Outros microcomputadores, compatíveis com CP/M, também poderiam ser utilizados como Estação Base sendo necessário, no entanto, o desenvolvimento de uma interface para o cartucho.

Após o término do desenvolvimento do software da Estação Base por Gimenes, os sistemas CP/M caíram rapidamente em desuso no país, substituídos pelos PC-compatíveis. Por este motivo, o sistema da Estação Base foi totalmente reescrito e convertido para ser utilizado em microcomputadores da linha IBM-PC e compatíveis sob o sistema operacional DOS. Para usar o PC como Estação Base é necessário converter o cartucho para que possa ser utilizado pelo PC. Isto é discutido no capítulo 6 que trata da implementação do cartucho.

Neste capítulo será dada uma breve descrição da linguagem de programação LADAM e do código intermediário gerado pelo tradutor LADAM. Um tratamento completo foi dado por Gimenes[13]. O programa receptor não será abordado, por se tratar de um programa “simples” que faz a leitura dos dados do cartucho, além de realizar algumas operações matemáticas sobre eles e os gravar em arquivos para posterior utilização por programas aplicativos de propósito geral (tipicamente planilhas e base de dados) .

### **3.1<sup>o</sup> A linguagem LADAM**

A LADAM foi projetada para oferecer ao meteorologista uma linguagem de programação com a qual ele pudesse especificar o seu plano de coleta de dados de maneira simples e compacta. A LADAM contém as características básicas das

linguagens de programação para tempo real, descritas por Young [34].

As primitivas da linguagem LADAM estão divididas em dois grupos. O primeiro grupo é formado por comandos para programação seqüencial, comuns às linguagens de alto nível e adota o estilo léxico da linguagem Pascal definida por Wirth [21]. O segundo grupo é formado por comandos para ativação programada de tarefas, semelhantes às da linguagem Pearl [10].

### 3.1.1 Estrutura de um programa em LADAM

A LADAM oferece ao programador quatro tipos de objetos básicos: sensor, variável, tarefa e evento. Estes objetos quando usados em um programa devem ser inicialmente declarados de forma similar àquela encontrada na linguagem Pascal. A figura 3.1 apresenta a estrutura de um programa típico em LADAM mostrando a forma e ordem em que devem aparecer as declarações.

```
program nome_programa;
  assign
    /* declaracao dos sensores */
  var
    /* declaracao das variaveis */
  task nome_tarefa1;
    /* declaracao da tarefa 1 */
  endtk;
.
task nome_tarefan;
  /* declaracao da tarefa n */
  endtk;
event section;
  /* declaracao dos eventos */
endevt.
```

Fig. 3.1: Estrutura de um programa em LADAM

## Declaração dos Sensores

Nesta parte das declarações são definidas as relações entre os sensores, as portas lógicas e as variáveis associadas aos sensores. Para cada tipo de sensor existe um código que é a chave de acesso aos dados característicos àquele tipo de sensor, localizados no arquivos de sensores. Exemplo:

```
assign
    01A      port 1      0:tempar1;
```

Isto significa que na porta 1 deve ser instalado um sensor do tipo 01A em cuja leitura deve-se usar a opção zero (0), associando a variável tempar1 à leitura desta porta (1). O arquivo de sensores contém as informações pertinentes ao sensor especificado: o tamanho em bytes da variável tempar1; a rotina a ser usada na conversão de inteiro para real e características físicas do sensor: semiconductor com sinal de  $-20,000^1$  a  $160,000$  milivolts e precisão de  $0,200$  milivolts

## Declarações das variáveis

Todas as variáveis declaradas nesta seção são consideradas globais, podendo-se ter acesso a elas a partir de qualquer tarefa.

Existem algumas variáveis pré-definidas que não necessitam ser declaradas. São elas: **maxvalue** e **minvalue** representando, respectivamente, o maior e menor inteiro representáveis; **dateref** (date) e **horaref** (time) que são variáveis reservadas para conter a data e a hora de ativação programada da tarefa corrente;

---

<sup>1</sup>Neste trabalho foi adotada a virgula como indicador decimal

e `memvail` cujo valor num dado instante é o número de bytes livres na área de dados do cartucho.

Tipos de variáveis:

- `integer` : dois bytes (-32768 a 32677).
- `real` : quatro bytes (23 bits de mantissa).
- `time` : três bytes BCD (hora, minuto e segundo).
- `date` : três bytes BCD (dia, mês e ano).
- `bytestring` : "string" de bytes com tamanho definido na declaração da variável.

### **Declaração de tarefa**

Neste ponto são definidas as várias tarefas a serem executadas. Cada tarefa consiste de um conjunto de comandos seqüenciais que serão executados na Estação de Campo. Existem duas tarefas pré-definidas: Header e Trailer que, quando declaradas, são automaticamente executadas pelo interpretador respectivamente no início e no término do experimento.

### **Declaração de eventos.**

Nesta seção são declarados os eventos associados ao experimento. Os eventos são descritos através de um rótulo (opcional), estado inicial (opcional) e de um comando para ativação programada de uma ou mais tarefas. Um evento é considerado como uma ocorrência dependente do tempo e é ativado assincronamente à medida que a hora corrente coincide com a hora programada. O estado de um evento pode ser ativo ou inativo.

A figura 3.2 mostra um exemplo de programa completo escrito em LADAM.

```

program coletex;
/* exemplo de programacao de uma coleta de dados */

assign
  01S port 1 0:tempar1;
/* opcao de leitura 0 associada a variavel externa tempar1 */
  02A port 2 0:radsoliq
/* 02A e o codigo do tipo de sensor no arquivo de sensores */
var
  radsoliqt : real;
  horat     : time;
  datat     : date;
  tempmax   : integer;
/* ----- */
task header
  read(ck,datat,horat);
  write(ch, 'inicio de experimento',datat,horat);
  tempmax := minvalue;
endtk;
/* ----- */
task t1
  read(sn,tempar1);
  write(ch,tempar1);
  if integer(tempar1) > tempmax
    then tempmax := integer(tempar1);
/* conversao da variavel externa tempar1 para inteiro */
  endif;
endtk;
/* ----- */
task t2
  read(sn,radsoliq);
  radsoliqt := radsoliqt + real(radsoliq);
/* conversao da variavel externa radsoliq para real */
endtk;
/* ----- */
task t3
  write(ch,tempmax,radsoliqt);
  if dataref > 12/12/91 then trailer endif;
/* trailer - pedido de encerramento do experimento */
endtk;
/* ----- */
event section
  ev1 : at 07:00,18:00 do t3 endo;
  ev2 : every 01 hs do t1,t2 endo;
endevt.

```

Fig. 3.2: Exemplo de programa escrito em LADAM

### 3.1.2 Expressões e Comandos

As expressões em **LADAM** são formadas por uma seqüência de operandos e operadores. Os operandos podem ser constantes, variáveis ou chamadas de funções de conversão. As expressões devem ser homogêneas, isto é as conversões de tipo devem ser explícitas. Os operadores e tipo dos operandos estão mostrados abaixo.

Operadores Aritméticos	Tipo dos Operandos
+ (soma)	reais/inteiros
- (subtração)	reais/inteiros
/ (divisão)	reais/inteiros
* (multiplicação)	reais/inteiros

Operadores Relacionais	Tipos dos Operandos
< (menor que)	reais/inteiros/times/dates
<= (menor que ou igual a)	reais/inteiros/times/dates
> (maior que)	reais/inteiros/times/dates
>= (maior que ou igual a)	reais/inteiros/times/dates
= (igual a)	reais/inteiros/times/dates
<> (diferente de)	reais/inteiros/times/dates

Os comandos da LADAM são divididos em: seqüenciais e de ativação programada de tarefas. Os comandos seqüenciais são:

- leitura (**read**), o qual pode ser aplicado aos dispositivos de entrada como: sensor, relógio, cartucho e console
- escrita (**write**), que pode ser aplicado aos dispositivos de saída como : cartucho, relógio e console
- comandos condicionais e de atribuição que funcionam de forma similar aos existentes em linguagens de alto nível
- comandos para ativação (**activate**) e desativação (**terminate**) usados para ativar ou desativar eventos durante a execução do experimento.

Os comandos para ativação programada de tarefas são os únicos que podem aparecer nas declarações de eventos e não podem ser utilizados nas declarações de tarefas. Existem dois comandos distintos, um para coleta de dados em intervalos constantes denominado **every** e outro adequado para coletas de dados cuja freqüência não é uniforme chamado **at**.

## 3.2 Código Intermediário

O código intermediário contém as informações necessárias para que o Interpretador da Estação de Campo possa executar o experimento programado. Como o Cartucho é usado para armazenar o experimento e os dados coletados, o código

intermediário deve ocupar o menor espaço possível a fim de não prejudicar o espaço para armazenamento dos dados.

O código intermediário foi dividido em três partes constituídas por: conjunto de tabelas de controle, código das tarefas a serem executadas e lista de eventos. São também introduzidos, em pontos adequados do código intermediário, dados específicos para possibilitar a detecção de erros. A seguir são apresentadas as principais características de cada uma das três partes e da detecção de erro.

### **3.2.1 Tabelas de Controle**

As tabelas de controle descrevem o ambiente do experimento, especificando as características dos sensores e a utilização da memória disponível no cartucho. Há cinco tabelas de controle:

#### **1. Tabela de Endereços Base – TEB**

A TEB é composta de pares contendo o endereço inicial e o tamanho de cada uma das tabelas, do código das tarefas, da lista de eventos e dois pares para controle do espaço de dados. Estes dois últimos são importantes para gravação dos dados e posterior recuperação dos mesmos na Estação Base.

#### **2. Descritor dos Sensores**

Um descritor é construído a partir das informações lidas no arquivo de sensores da Estação Base. É composto pelo código do sensor, tipo do sinal, medida máxima e mínima permitida, precisão, informações sobre opções de leitura e sobre as conversões para inteiro. Para cada sensor utilizado no



experimento, existe um descritor correspondente.

### **3. Descritor do Ambiente do Experimento**

Este descritor informa, para cada sensor, qual o nome da variável externa a ele associada, a porta lógica à qual está conectado, a opção de leitura desejada e o comprimento da variável externa em bytes, reservando também o espaço correspondente para o valor da variável (ie: declara-a automaticamente).

### **4. Área de Dados**

Esta área reserva espaço para as variáveis declaradas na seção de declaração de variáveis. Para cada uma delas é especificado o seu tipo, e reservado o espaço necessário. As referências a esta área são feitas através de um deslocamento em relação à sua base, que está definida na TEB.

### **5. Tabelas de Rotinas de Conversões Especiais – TRCE**

O firmware da Estação de Campo já contém um repertório de rotinas para conversão de dados que atende à maioria das necessidades do usuário. Em casos especiais, quando o usuário deseja usar uma rotina de conversão não existente na Estação de Campo, ele informa ao tradutor LADAM o qual copiará a rotina para o cartucho e na TRCE estará contido o endereço de início, tamanho e número associado a cada rotina especial.

### **3.2.2 Código das Tarefas**

Após serem traduzidas na Estação Base pelo interpretador LADAM, as tarefas continuam a ser unidades individuais cujas instruções estão em uma linguagem intermediária, que é executada pelo interpretador da Estação de Campo. Nesta área do Cartucho está localizado o código, em linguagem intermediária, associado a cada tarefa programada no experimento.

### **3.2.3 Listas de Eventos**

A lista de eventos é uma lista ligada circular, organizada seqüencialmente de acordo com a ordem cronológica dos horários das primeiras ocorrências dos eventos. Cada célula desta lista é formada pelo conjunto de atributos dos eventos mais os parâmetros para controle da lista. As informações típicas nela contidas são o horário da próxima execução, modo ou tipo do evento e se ele está ativo ou inativo, endereço do próximo elemento na lista e endereços dos códigos associados (tarefas).

### **3.2.4 Código de Detecção de Erro**

Para possibilitar a verificação da integridade dos dados gravados no Cartucho foi adotado um código de detecção de erros, o LRC (Longitudinal Redundancy Code), que consiste em adicionar um caráter ao final de cada bloco, no qual cada bit é o resultado da aplicação do OU-EXCLUSIVO sobre os bits de cada posição correspondente dos caracteres do bloco. O LRC foi adicionado ao fim dos seguintes blocos:

- Descritores de Sensor
- Descritores de Ambiente
- Códigos das Tarefas
- Tabela de Rotinas de Conversão
- Lista de Eventos
- Registro de Escrita

## Capítulo 4

# Estação de Campo – Hardware

A Estação de Campo tem por finalidade realizar efetivamente o experimento e é constituída por um hardware dedicado e um software residente capazes de executar o experimento pré-programado na Estação Base. Permite ainda que alterações na programação inicial possam ser efetuadas antes ou durante a execução do experimento, requisitos exigidos principalmente pelo experimento microclimático. No projeto da estação foi dada grande ênfase à adoção de técnicas para minimizar seu consumo de energia, possibilitando assim o uso de baterias mesmo durante a realização de experimentos de longa duração realizados em locais remotos, onde não haja energia elétrica disponível, característica do experimento padrão.

Para dotar a estação com capacidade de programação local foi incluído em seu hardware uma estrutura mínima característica dos sistemas programáveis, isto é: microprocessador, memória e unidades de entrada (teclado) e saída (“display”). Para minimizar o consumo de energia foram adotadas duas estratégias básicas. A primeira é a utilização de componentes que consomem pouca energia – sempre

que disponíveis foi usada a versão CMOS dos circuitos integrados. A segunda foi dotar a estação de dois modos de operação, denominados de modo normal ou ativo e “standby” ou inativo. Quando a estação está ativa ou no modo normal todos os seus componentes estão energizados; este modo de operação é utilizado durante a realização dos ciclos de aquisição de dados ou durante uma interação com o experimentador por ele solicitada via teclado. No modo “standby” apenas são energizados uns poucos componentes essenciais — os demais são “desligados”; a estação entra automaticamente neste modo de operação após concluído um ciclo de aquisição ou a intervenção do operador. A estação retorna também automaticamente ao modo ativo, toda vez que um novo ciclo de aquisição deve ser executado ou uma intervenção é solicitada pelo operador. No modo “standby” somente os componentes estritamente necessários ao retorno da estação ao modo normal e aqueles destinados a preservar o contexto do experimento são mantidos alimentados — até o microprocessador é desenergizado.

Este capítulo apresenta o hardware da estação de campo. As partes mais comumente encontradas em projetos similares são descritas na forma de blocos funcionais e detalhes de implementação são apresentados somente para as partes menos convencionais. O software residente na Estação de Campo, o monitor e o interpretador do código intermediário serão descritos no capítulo seguinte.

## 4.1 Principais Componentes da Estação de Campo

A figura 4.1 mostra em forma de diagrama de blocos a Estação de Campo. O “coração” da estação é a placa principal, que é fixada no gabinete da Estação de Campo e contém a maioria dos principais elementos do sistema, incluindo o microprocessador 80C188, 8 kB (kilobytes) de memória de acesso aleatório (RAM), 16 kB de memória de leitura apenas (EPROM), relógio de tempo real MM58167A, circuito de controle da alimentação, adaptador para teclado (destinado à entrada de dados ou comandos), adaptador para “display” de cristal líquido — LCD (que permite comunicação com o experimentador) e “slots” destinados à conexão do cartucho, conversor analógico/digital, sensores e expansões<sup>1</sup>.

### 4.1.1 Fonte de alimentação

A potência de alimentação é fornecida por baterias ligadas a reguladores de tensão, proporcionando ao sistema quatro níveis de tensões contínuas: +5 *volts*; -5 *volts*; +12 *volts* e -12 *volts*. Os quatro níveis de tensões estão disponíveis nas versões “on” e “onoff”. Na versão “on” a alimentação está sempre presente e é utilizada para alimentar os componentes que devem permanecer sempre energizados. A versão “onoff” pode ser ligada ou desligada, por controle digital, e é utilizada para alimentar os componentes que são desenergizados quando a estação entra no modo de operação “standby”. A figura 4.2 apresenta o dia-

---

<sup>1</sup>Uma interface serial foi adicionada à Estação de Campo como recurso de depuração da mesma.

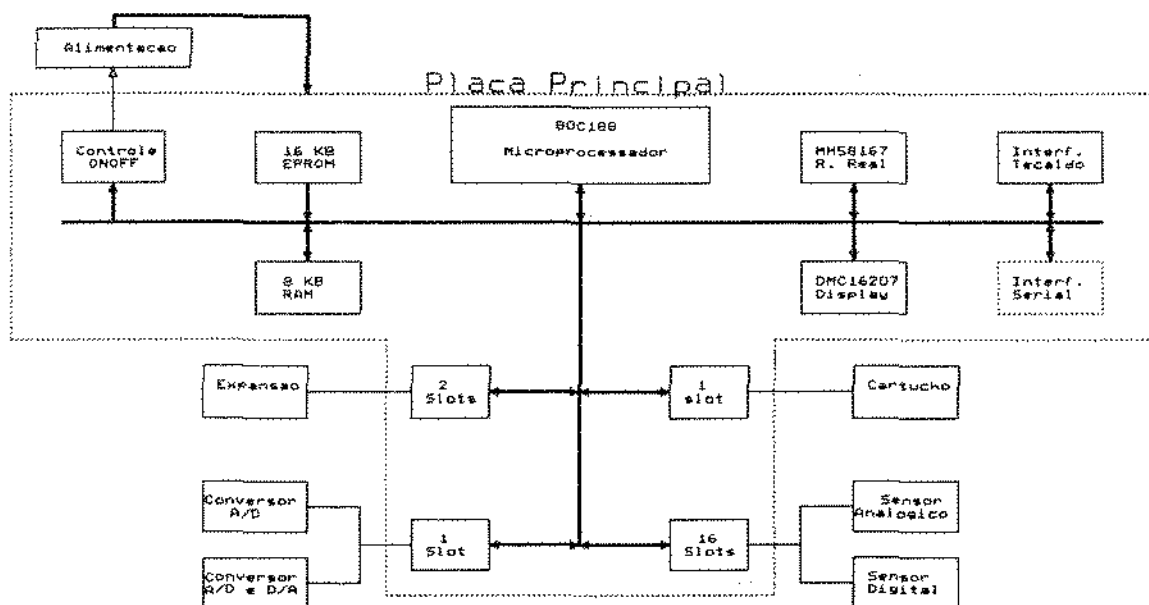


Fig. 4.1: Diagrama de blocos da Estação de Campo

grama de bloco da fonte de alimentação. O sistema de alimentação é discutido na seção 4.2, devido a sua importância no contexto da Estação de Campo.

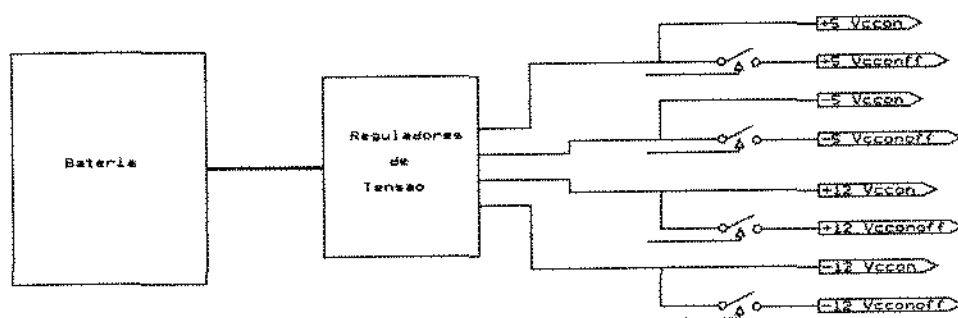


Fig. 4.2: Fonte de alimentação

### 4.1.2 Microprocessador

O microprocessador utilizado foi o 80C188 da INTEL que é um microprocessador de alta integração com barramento de dados externos de 8 bits e interno de 16 bits, com capacidade de endereçar até 1 megabyte de memória que pode conter dados ou programas e até 64 k portas de E/S. Possui ainda, integrado em um único chip de 68 pinos, os componentes mais comumente utilizados em sistemas baseados em microprocessadores que são: um gerador de “clock”, dois canais independentes e de alta velocidade de DMA (Direct Memory Access), um controlador de interrupções programável, três “timers” programáveis de 16 bits, lógica de seleção programável para memória e periféricos, gerador de “wait-states” que é programável de forma independente para cada sinal da lógica de seleção, controlador de barramento local e interface para o coprocessador aritmético 8087. O conjunto de instruções é compatível com os microprocessadores 8086/8088 da Intel, utilizados nos microcomputadores da linha IBM PC e PCxt apresentando dez novas instruções. [17, 18, 20]. A figura 4.3 mostra de forma esquemática a ligação do microprocessador 80C188 com o circuito.

O circuito gerador de “clock” do sistema utiliza um cristal de 8 MHz, que divide internamente esta frequência por dois, resultando em um sinal de “clock” para o sistema de 4 MHz, que está disponível no pino 56 (CLK0) do 80C188. Existe também um circuito de reset automático e manual, que pode ser acionado por uma chave tipo botoeira. O 80C188, no pino 57 (RESET) coloca este sinal disponível aos outros elementos do sistema que dele necessitam.



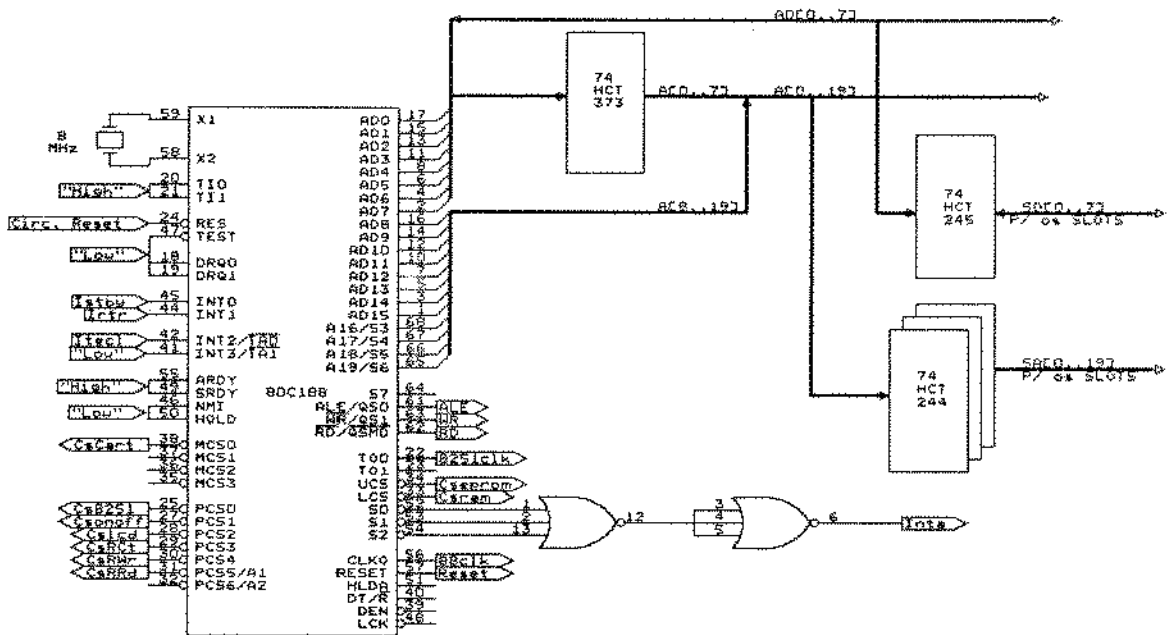


Fig. 4.3: CPU e Barramento de dados, endereços e controle da Estação de Campo

### 4.1.3 Memória

Na Estação de Campo existem três “tipos” de memórias, dois deles estão montados diretamente na placa principal e o terceiro é o cartucho que estabelece a interface entre as duas estações do sistema SADAM e é instalado em um “slot” especialmente projetado para recebe-lo; o cartucho é discutido no capítulo 6 que trata das interfaces utilizadas pelo sistema. As memórias da placa principal são 8 KB de memória de acesso aleatório estática (RAM-CMOS) e 16/32 KB de memória de leitura apenas (EPROM-CMOS). A RAM está ligada diretamente aos barramentos de dados e endereços do 80C188 e é selecionada pelo sinal LCS (“Low memory Chip Select”) do 80C188 sendo assim mapeada nos primeiros 8

KB de endereços de memória (00000H – 01FFFH). O primeiro Kbyte da RAM é destinado ao vetor de interrupção, a seguir estão 3 KB disponíveis ao interpretador do código intermediário para armazenar dados intermediários e outra informações de seu uso exclusivo. Os 4 KB restantes são de responsabilidade do monitor que os utiliza para armazenar o contexto necessário à volta do modo “standby” e implementar a pilha do sistema. A memória RAM é alimentada por uma tensão de +5 *Vcc* do tipo “on”, visto que ela guarda informações que não podem ser perdidas durante uma desativação da estação.

A memória EPROM é selecionada pelo sinal UCS (“Upper memory Chip Select”) residindo portanto nos endereços de memória mais altos. A quantidade de memória, 16/32 KB é selecionada por um “jumper” na placa principal. A EPROM é utilizada para armazenar o código executável do monitor e do interpretador do código intermediário.

A figura 4.4 mostra o esquema de ligação das memórias e a figura 4.5 mostra a alocação da memória na Estação de Campo.

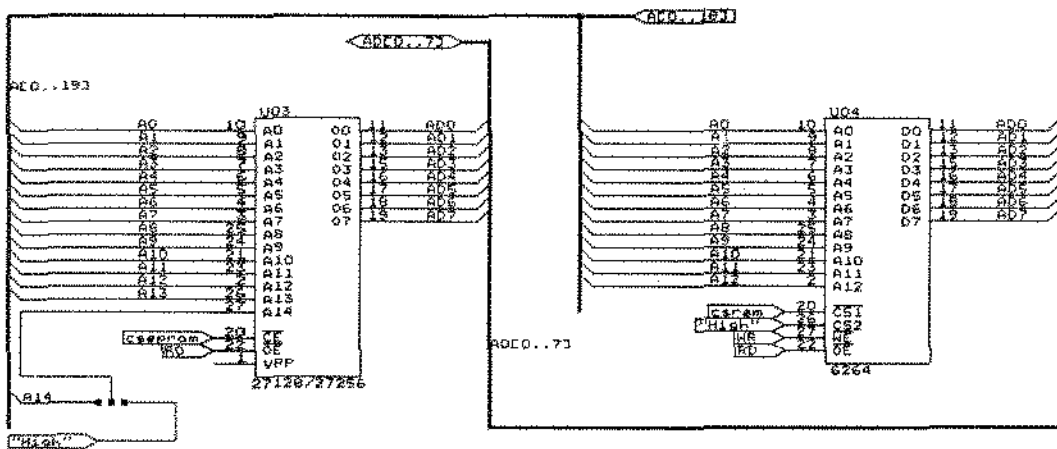


Fig. 4.4: Esquema de ligação das memórias

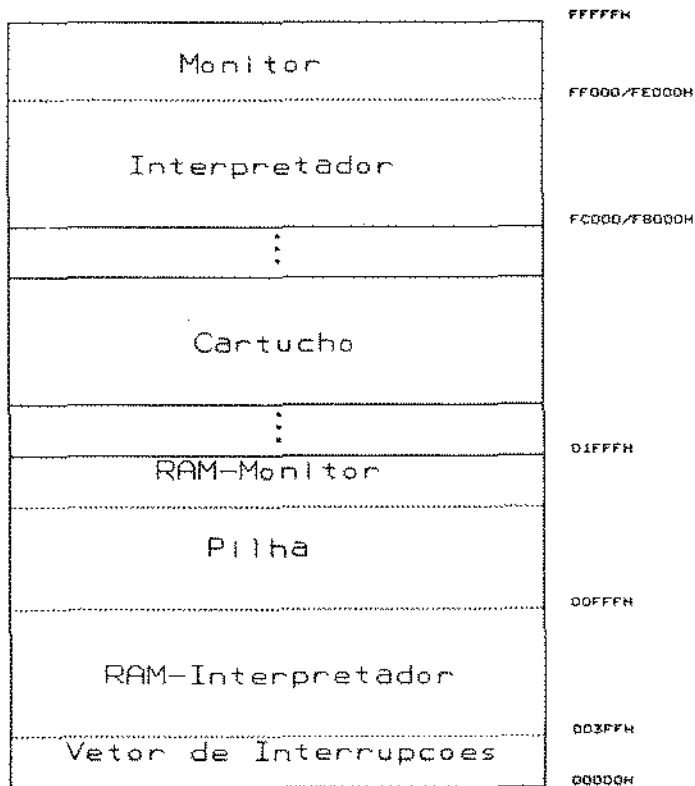


Fig. 4.5: Alocação de memória na Estação de Campo

#### 4.1.4 Relógio de Tempo Real

O relógio de tempo real implementado no sistema utiliza-se do Microprocessador Compatible Real Time Clock MM58167A da National Semiconductor, que é um circuito CMOS contendo um calendário e um relógio de tempo real e com linhas de entrada, de saída e de controle projetadas de forma a facilitar a interface com microprocessadores de propósito geral. Este relógio possui 8 contadores destinados à contagem e armazenamento desde milésimo de segundo a meses e 8 “latches” que podem ser programados para que o relógio gere um pedido de interrupção quando houver um casamento entre o conteúdo dos contadores e dos “latches” correspondentes. O sistema de interrupção pode ainda ser programado para gerar pedidos em uma determinada frequência que pode ser a cada décimo de segundo, segundo, minuto, hora, dia, semana ou mês. Possui também um modo de operação denominado “power-down” no qual não responde a qualquer estímulo externo, permanecendo com suas entradas e saídas desabilitadas, com exceção de uma saída de interrupção que só é habilitada neste estado, pela qual pode ser gerado um pedido de interrupção pelo casamento do conteúdo de todos os contadores com o dos “latches” correspondentes. [27, 32, 24]. Esta característica é de fundamental importância em nossa aplicação conforme descrito a seguir.

A figura 4.6 mostra as principais ligações do MM58167A com o sistema. Este componente também é alimentado por tensão tipo “on”, uma vez que as informações nele contidas são vitais ao sistema e ele é o principal elemento de

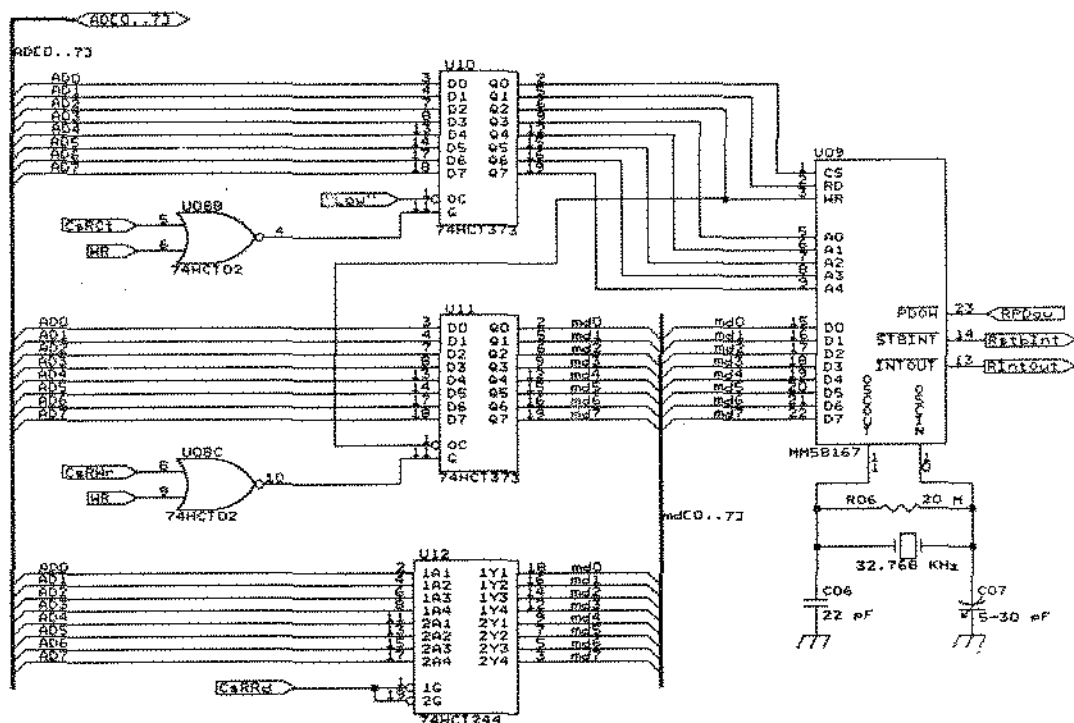


Fig. 4.6: Interface MM58167A com o sistema

controle dos modos de operação da estação. Antes de entrar em “standby” o relógio é programado para gerar, no instante em que se deseja, um pedido de interrupção no modo “power-down”. O relógio é então colocado em “power-down” e a alimentação “onoff” é desligada. Ao ser executado um novo ciclo de aquisição, o MM58167A gera um pedido de interrupção pelo pino 14 (*stbint*) que é utilizado para ligar a alimentação “onoff” “despertando” assim o sistema. Este mecanismo será discutido com mais detalhe na seção que trata da implementação do sistema de alimentação.

Os “latches” HCT373 e o “buffer 3-state” HCT244 são necessários para interfacear o MM58167A ao microprocessador por não ser possível a ligação direta

entre os dois, devido a problemas de temporização que não são evitáveis por “wait-states”.

### 4.1.5 Teclado

O teclado da Estação de Campo é composto por duas teclas de função  $F0$  e  $F1$  que determinam o valor das demais teclas como mostrado na tabela 4.1.

F0	F1	valor das demais teclas
off	off	A-Z 0-9 espaço backspace , .
on	off	& ! @ # \$ % * ( ) + = { } [ ] : " ; ' i l ? , . /
off	on	Comandos implementados pelo monitor e pelo interpretador

Tabela 4.1:

O teclado possui ainda duas chaves de uso especial: uma para ligar sua alimentação e outra para o operador solicitar uma interação com o sistema. A segunda chave, se acionada durante o modo ativo, gera um pedido de interrupção, de baixa prioridade, que será atendido quando possível. Ao atendê-lo o sistema coloca, na fila de tarefas prontas a serem executadas, a rotina de atendimento de teclado e desabilita novos pedidos de interrupção por esta chave. Estes serão novamente habilitados somente após terminada a interação via teclado. Se a estação estiver no modo “standby”, o acionamento desta chave liga a alimentação onoff e gera o pedido de interrupção que será tratado como anteriormente, após a estação entrar no modo ativo.

A figura 4.7 mostra o diagrama de ligação do teclado.

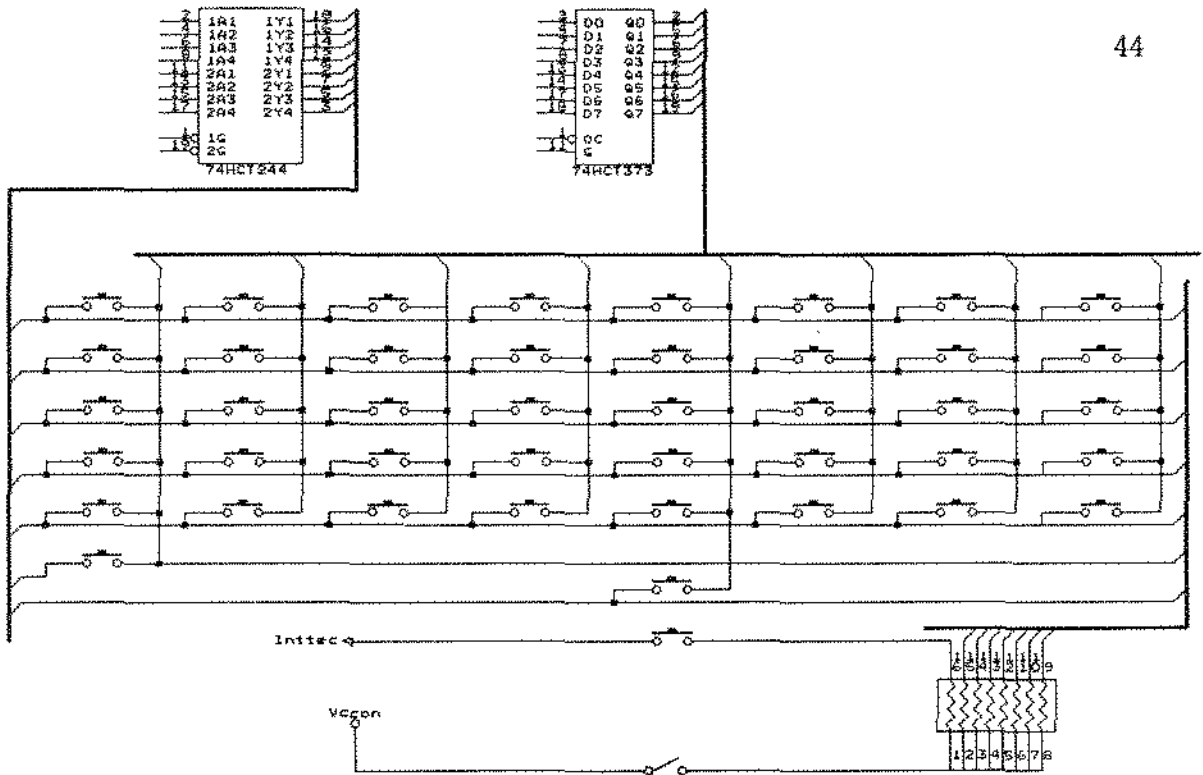


Fig. 4.7: Diagrama de ligação do teclado

A identificação da tecla pressionada é feita por um esquema tradicional de varredura das colunas, procurando-se por teclas pressionadas. Os 5 primeiros bits de dados  $b_0$  a  $b_4$  determinam a tecla pressionada e os bits  $b_5$  e  $b_6$  a função da tecla pressionada. O valor da tecla é determinado por software, utilizando-se para isto três tabelas existentes na memória, uma para cada função. O deslocamento na tabela é determinado da seguinte forma:

$$d = c_p * 5 + l_d$$

onde:

$d$  - deslocamento na tabela

$c_p$  - número da coluna pesquisada (0...7)

$l_d$  - número da linha onde foi detectado a tecla pressionada

F0 e F1 determinam o endereço base da tabela a ser utilizada na identificação da tecla.

#### 4.1.6 Display

O “display” utilizado na Estação de Campo é do tipo matricial a cristal líquido da série DMC da OPTREX Corporation. Estes módulos permitem um grande ângulo de visão, controladores e “driver” CMOS embutidos, proporcionando baixo consumo. O controlador possui gerador de caracteres interno em ROM e RAM. Todas as funções são controladas por instruções externas, possibilitando uma interface fácil com o microprocessador. Suas principais características são:

- Caracteres com 5x7 pontos + cursor ou 5x8 ou 5x11 pontos
- Interface com o microprocessador com 8 ou 4 bits de dados/instruções
- RAM para “display” de dados com capacidade de 80x8 bits, representando um máximo de 80 caracteres
- Gerador de caracteres em ROM. 160 caracteres com fonte de 5x7 pontos e 32 caracteres com fonte de 5x10 pontos.
- Gerador de caracteres em RAM. 64x8 bits permitindo a programação de até 8 caracteres em fonte de 5x7 ou 4 em fonte de 5x10 pontos.
- Uma grande variedade de instruções de operação, tais como: “display clear”; “cursor home”, “display on/off”; “cursor shift”; “display shift”;



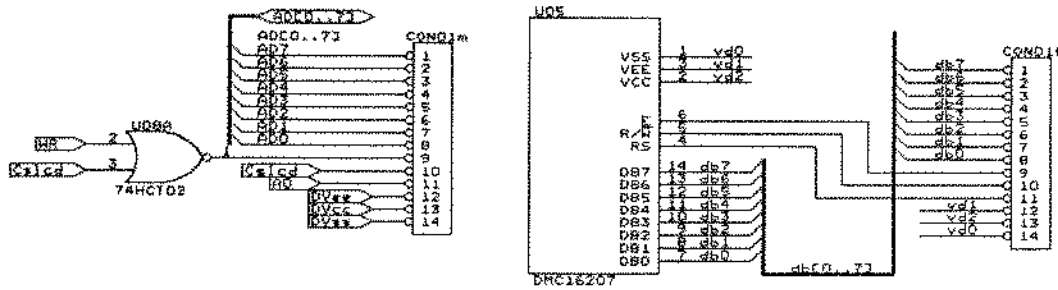


Fig. 4.8: Esquema de ligação do display

“display character blink”; etc.

O “display” da série DMC usado é o DMC16207 que possui 2 linhas de 16 caracteres, totalizando 32 caracteres possíveis de serem mostrados simultaneamente.

A figura 4.8 mostra a ligação do “display” com o resto do sistema e na figura 4.9 é apresentado o circuito de controle de contraste do LCD. Comparações dos ciclos de leitura do LCD e do microprocessador mostram que para um “clock” de 4 MHz é necessária a geração de um “wait-state” para possibilitar uma interface direta entre os dois como a mostrada na figura 4.8. O “wait-state” é gerado internamente no 80C188 toda vez que ele executa um ciclo de escrita destinado ao LCD. O 80C188 pode ser programado para gerar de 0 a 3 “wait-states” de forma independente para cada sinal da sua lógica de seleção de memória e de I/O, o que possibilita o uso da mesma interface de ligação do LCD em futuras aplicações do SADAM, que exijam um “clock” de operação de maior frequência.

#### 4.1.7 Conversor

Foi implementado no sistema um “slot” com barramento no padrão STD destinado a receber placas conversoras Analógico/Digital (A/D) ou com ambas as

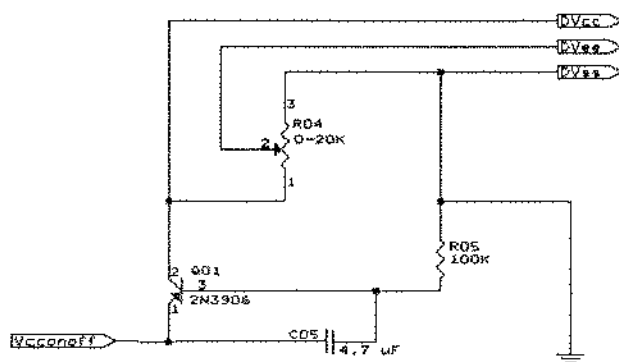


Fig. 4.9: Controle de contraste do LCD

conversões, isto é A/D e Digital/Analógica (D/A). O padrão STD especifica aspectos físicos e elétricos de cartões para sistemas modulares baseados em microprocessadores com barramento de dados de 8 bits. Este padrão de barramento utiliza conectores de 56 pinos, nos quais estão distribuídos os sinais de alimentação (10 pinos), barramento de dados (8 pinos), barramento de endereços (16 pinos) e barramento de controle (22 pinos) que inclui seleção de memória e de E/S, pedido de interrupção, "clock" do processador, reset, expansão de memória e de E/S, etc.

Existem no mercado placas conversoras A/D que se utilizam deste padrão para comunicação com a CPU do sistema, as quais podem ser utilizadas pelo SADAM. Neste trabalho foi usado para efeito de testes, a placa DIC-ADC1216 da DICON, apresentando as seguintes características:

- Compatibilidade com barramento STD
- Conversor A/D de 12 bits (AD574A)
- Tempo de conversão de 25  $\mu\text{seg}$

- 16 canais simples de entrada (multiplexador tipo DG506A) ou 8 canais diferenciais (multiplexador tipo DG507A), multiplexador para controle de até 128 canais externos.
- Amplificador instrumental AD524 com ganho programável por “jumpers” (ganho: 1, 10, 100, 1000)
- Sample e Hold AD582
- Alimentação: +5 V, -12 V e +12 V

#### Dados Opcionais:

- 3 canais de saída analógico
- Conversor D/A de 12 bits (AD5742)
- Faixa de saída 0/+10 V ou -5/+5 V

A frequência máxima de operação desta placa conversora é de 4 MHz.

Com a popularidade dos PC-compatíveis, tem-se tornado cada vez mais comuns placas conversoras que utilizam o barramento PC, substituindo assim o padrão STD antes muito usado na área de instrumentação. Deste modo foram também adicionados ao sistema dois “slots” destinado a futuras expansões cujo barramento é “compatível” com o barramento disponível nos microcomputadores da linha IBM PC, tornando assim possível a instalação de placas conversoras bem como outras placas funcionais que possam vir a ser de interesse em

aplicações futuras, que originalmente foram projetadas para serem instaladas nestes microcomputadores.

#### **4.1.8 Sensores**

No SADAM podem ser utilizados sensores analógicos e/ou digitais, conectados indistintamente em um dos 16 conectores destinados a este fim da placa principal. A ligação física e lógica entre sensor e estação é realizada por uma interface personalizada cujas funções básicas consistem em adaptar os níveis dos sinais gerados pelo sensor, aos níveis dos de entrada da placa conversora em se tratando de sensor analógico e a níveis TTL para sensor digital. Foi também projetado um sistema de identificação automática de sensores com o qual o sistema verifica se a configuração de um determinado experimento está correta. Estas interfaces são discutidas no capítulo 6 em conjunto com a interface entre as duas estações (cartucho) que compõem o sistema SADAM.

### **4.2 Sistema de Alimentação**

Os requisitos de alimentação do SADAM são tensões de +5 Vcc, +12 Vcc e -12 Vcc. As tensões de 12 Vcc são necessárias para o sistema de Conversão Analógico/Digital e para as interfaces SADAM/sensores, pois alguns sensores que podem vir a serem utilizados fazem uso destes níveis de tensão.

Como foi dito anteriormente, uma característica essencial do sistema é seu baixo consumo de potência. Para tanto foi necessária a utilização de dispositivos fabricados em tecnologia CMOS, cuja característica principal é o baixo consumo.

Outro recurso usado foi manter somente o mínimo necessário de dispositivos alimentados, quando a estação entra em um período “longo”<sup>2</sup> sem aquisição de dados. Neste período a estação está em “standby”. Ao se manter o sistema em “standby”, consegue-se minimizar bastante o consumo do SADAM, principalmente quando da realização do experimento padrão, caracterizado por um período de coleta de dados em torno de 30 dias. Contudo, os ciclos de aquisição de dados são separados por um “longo” período sem aquisição. Isto possibilita que baterias de médio ou pequeno porte, similares às encontradas em automóveis ou motos, sejam empregadas na alimentação do SADAM. Obviamente serão empregadas versões seladas de tais baterias, apropriadas para uso em instrumentação.

Para a implementação do sistema de “standby” é necessário que o sistema de alimentação forneça uma tensão sempre presente, denominada de  $V_{ccon}$  e outra controlada, por um processo digital, que hora está disponível e hora não, denominada  $V_{cconoff}$ . Assim quando o SADAM entra em “standby”, alguns de seus componentes não deixam de ser alimentados, como é o caso da memória RAM, do relógio e de alguns componentes das interfaces SADAM/sensores que guardam valores intermediários. Por outro lado, existem diversos componentes que podem ser desenergizado, sem afetar o resultado final do experimento como é o caso da CPU, da memória EPROM e da maioria dos periféricos do SADAM e das interfaces.

---

<sup>2</sup>Longo aqui é caracterizado como sendo um período de tempo maior que o tempo necessário para todos os componentes do sistema estarem prontos a realizarem suas funções após o sistema ser ligado. No SADAM 1 minuto é considerado “longo”.

### 4.2.1 Implementação do Sistema de Alimentação On-Off

Todo o controle do sistema de alimentação On-Off está baseado no chip de relógio de tempo real MM58167A, que possui dois sinais de interrupção programáveis por Software. Quando o intervalo de tempo para o próximo ciclo de aquisição for “longo”, o relógio é programado para gerar um pedido de interrupção ao chegar a hora de um novo período de aquisição. O “status” da CPU é guardado na RAM e a alimentação “On-Off” é desligada. Quando chega a hora do novo período de aquisição, o MM58167A gera um pedido de interrupção e este sinal é utilizado por um circuito auxiliar permanentemente alimentado, a fim de ligar a alimentação “On-Off”, tornando assim todo o sistema apto a executar mais um ciclo de aquisição de dados.

Para desempenhar as funções acima mencionadas, o relógio MM58167A possui um estado “PowerDown”, no qual consome muito menos energia que no estado normal de funcionamento e não responde a nenhum comando externo enquanto perdurar o “power-down”. Isto é muito importante, pois a utilização desta característica permite evitar que comandos espúrios sejam executados pelo relógio durante o processo de estabilização do sistema, após a alimentação “On-Off” ser ligada. Um comando espúrio no relógio poderia propiciar a perda da hora corrente, o que seria desastroso ao experimento.

A figura 4.10 mostra o circuito de controle da alimentação “On-Off”. Dois “flip-flops” tipo D são utilizados para controle da alimentação: o “flip-flop” B

é controlado pela interrupção do relógio de tempo real e o “flip-flop” A permite que a alimentação seja colocada no estado “On” através do teclado. Ambos os “flip-flops” são mapeados no espaço de E/S, permitindo assim controle pelo programa.

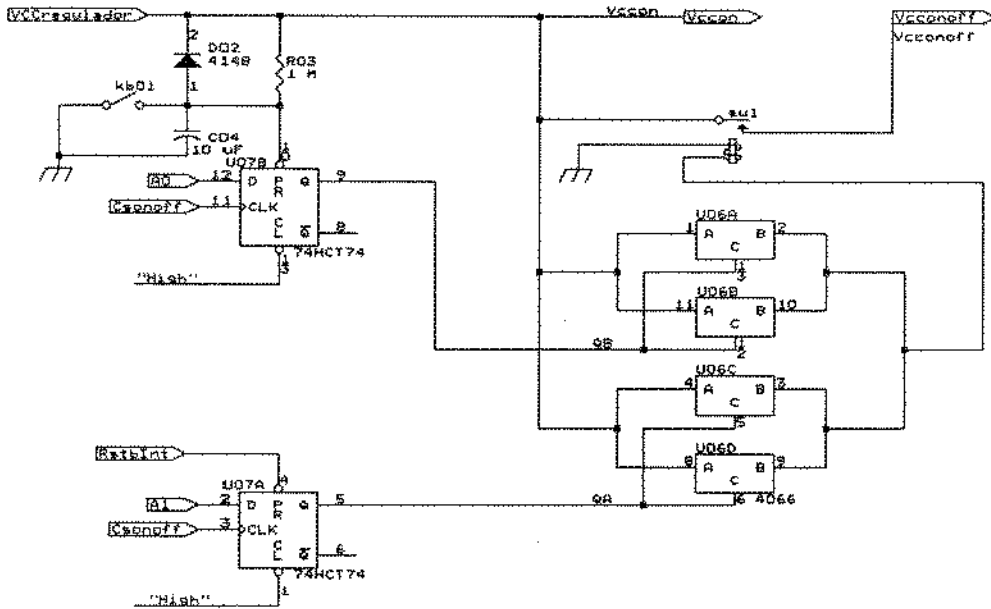


Fig. 4.10: Controle da alimentação “On-Off”

#### 4.2.2 Alguns Problemas e Soluções Adotadas

Um dos problemas a ser evitado é a execução um comando espúrio pelo MM58167A: durante a permanência da alimentação “OnOff” em “Off”, o MM58167A está energizado e deve ser mantido no estado “PowerDown” por ação de um sinal externo. Se este sinal externo, quando a alimentação passa de “Off” para “On”, retirar o MM58167A do estado de “PowerDown” antes que os sinais do barramento estejam estáveis, o relógio poderia executar um comando espúrio; no pior caso, este

comando espúrio poderia alterar os valores dos registradores internos do relógio arruinando o experimento. A probabilidade de tal situação ocorrer é muito pequena, porém existe. Para solucionar este problema é necessário garantir que  $\overline{Wr}$  e  $\overline{Cs}$  do MM58167A já estejam estáveis quando o relógio sair de "PowerDown". Para controlar o pino  $\overline{PowerDown}$  do MM58167A foi utilizado "flip-flop" do tipo D mapeado no espaço de E/S e que pode se ligado ou desligado pelo programa. Durante o período de estabilização do sistema, o sinal de "Reset" aplicado a este "flip-flop" garante a permanência em "baixo" do sinal que chega ao pino  $\overline{PowerDown}$ , não permitindo que o MM58167A saia do estado de "PowerDown". O MM58167A só é retirado do estado de "PowerDown" para ser reprogramado ou consultado e em seguida volta a este estado. A figura 4.11 mostra o esquema utilizado.

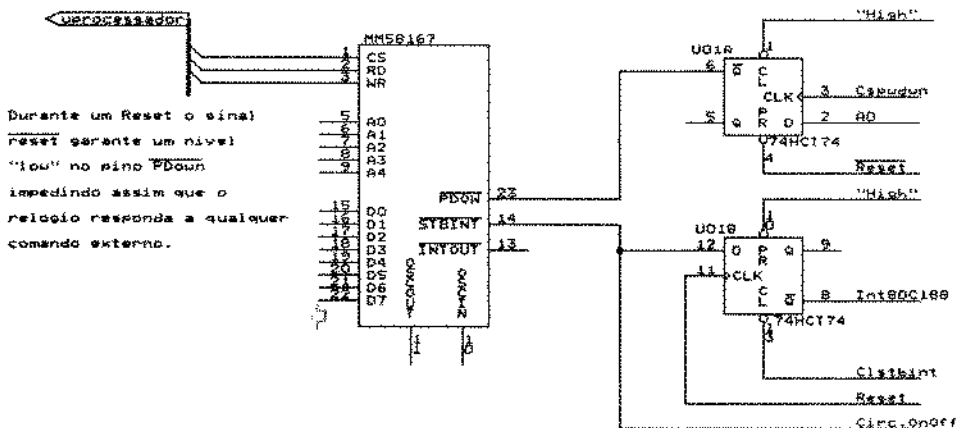


Fig. 4.11: Controle de PowerDown do MM58167A e do pedido de interrupção standby



Um outro problema está associado ao fato da alimentação da CPU ser desligada durante o estado “standby”: consiste em se distinguir um reset “verdadeiro” de um reset “falso”. O reset “verdadeiro” é aquele que ocorre quando o sistema é ligado pela primeira vez e o “falso” é devido à volta de um estado “standby”. No reset “verdadeiro” deve ser executados todos os procedimentos de iniciação, tais como: verificar se a instalação dos sensores corresponde à programada; acertar a hora corrente; zerar os contadores dos sensores digitais; etc. e iniciar a aquisição dos dados propriamente dita. No reset “falso” deve ser restaurado o contexto da CPU e dar prosseguimento à aquisição dos dados.

A identificação de um reset pode ser feito tanto por software como por hardware. A solução por software pode ser implementada da seguinte forma: durante a programação do experimento, na Estação Base é gravado um padrão de bits no cartucho e em uma posição de memória conhecida. Quando um reset ocorre, esta posição é verificada e se nela estiver o padrão colocado na Estação Base, então o reset é “verdadeiro” e os procedimentos de iniciação adequados serão executados e este padrão será substituído por um novo indicando para novas ocorrências um reset “falso”. Caso contrário será um reset “falso” e os procedimentos relacionados com este reset serão executados.

A solução por hardware pode ser implementada adicionando-se um “flip-flop” (IC0B na 4.11) que faz com que, ao ocorrer um “reset verdadeiro”, o pedido de interrupção “standby” do MM58167A está desativado e ao surgir um “reset falso”, ele está ativo. Assim, se este pedido de interrupção for usado para gerar

um pedido de interrupção à CPU, e se entre as primeiras instruções executadas, estiver a habilitação do sistema de interrupção da CPU, ao ocorrer um “reset verdadeiro” não haverá pedido de interrupção e a rotina de iniciação será executada. Se o “reset” for “falso”, haverá um pedido de interrupção, que será atendido por uma rotina que troca, na pilha, o endereço de retorno pelo endereço da rotina que trata o “reset falso” e retorna.

É importante salientar que a solução por hardware não implica na utilização de componentes adicionais e tem a vantagem de permitir o uso de um botão de reset de forma similar aos existentes nos micros pessoais de propósito geral, o que não é possível de forma tão simples na solução por software. Desta forma, foi adotada a solução por hardware. Esta solução também está mostrada na figura 4.11.

## Capítulo 5

# Estação de Campo – Software

O controle da Estação de Campo e a execução de programas (experimentos) são gerenciados por dois “programas” residentes que interagem entre si, denominados Interpretador e Monitor. O Interpretador tem como função reconhecer o código intermediário gerado pelo Tradutor LADAM, executá-lo e oferecer ao experimentador alguns comandos de consulta e intervenções. O Monitor é responsável pela implementação das rotinas de serviços usadas pelo Interpretador e pela execução dos procedimentos iniciais quando a estação é ativada.

A seguir está brevemente descrita a execução de um programa típico e são apresentados os comandos e serviços oferecidos pelo Interpretador e pelo Monitor.

### 5.1 Execução de um experimento típico

O experimento a ser executado é programado na Estação Base e o tradutor LADAM gera o código intermediário correspondente ao programa em um cartucho. Este cartucho é então levado à Estação de Campo. Quando a estação de campo

é ligada o Monitor configura o 80C188, realiza uma verificação do hardware (memória, relógio de tempo real, display, etc.), enviando mensagens de “Ok” ou de Erro, conforme o caso. A seguir, o Monitor monta, na memória, uma tabela que relaciona a cada porta o tipo de sensor nela instalado, usando para isto o sistema de identificação automático presente nas interfaces dos sensores. A data e hora corrente são informadas ao experimentador, que deve confirmá-las ou corrigi-las. Neste momento, o Monitor passa o controle para o Interpretador que entra no modo “comando”, no qual consultas e intervenções podem ser executadas pelo experimentador. O modo “comando” é terminado pelo comando “Inicia Experimento”, que desempenha as seguintes funções:

- realiza a verificação do LRC do cartucho
- faz o confronto da configuração instalada dos sensores com a programada, permitindo ao experimentador decidir por uma nova configuração ou corrigir uma instalação inadequada
- obtém o horário de execução do próximo evento, programando a estação para ser ativada neste horário
- desativa a estação.

A cada ativação da estação os eventos prontos são executados, a estação é novamente programada para ser ativada no horário de ocorrência do próximo evento e é desativada. A estação permanece nesse ciclo ativação-desativação até que o comando Finalizar experimento seja executado como consequência natural da

execução do programa ou por solicitação do experimentador. Comandos externos são colocados, com baixa prioridade, na fila de tarefas prontas, esperando assim sua execução. Se uma intervenção do experimentador é solicitada durante um período de desativação da estação, como resposta a estação é ativada e os comandos requeridos são tratados como antes.

## 5.2 Interpretador

O Interpretador foi dividido em dois núcleos básicos. O primeiro composto pelas rotinas de atendimento ao console e o segundo responsável pela execução dos experimentos. Como já observado, a implementação deste módulo foi feita por Gimenes e reproduzimos aqui, abreviadamente, sua descrição.

### 5.2.1 Rotinas de atendimento ao console

Estas rotinas tem como objetivo implementar comandos que dão ao experimentador a oportunidade de interagir com a Estação de Campo, seja antes, durante ou após a execução de um experimento.

Os comandos podem ser consultas ou intervenções. Durante a execução de um programa, comandos recebidos somente serão atendidos nos intervalos entre tarefas e nunca no meio delas. Os comandos implementados são:

#### 1. Consulta

D — Data do dia

S — Status do experimento

- C — Configuração do sensores
- L — Listagem dos eventos
- M — Mensagens de erro
- R — Leitura de valores instantâneos dos sensores
- V — Verifica o LRC do cartucho

## 2. Intervenções

- I — Iniciar experimento
- E — Encerrar experimento
- F — Alterar frequência de um evento
- R — Reiniciar experimento
- G — Gravar mensagem no cartucho

### 5.2.2 Núcleo Básico do Interpretador

Este núcleo é responsável pelo controle da lista de eventos e execução das tarefas e por chamadas ao monitor quando necessário. Ele é composto por 5 rotinas básicas, que são:

1. Iniciação do experimento
2. Controle do experimento
3. Ativação dos eventos

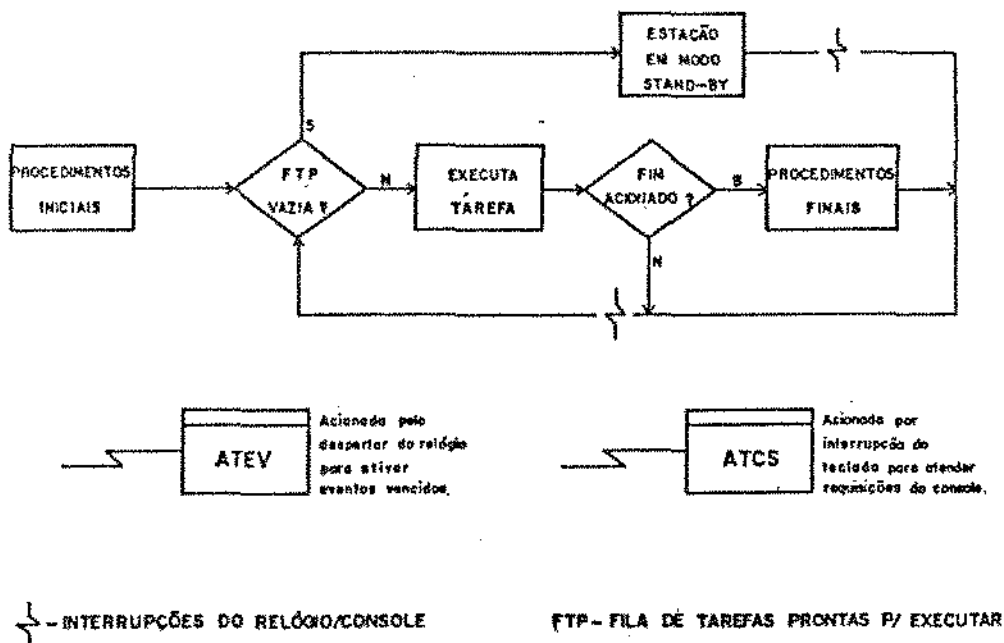


Fig. 5.1: Núcleo Básico do Interpretador<sup>1</sup>

4. Execução das tarefas
5. Finalização do experimento

A figura 5.1 mostra o esquema de funcionamento deste núcleo.

### 5.3 Monitor

O Monitor é composto por rotinas responsáveis pela iniciação, ativação e desativação da estação, uma rotina de reconhecimento de comandos e um conjunto de rotinas (BIOS) que proporcionam acesso aos mais diversos recursos de hardware por parte das outras rotinas do Monitor e do Interpretador. O Monitor isola o Interpretador dos detalhes do hardware oferecendo a este todas as primitivas de que necessita.

### 5.3.1 Rotina de Iniciação

Esta rotina é executada automaticamente toda vez que a CPU é energizada ou um “reset” é gerado. Ela é responsável pela execução dos procedimentos comuns aos dois tipos de “reset” (verdadeiro e falso), reconhecimento do tipo de “reset” e execução dos procedimentos correspondentes. Os procedimentos comuns são aqueles referentes ao mapeamento das memórias, dos periféricos e do sistema de interrupção e restauração do contexto. Estas informações residem em registradores da CPU e portanto são perdidas quando a CPU é desenergizada. As memórias são configuradas conforme mostrado na figura 4.5, os periféricos são mapeados no espaço de E/S e o apontador da pilha é restaurado a partir de uma área de RAM especialmente reservada para isto. Os dois tipos de “reset” são distintos pela presença ou não de um pedido de interrupção, assim o sistema de interrupção é ativado. Em havendo um pedido, significa que o sistema está voltando de um período em “standby” e os procedimentos referentes ao “reset falso” são executados; caso contrário serão executados os procedimentos do “reset verdadeiro”.

#### Procedimentos do “reset verdadeiro”

1. Desativar interrupções
2. Montar o vetor de interrupções
3. Iniciação da pilha



4. Mandar ao display mensagem de saudação
5. Teste da memória, relógio, display, etc.
6. Montar a tabela dos sensores instalados
7. Informar data e horário corrente
8. Passar controle para o Interpretador

### Procedimentos do “reset falso”

A interrupção que indica um “reset falso” pode ser gerada pelo relógio de tempo real ou pelo teclado. Em ambos os casos deve-se executar uma ativação física, que consiste em restaurar o contexto a partir de uma área da RAM e desviar o fluxo de execução para o Interpretador. No primeiro caso o fluxo é desviado para a rotina de execução de eventos prontos e no segundo para a rotina de execução de comandos.

### 5.3.2 Rotina de Reconhecimento de Comandos

Esta rotina é executada toda vez que a estação está no modo comando. Tem a finalidade de ler o teclado e verificar se o comando é válido, emitindo mensagens de erros ou retornando ao interpretador o comando solicitado, que é colocado, com baixa prioridade, na fila de tarefas prontas. O reconhecimento de um comando e as interações com o console decorrentes de sua execução estão sujeitos a um “time-out”, evitando que haja atraso na execução das tarefas do experimento devido a ações externas.

Uma melhora neste sistema pode ser alcançada, modificando o Interpretador para que ele antes de executar um comando programe o relógio de tempo real para gerar um pedido de interrupção na hora da execução de novas tarefas. Assim, o “time-out” seria determinado, dinamicamente, pela ocorrência de tarefas prontas a serem executadas. Para efeito de economia de energia seria implementado um “time-out” por tecla precionada, possibilitando a entrada da estação em “standby” caso haja demora no uso do console.

### **5.3.3 Rotinas de Acesso ao Hardware – BIOS**

Estas rotinas são executadas toda vez que o Monitor ou o Interpretador necessitam ter acesso a algum periférico do sistema. O acesso a estas rotinas é semelhante ao utilizado no MS-DOS: através de interrupção por software, onde o tipo da interrupção determina o periférico e o serviço desejado é especificado no registrador Ax. Quando o serviço desejado envolve parâmetros de entrada e/ou saída, estes serão passados através da pilha, como é usual em linguagens de alto nível. Segue-se uma lista sumária das funções disponíveis no BIOS.

#### **Display de cristal líquido — int 16H**

1. Iniciação
2. Seleciona linha para escrita
3. Escreve caráter na posição do cursor e avança-o
4. “Backspace”

5. Liga o “display”
6. Desliga o “display”
7. Limpa o “display”
8. Escreve mensagem no “display” (máximo de 32 caracteres)

### **Teclado — int 17H**

Todas as funções listadas abaixo produzem eco no “display”.

1. Leitura de uma tecla
2. Leitura de horário
3. Leitura de data
4. Leitura de valor numérico
5. Leitura de mensagem
6. Leitura de confirmação de comando (s ou n)

### **Relógio de tempo real — int 1BH**

1. “Power-Down” (liga e desliga)
2. Leitura de data e horário
3. Atualização de data e horário

4. Programação da interrupção “standby”

5. Programação da interrupção normal

## Sensores

1. Leitura de sensor digital

2. Leitura de sensor analógico

### 5.3.4 Ativação e Desativação Lógica-Física

Somente se o intervalo de tempo entre dois ciclos consecutivos de aquisição de dados for considerado “longo”, a estação deverá entrar no estado “standby”. Assim após o término de um ciclo de aquisição, a estação deve “optar” por entrar ou não no estado “standby”. Caso a estação entre em “standby” diz-se que houve uma desativação física do sistema, do contrário, houve uma desativação lógica. Da mesma forma, se a estação retorna de um estado “standby”, houve uma ativação física, caso contrário houve uma ativação lógica.

A implementação do processo de ativação/desativação está dividida em dois níveis. A ativação física está a cargo do Monitor e a lógica a cargo do Interpretador.

Quando um novo ciclo de aquisição se inicia, o Monitor passa o controle para o Interpretador que faz a ativação lógica, a qual consiste em selecionar os eventos que possuem horário de execução menor ou igual ao horário corrente. Executa-os e procura na fila de eventos qual o horário da próxima ativação e

realiza uma desativação lógica. Isto é, passa o controle ao Monitor em conjunto com o horário da próxima ativação. O Monitor, de posse deste horário, verifica se o tempo para a nova ativação é “longo”, programando de forma conveniente um dos dois tipos de interrupção do relógio de tempo real para fazer um pedido de interrupção quando a hora corrente atingir a hora do novo ciclo de aquisição. Se o tempo de espera foi considerado “longo”, então é realizada uma desativação física, entrando a estação em “standby”; caso contrário realiza-se uma desativação lógica, e a CPU entra em espera por uma interrupção. Quando um pedido de interrupção é gerado pelo relógio, inicia-se mais um ciclo de aquisição. O Monitor sabe distinguir o tipo de ativação através do tipo de interrupção gerado pelo relógio. Se a ativação é lógica a interrupção pedida pelo MM58167A será via o pino  $\overline{Intout}$ , de outra forma será via o pino  $\overline{Stbint}$ . Assim o Monitor executa as tarefas necessárias a cada tipo de ativação e passa o controle ao Interpretador, fechando o ciclo. Assim sendo:

- Toda ativação física é sucedida por uma ativação lógica.
- Toda desativação física é precedida por uma desativação lógica.
- Nem toda ativação lógica é precedida por uma ativação física.
- Nem toda desativação lógica é sucedida por uma desativação física.

## Capítulo 6

# Interfaces

### 6.1 Interface Estações Base–Campo

A Interface entre as estações Base e de Campo realiza-se em duas fases distintas e independentes: A primeira fase consiste na transferência do código intermediário, que descreve o experimento, gerado pelo tradutor LADAM, da Estação Base para a de Campo. A segunda fase só é realizada após o término do experimento, com a transferência dos dados coletados da Estação de Campo para a Base. Assim a interface é implementada pela transferência de arquivos de um ponto a outro. Em princípio, a interface entre as duas Estações pode ser implementada por qualquer mecanismo que possibilite a transferência, de forma segura, de um conjunto de bytes entre dois pontos. A escolha do mecanismo para implementar a interface deve recair sobre aquele que proporcionar maior economia de energia, permitir maior flexibilidade de instalação do sistema, obedecer a critérios técnicos de confiabilidade dos dados transferidos, volume adequado de dados e custo aceitável.

### 6.1.1 Avaliação dos mecanismos de transferência de dados

Há dois mecanismos básicos a considerar: transmissão dos dados via comunicação serial e gravação dos dados em um dispositivo de armazenamento que posteriormente é transportado de forma manual, de uma estação para a outra. Sistemas de comunicação sem fio, por radio frequência ou feixe de luz também poderiam ser considerados e tem sido adotados em casos especiais. Entretanto, os custos e consumo de energia seriam proibitivos para nossa aplicação. Por outro lado as vantagens inerentes a este tipo de solução, que consiste na disponibilidade "on-line" dos dados coletados não tem aqui maior importância.

A primeira opção pode ser implementada de forma confiável através da transmissão dos dados por linha telefônica ou por uma linha serial dedicada. A adoção desta opção compromete a flexibilidade quanto ao local de realização dos experimentos, pois estes só serão possíveis em locais onde exista linha telefônica ou uma linha dedicada disponível. O consumo de energia aumentaria consideravelmente, uma vez que seria necessária a utilização de modems. Assim sendo, decidiu-se abandonar este tipo de solução para o SADAM.

A segunda opção pode ser implementada por diversos meios, tais como: disquetes, fita magnética tipo cassete e banco de memória não volátil. O uso de disquetes ou fitas magnéticas tem como vantagem a capacidade de armazenamento e como desvantagem o custo, pois necessitam de um acionador de disquetes ou de um gravador cassete na Estação de Campo, e ainda há alto consumo

de energia, quando comparado com o consumo restante da estação de Campo. Além destes fatores, estes aparelhos devem ser protegidos afim de suportar as intempéries adversas nos locais dos experimentos, e manter o seu bom funcionamento. No uso presente do sistema, uma capacidade média de armazenamento não representa desvantagem, pois na realização do experimento não assistido por um experimentador (Experimento Padrão) a quantidade de dados efetivamente gravados é bastante modesta (quase sempre são gravados médias diárias e não valores instantâneos).

Assim, a solução que passou a ser considerada foi a utilização de um banco de memória não volátil. O isolamento da interface para suportar as intempéries resume-se ao isolamento do resto da estação, pois a interface é compacta o suficiente para ser instalada dentro do gabinete principal da Estação de Campo. Daqui em diante, o banco de memória será denominado “cartucho” por uma questão histórica<sup>1</sup>.

Para implementar o cartucho não volátil há basicamente duas opções. A primeira delas usa “chip’s” de memória não volátil, tais como EPROM ou EEPROM, que permite escrita (em modo especial) e leitura de dados. A segunda, utiliza “chip’s” de memória volátil acompanhado de um sistema de “back-up” de bateria, tornando o cartucho um sistema de memória não volátil.

A utilização de EPROM’s e similares para implementar a interface tem como principal desvantagem o uso de duas tensões de operação, uma para gravação

---

<sup>1</sup>A primeira interface foi implementada tendo como base um cartucho do microcomputador I-7000, da Itautec



(12,5 Volts, tipicamente) e outra para leitura. Isto implica em dizer que na Estação de Campo, além das tensões já existentes, deve-se dispor da tensão de gravação da EPROM utilizada. Outra desvantagem diz respeito à velocidade de escrita (gravação), que é baixíssima quando comparada com a das memórias RAM's. Para aplicações em coleta de dados meteorológicos, esta velocidade modesta não representa nenhum problema mais sério, mas pode inviabilizar ou restringir o uso futuro do sistema em outros tipos de coletas de dados, em áreas em que a velocidade seja um requisito importante. Finalmente se fosse usadas EPROM's, o apagamento dos cartuchos seria muito mais trabalhoso, envolvendo sua abertura e exposição dos dispositivos à luz ultravioleta.

### **6.1.2 Solução Adotada**

Desta forma, optou-se neste trabalho pelo uso de RAM's com "back-up" de bateria, que apresentam quase todas as vantagens da EPROM, eliminam a necessidade de mais níveis de tensão e melhoram significativamente a velocidade de gravação dos dados. O cartucho é implementado de forma a garantir a integridade dos dados, isto é, ausência de perda ou adulteração parcial ou total dos dados na introdução/remoção do cartucho em uma das estações ou durante o transporte do mesmo. Estas perdas podem ocorrer devido à falta de alimentação da memória durante o processo de introdução/remoção ou ainda pela presença de um ou mais comandos de escrita espúrios gerados durante o mesmo processo.

## O Sistema de “Back-up” de Bateria

Para se garantir uma alimentação contínua às RAM's que compõem o cartucho, liga-se uma bateria à alimentação das mesmas, como mostrado na fig.6.1.

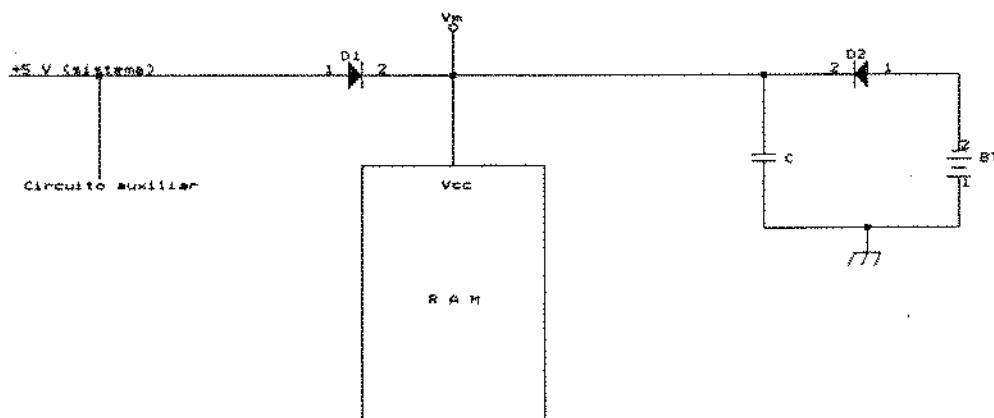


Fig. 6.1: Alimentação contínua de memórias RAM

Onde:

- $V_{cc}$  é a tensão proveniente da estação (+5V)
- B uma bateria com tensão menor que  $V_{cc}$  e maior que a mínima necessária para a manutenção dos dados pela RAM (tipicamente 3V)
- $D_1$  evita que o circuito auxiliar seja alimentado quando  $V_{cc}$  não estiver presente, economizando energia da bateria
- $D_2$  isola a bateria do sistema quando  $V_{cc}$  estiver presente no caso da bateria não ser recarregável, caso contrário  $D_2$  deve ser substituído por um resistor de valor apropriado

Quando o cartucho é retirado de uma das estações  $V_{cc}$  deixa de existir e o capacitor  $C$  descarrega-se até o valor de  $V_B - V_{D_2}$ . Este valor é mantido como alimentação da memória até que o cartucho seja novamente inserido em uma das estações. O capacitor  $C$  carrega-se até o valor de  $V_{cc} - V_{D_1}$  e esta passa a ser a tensão de alimentação da RAM — supondo-se que  $D_1$  é um diodo com baixa queda de tensão direta ( $V_{D_1}$ ), esta tensão deve se situar em um valor ainda admissível para o funcionamento normal do “chip”.

É importante salientar que a alimentação do cartucho é feita pela bateria quando ele não está conectado a uma das estações. Assim é desejável que as memórias consumam o mínimo possível para possibilitar um maior tempo de “sobre-vida” dos dados. Por isto no cartucho são utilizadas RAM’s CMOS especiais (LP) de baixíssimo consumo.

### Comandos Espúrios

Evitar a ocorrência de comandos de escritas espúrios durante a introdução ou remoção do cartucho nas estações é mais complexo que resolver o problema da continuidade da alimentação. Durante estas operações, flutuações dos sinais nos barramentos de dados, dos endereços e de controle, poderiam gerar um comando de escrita que adultere o conteúdo de um ou mais bytes do cartucho. Assim, a memória deve estar desabilitada para a escrita ou qualquer outro comando durante a ocorrência destas flutuações nos sinais dos barramentos. A fig.6.2 ilustra a forma sugerida por Woodhull [33], para solucionar o problema acima

citado.

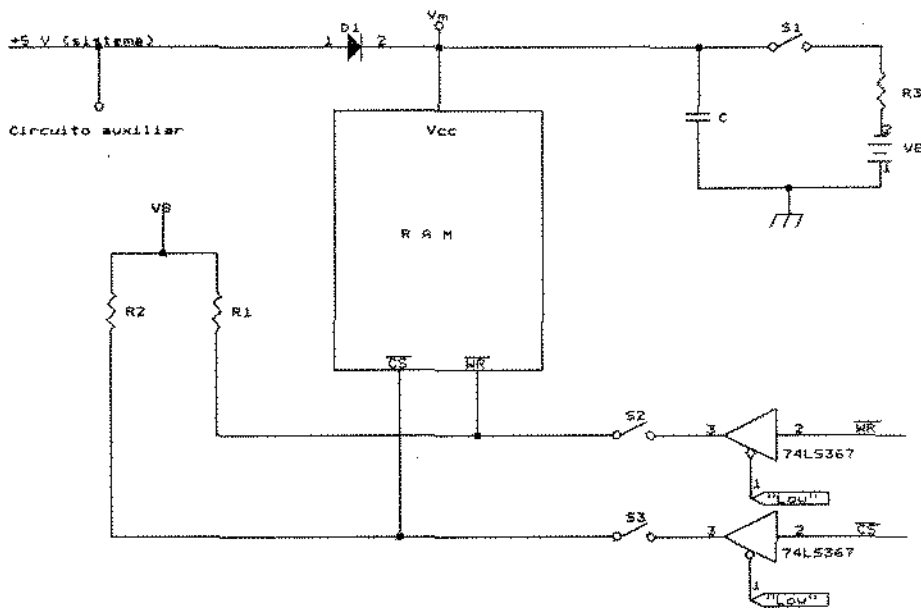


Fig. 6.2: Proposta de Woodhull

As linhas  $\overline{CS}$  e  $\overline{WR}$  estão ligadas a uma chave e a um resistor de “pull-up”. A inserção ou remoção do cartucho no sistema é realizada com as chaves  $S_2$  e  $S_3$  abertas — assim estas operações são realizadas com a memória desabilitada, devido à ação dos resistores de “pull-up”. Após terminada a inserção do cartucho no sistema as chaves  $S_2$  e  $S_3$  devem ser fechadas para permitir o uso normal da memória. Antes de uma remoção,  $S_1$  deve ser fechada e permanecer neste estado até uma nova inserção quando poderá permanecer fechada ou ser aberta. A bateria utilizada é tipo recarregável, e todas as linhas dos barramentos da RAM não mostrados na figura são ligadas ao sistema através de “buffer’s” 74LS367.

## Prevenção de Comandos Espúrios

A proposta de Woodhull tem como desvantagem a necessidade de intervenção manual afim de garantir que a memória somente esteja habilitada a receber comandos após a inserção do cartucho, quando o sistema estiver estável. Pode-se notar ainda que os “buffer’s” nas linhas de endereços e dados da memória não são essenciais para garantir a confiabilidade dos dados, uma vez que a memória é mantida desabilitada.

A solução adotada neste trabalho utiliza a idéia contida na solução apresentada por Woodhull, isto é, atraso na capacidade da memória em responder comandos até que o sistema esteja estável. Porém, eliminando os “buffer’s” nos barramentos de endereços e dados, proporcionando maior economia da energia consumida pelo cartucho e implementando de forma automática o sistema de atraso da habilitação da memória. A fig.6.3 mostra de forma esquemática o circuito de controle automático da habilitação da memória.

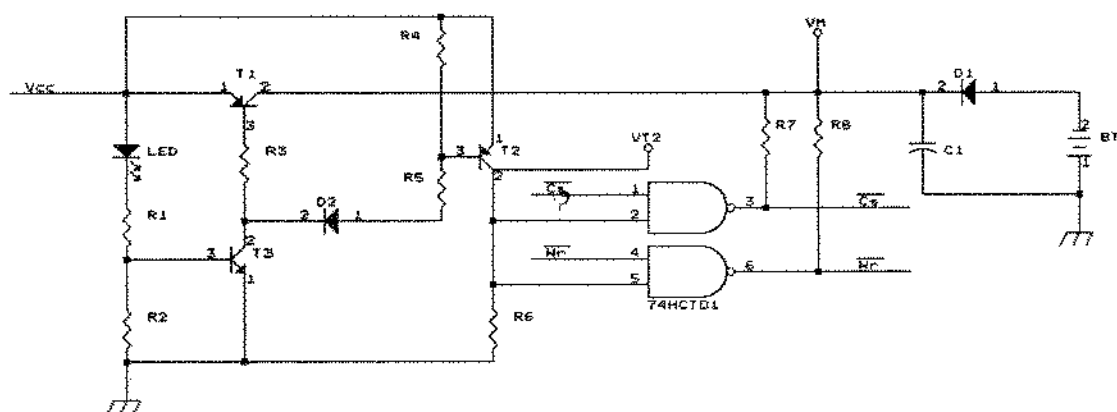


Fig. 6.3: Circuito de controle automático da habilitação da memória

Quando o cartucho está fora de uma das estações, somente a memória está energizada por  $V_m = V_b - V_{D_1}$  e está desabilitada por efeito dos resistores de “pull-up” dos NAND’s “Open-Collector” ligados a  $V_m$ . Na inserção,  $V_m$  passa a ser aproximadamente  $V_{cc}$  antes que o circuito permita que a memória seja habilitada, pois  $T_1$  é chaveado ON antes de  $T_2$ .  $T_3$  funciona como uma chave e  $D_3$  acende quando a tensão  $V_{cc}$  está presente. Na remoção do cartucho os resistores de “pull-up” desabilitam a memória assim que  $V_{cc}$  é removido.

### 6.1.3 Implementação do Cartucho

Uma primeira versão da Interface entre as estações Base-Campo foi implementada a partir do cartucho utilizado no microcomputador I-7000 da Itaotec. O cartucho original da Itaotec foi projetado para suportar 16 Kbytes (4 “chip’s” 2732) ou 32 Kbytes (4 “chip’s” 2764) de memória EPROM e a seleção é feita por “jumpers” e pelo uso de dois sinais,  $\overline{CP1}$  e  $\overline{CP2}$  gerados no microcomputador e presentes no barramento do cartucho. O cartucho da Itaotec é visto de forma esquemática na fig.6.4.

Para a implementação de nosso cartucho foi necessário realizar algumas modificações nas ligações internas do cartucho original afim de substituir as EPROMs por RAMs CMOS de 8 Kbytes cada. O circuito mostrado na fig.6.3 foi montado e introduzido no cartucho para permitir o “back-up” de bateria e garantir a confiabilidade dos dados. A fig.6.5 mostra de forma esquemática o primeiro cartucho utilizado no SADAM com capacidade de 8 a 32 Kbytes, com incrementos de 8 Kbytes.

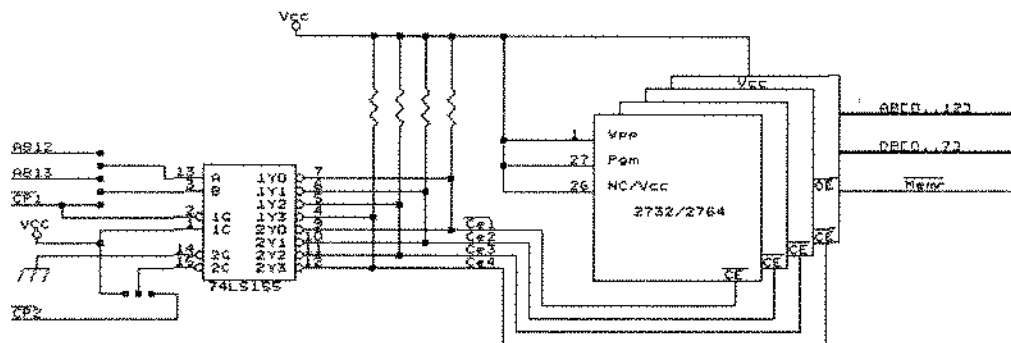


Fig. 6.4: Esquema da forma original do cartucho Itautec

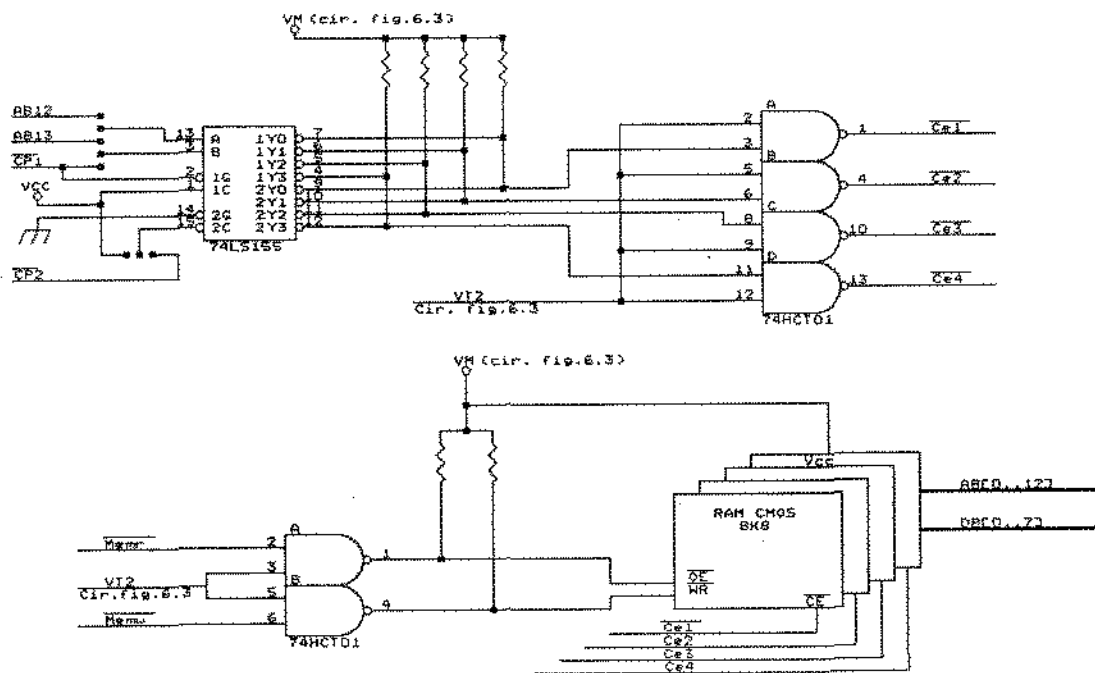


Fig. 6.5: Cartucho utilizado pelo SADAM

A conversão do cartucho para ser instalado no IBM PC é realizada por meio de uma placa que converte o barramento do cartucho para o do PC tornando o cartucho uma expansão de memória. Assim sendo, esta placa conversora contém "buffer's" para o barramento de dados e de endereços e uma decodificação de endereços como determinam as especificações técnicas do IBM PC [8]. Os sinais CP1 e CP2 existentes no cartucho são conectados ao sistema de decodificação de endereços da placa conversora. Este cartucho adaptado serviu para os testes na conversão do SADAM para usar o PC como Estação Base. Entretanto, um cartucho utilizando o barramento PC não é atualmente a melhor solução, face a seu tamanho considerável e a emergência de novos padrões e disponibilidade de formatos extremamente compactos para cartuchos de memória. No capítulo 7 são apresentadas sugestões e é descrito o trabalho que está sendo iniciado no sentido de adotar, no SADAM, esta nova tecnologia de cartuchos de memórias.

O cartucho foi submetido a dois tipos de testes. O primeiro para verificar a não volatilidade e confiabilidade e o segundo para determinar o consumo do circuito da fig.6.3.

#### **6.1.4 Teste de não Volatilidade e Confiabilidade**

Dois programas foram escritos para a realização deste teste. Um para escrever no cartucho, com verificação, uma seqüência conhecida de bytes. Outro para ler o cartucho e verificar se a seqüência de bytes lida é a mesma escrita pelo primeiro. O teste foi realizado da seguinte forma: inicialmente executa-se o primeiro programa, retira-se o cartucho da estação e depois com o cartucho novamente na



estação executa-se o segundo programa; repete-se estes últimos passos por diversas vezes. O teste descrito acima foi realizado para várias seqüências de bytes e com variações do tempo de permanência do cartucho fora da estação, desde alguns segundos até dias. Em todos os testes realizados não se detectou a perda de byte algum. Ao fim dos testes o cartucho foi utilizado em simulações de experimentos e novamente não foi detectada perda de dados.

### 6.1.5 Teste de Consumo

O teste de consumo do cartucho foi realizado em duas fases. A primeira para determinar o consumo do circuito auxiliar, apresentado na figura 6.3, quando o cartucho está instalado em uma das estações. A segunda para determinar o consumo quando ele não está instalado em uma das estações. Os "chip's" de memória utilizado nos testes foram o *HM6264P* - 15, com capacidade de 8K x 8 bits.

#### Consumo Instalado

O cartucho foi instalado, sem memória, na Estação Base, e então medido a corrente total consumida pelo mesmo. Nesta medida, notou-se que o consumo total era, na prática, devido ao decodificador *74LS155* e ao NAND *74LS01*. Em seguida foi introduzido um chip de memória e logo após introduziu-se mais um; novamente notou-se que o aumento do consumo deveu-se unicamente às contribuições dos novos "chip's". Isto implica em dizer que o consumo do circuito de proteção era desprezível quando comparado ao consumo dos outros componentes

do cartucho. Portanto, o circuito de proteção pode ser utilizado sem aumentar significativamente o consumo nas estações.

### Consumo não Instalado

Este teste também foi realizado em etapas. Inicialmente mediu-se o consumo com  $8K$  bytes de memória e depois com  $16K$  bytes.

Nos primeiros testes usou-se uma bateria de  $3\text{volts}$  e foi observado um alto consumo:  $4,96\text{ mA}$  e  $8,43\text{ mA}$  para  $8K$  e  $16K$  bytes de memória respectivamente. Medindo-se as tensões no circuito, encontrou-se um valor de  $1,92\text{ volts}$  em  $\overline{CS}$ , que não é suficiente para garantir um estado desabilitado das memórias utilizadas. Isto explica o consumo acima do esperado então detectado.

Os testes foram repetidos para uma tensão de bateria de  $4,5\text{ volts}$ . Sendo detectada uma tensão em  $\overline{CS}$  maior que  $3\text{ volts}$ , suficiente para desabilitar efetivamente as memórias. O consumo do cartucho foi então de  $1,33\text{ mA}$  e  $2,82\text{ mA}$  para  $8K$  e  $16K$  bytes de memória respectivamente. Constatou-se ainda que o único fluxo de corrente existente no circuito auxiliar ocorreu nos resistores de "pull-up" ligados aos  $\overline{CS}$ 's e esta corrente foi de  $0,66\text{ mA}$  para cada "chip" de memória utilizado.

### Autonomia do Cartucho

Os testes realizados acima permitiram determinar a autonomia do cartucho. Considerando o uso de pilhas com capacidade de  $1\text{ Ampère/hora}$  obtém-se para

o cartucho com 8 *Kbytes* uma autonomia de aproximadamente 751,8 *horas* ( $\approx$  31 *dias*) e para 16 *Kbytes* 354,6 *horas* ( $\approx$  14 *dias*). Estima-se que para 32 *Kbytes* se tenha uma autonomia de 7 *dias*.

É importante salientar aqui que não foi possível obter, à época em que foram realizados os testes, os “chip’s” de baixíssimo consumo (tipo LP) que pretendíamos utilizar. Foram utilizadas as memórias *HM6264P* – 15 que apresentam consumo da ordem de miliampère. As RAM/CMOS do tipo LP, já disponíveis no mercado, consomem na ordem de microampère, quando desabilitadas. Com o uso destas ultimas, espera-se também diminuir a corrente dos resistores de “pull-up”, uma vez que esta corrente também é dependente da memória utilizada. Assim pode-se esperar, com o uso de RAM/CMOS do tipo LP, uma autonomia pelo menos 10 vezes maior que a acima avaliada.

### 6.1.6 Capacidade do Cartucho

Foi realizado para os dois tipos de experimentos uma previsão da área de dados necessária, levando-se em consideração a quantidade de bytes ocupada por cada registro gravado e a quantidade de vezes que cada um dele é gravado por experimento. Assim, avaliou-se que, para o experimento padrão, é necessária uma área de dados de 11 *Kbytes* e, para o experimento microclimático, de 18 *Kbytes*, para experimentos com duração de 30 dias e 1 dia respectivamente.

As simulações realizadas por Gimenes[13], mostraram que o código intermediário gerado para um programa que realiza o experimento microclimático ocupa menos que 2 *Kbytes*. Assim um cartucho com capacidade de até 32 *Kbytes*

é bastante razoável para a realização dos experimentos do CEPAGRI. No capítulo 7 são apresentadas sugestões para sensíveis melhoras nos cartuchos, face à última geração de “chip’s” disponíveis na época do término da dissertação.

## 6.2 Interface SADAM–Sensor

Ao SADAM podem ser conectados sensores analógicos e digitais, com diferentes níveis de sinais de resposta. Assim, a interface SADAM–sensor tem como finalidade interligar sensores específicos à estação de campo. Para os sensores analógicos ela deve converter os níveis dos sinais gerados pelo sensor aos níveis da placa de conversão A/D e para os digitais a níveis TTL. A interface implementará um sistema de identificação automática que permitirá à estação de campo obter o tipo e as principais características do sensor.

As interfaces serão conectadas em um dos 16 “slots”, presentes na placa principal da estação de campo, destinados a este fim. Um barramento foi especialmente projetado para proporcionar maior flexibilidade na instalação dos sensores.

As interfaces são personalizadas e por isso diferem umas das outras. Porém possuem um núcleo comum, composto pelo barramento de conexão das interfaces ao SADAM, pelo sistema de identificação automático e por um sistema de leitura “on the fly” para as interfaces de sensores digitais.

### 6.2.1 Barramento de Conexão das Interfaces ao SADAM

O barramento do SADAM destinado à conexão das interfaces foi projetado para utilizar 16 conectores de 62 pinos, similares aos utilizados nos “slots” dos IBM PC. Esta decisão deveu-se à ampla disponibilidade dos conectores para este tipo de barramento. Em cada conector (“slot”) estão presente os seguintes sinais<sup>2</sup>.

- terra digital (02)
- terra analógico (02)
- + 5 V<sub>con</sub> (01)
- + 5 V<sub>conoff</sub> (02)
- + 12 V<sub>con</sub> (01)
- + 12 V<sub>conoff</sub> (01)
- - 12 V<sub>con</sub> (01)
- - 12 V<sub>conoff</sub> (01)
- entradas analógicas (04)
- saídas analógicas (04)
- entradas digitais (04)
- saídas digitais (04)

---

<sup>2</sup>O número entre parentesis indica a quantidade de pinos em que o sinal está presente

- dados bidirecionais (08)
- endereços internos (04)
- $\overline{Rd}$  (01)
- $\overline{Wr}$  (01)
- $\overline{SlotEnable}$  (01)
- Clkout (01)
- $\overline{Reset - on}$  (01)
- $\overline{Reset - off}$  (01)
- identificação de presença da interface (01)
- pedido de interrupção (02)

Os sinais do barramento do SADAM podem ser classificados em três tipos distintos, quanto à sua disponibilidade nos 16 “slots”:

- Particulares — são aqueles sinais disponíveis a um único “slot”. ( $\overline{SlotEnable}$ )
- Comuns — São aqueles sinais disponíveis em todos os 16 “slots” simultaneamente. (Os 12 pinos de alimentação; o barramento de dados bidirecional;  $\overline{Rd}$ ;  $\overline{Wr}$ ;  $\overline{Reset - on}$ ;  $\overline{Reset - off}$ ; endereços internos; pedidos de interrupção e identificação de presença da interface)

- Comuns por grupo — São aqueles sinais disponíveis simultaneamente a um grupo de 4 “slots”. (Entradas e saídas analógicas e entradas e saídas digitais)

Tratando-se de um sistema experimental e prevendo-se a possibilidade de aparecimento no mercado de “sensores inteligentes”<sup>3</sup> foi implementado um barramento bidirecional de dados de 8 bits para a comunicação entre a interface e o SADAM. Se tais “sensores inteligentes” não se tornarem realidade, em uma futura implementação comercial pode-se substituir este barramento por um único bit, tornando assim a comunicação serial e diminuindo os custos com hardware.

O SADAM possui 16 entradas analógicas, disponíveis nos “slots” em grupo de 4. Para permitir “acesso” a mais de uma entrada analógica a partir de um único “slot” elas estão ligadas da seguinte forma: a entrada 1 está disponível no pino 1 do “slot” 1, no pino 2 do “slot” 2, no pino 3 do “slot” 3 e no pino 4 do “slot” 4; a entrada 2 está disponível no pino 2 do “slot” 1, no pino 3 do “slot” 2, etc. A tabela 6.1 mostra as ligações das 4 primeiras entradas analógicas ao primeiro grupo de 4 “slots”. Os outros 3 grupos de “slots” são ligados de forma semelhante ao grupo 1, com as entradas: 5 a 8 no grupo 2; 9 a 12 no grupo 3; e 13 a 16 no grupo 4.

---

<sup>3</sup>Sensores com microcontroladores programáveis embutidos

Entrada Analógica	Slot1 # pino	Slot2 # Pino	Slot3 # Pino	Slot4 # Pino
a1	1	2	3	4
a2	2	3	4	1
a3	3	4	1	2
a4	4	1	2	3

Tabela 6.1:

Esta forma de dispor as entradas analógicas nos “slots” permite que interfaces que utilizam uma única entrada analógica possam ser conectadas a qualquer “slot”; se houver uma placa que use 4 entradas analógicas, ela deve ser a única que utiliza entradas analógicas no grupo; e assim por diante<sup>4</sup>.

As saídas analógicas e as entradas e saídas digitais estão também dispostas nos “slots” de forma semelhante às entradas analógicas.

A existência de dois sinais de “reset” distintos deve-se ao seguinte fato: quando a estação é ligada (“reset verdadeiro”) todos os componentes programáveis do SADAM e das interfaces devem sofrer a ação de um “reset”, mas quando a estação volta de um estado “stand-by” (“reset falso”), somente os componentes que foram desenergizados necessitam e podem sofrer a ação de um “reset”. Assim, o sinal  $\overline{Reset - on}$  é um sinal de “reset” que só é ativo durante um “reset verdadeiro” e o sinal  $\overline{reset - off}$  é ativo durante um “reset verdadeiro” ou um “reset falso”.

Os restantes 14 pinos são dedicados a futuras expansões do sistema. Os sinais de pedido de interrupção, do tipo “open-colector”, bem como as saídas

<sup>4</sup>É bom lembrar aqui que certas combinações de interfaces em um mesmo grupo são ilegais, entretanto o sistema de identificação automática permitirá a detecção de tais erros.



analógicas foram previstas prevendo-se futuras aplicações, possivelmente em controle. Novamente aqui, em uma implementação comercial deste sistema, se constatado que não há necessidade de expansão ou mesmos dos sinais de interrupção, pode-se reduzir o conector em termos de números de pinos, reduzindo-se assim o custo final do produto.

### 6.2.2 Sistema de Identificação Automática

Antes que um experimento tenha sua execução iniciada, a instalação dos sensores deverá ser verificada a fim de que possíveis erros possam ser corrigidos. Esta verificação é realizada pelo cruzamento de informações contidas no descritor de sensores do código intermediário e das informações fornecidas pelo sistema de identificação automático de cada interface. As informações utilizadas nesta identificação são o tipo do sensor e, opcionalmente, o exemplar.

Todo sensor está associado a dois números, um especifica o seu tipo e o outro especifica o exemplar. Assim, o sistema de identificação automática deve ser um "circuito" que, quando acionado de forma conveniente, responde com o tipo ou com o exemplar do sensor. Utilizando-se 1 *byte* para representar o tipo e 1 *byte* para o exemplar, tem-se uma capacidade de identificação de 256 tipos de sensores, cada qual podendo possuir 256 exemplares.

O sistema de identificação automático pode ser implementado com o uso de memórias não voláteis ou redes de portas lógicas. As memórias são indicadas se a comunicação entre o SADAM e o sistema de identificação automática for realizada em paralelo e as redes de portas lógicas para comunicação em paralelo

ou serial.

A capacidade de memória necessária ao sistema de identificação (2 bytes) é muito pequena quando comparada à capacidade das menores EPROM's ou PROM's disponíveis no mercado. Ainda assim, o uso de uma pequena PROM pode ser o meio mais compacto e económico de implementar estes dois bytes de memória não volátil. Os bytes de identificação podem ser pedidos por comandos de leitura a endereços internos à interface, onde está mapeada a PROM, e obtidos através do barramento bidirecional de dados.

Em caso de uma opção futura por um barramento de dados unitário, o sistema de identificação automática pode ser implementado por uma rede de portas lógicas, que atualmente pode ser bastante simplificada pela disponibilidade a preços bastantes modestos, de "chip's" de lógica programável, em especial da família GAL. Um destes "chip's" pode ser programado para implementar uma máquina de estados finitos, capaz de apresentar na saída, serialmente, os bits dos bytes de identificação.

Neste caso, a leitura dos bytes de identificação pode ser pedida por um "write" em um endereço interno a interface (onde está mapeado o sistema de identificação) e em seguida os dados são obtidos, em série, por comandos "read" neste mesmo endereço; um segundo "write" termina o processo de identificação. O primeiro "write" habilita um bit de saída, normalmente em "tri-state" permitindo assim as leituras seguintes e o outro "write" recoloca este bit em "tri-state".

### 6.2.3 Leitura “On the Fly”

Alguns sensores digitais produzem um pulso para indicar que houve uma ocorrência do evento por ele medido. Por exemplo: toda vez que a “caneca” do pluviômetro está cheia, ele gera um pulso e esvazia a “caneca”, indicando que uma precipitação de chuva, dada pela capacidade da “caneca” utilizada ocorreu desde a última “canecada”. Assim, para se determinar a quantidade de chuva em um período de tempo, deve-se contar a quantidade de “canecadas” (pulsos) ocorridas neste período e realizar a conversão para milímetros de chuva, multiplicando-se o número de pulsos pela capacidade da “caneca”. É desejável evitar pedidos de interrupção à CPU a cada ocorrência de um evento medido por um sensor deste tipo. Isto pode evitar perdas de dados pela impossibilidade de ser atendido o pedido de interrupção instantaneamente devido à ocorrência simultâneas de eventos em diversos sensores ou mesmo devido a uma desabilitação do sistema de interrupção durante a execução de alguma tarefa prioritária. Assim, as interfaces de tais sensores deverão conter um contador (obviamente sempre alimentado) que acumula a quantidade de eventos ocorridos entre dois ciclos de leitura do sensor. A leitura destes sensores deve ser realizada da seguinte forma: 1) desabilitar atualizações do contador ; 2) ler o contador; 3) zerar o contador e 4) habilitar a contagem do contador. Note-se que, se durante o tempo em que o contador estiver desabilitado, houver a ocorrência de um evento, este será perdido. É necessário adotar um recurso que evite esta perda. Este recurso é normalmente denominado capacidade para leitura “on the fly” de um contador.

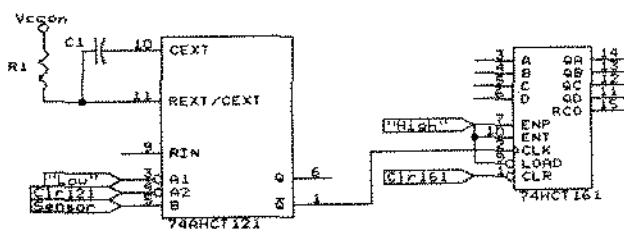


Fig. 6.6: Circuito para leitura "On the Fly"

A figura 6.6 mostra o circuito empregado para evitar a perda de um evento durante a leitura dos sensores digitais de comportamento semelhantes ao pluviômetro. Para tanto adicionou-se ao contador um monoestável não regatilhável tipo 74HCT121.

Quando um pulso do sensor chega ao 74HCT121, este gera um pulso com duração determinada pelos valores de C e R e este último pulso, em sua borda de descida, faz com que seja contado mais um evento. O tempo do pulso gerado pelo 74HCT121 é calculado para que tenha uma duração correspondente àquela necessária para um ciclo de leitura do sensor, que é realizada da seguinte forma:

1. Limpar ("clear") o 74HCT121 — se houver um pulso do sensor que ainda não foi contado, neste momento ele o é

2. Ler o contador
3. Zerar o contador ("reset")

## Capítulo 7

# Conclusões e Sugestões

O trabalho desenvolvido fornece à área de meteorologia, especialmente a micrometeorologia, um recurso simples e versátil, de custo intermediário, para programação e coleta de dados. A programação do experimento é escrita em uma linguagem de alto nível que permite ao experimentador realizar aquisições: em horários pré-definidos, por frequência e condicionais. Permite ainda manipulações dos dados coletados sendo possível entre outras o cálculo e armazenamento de: somatória, valores médio, máximo e mínimo, etc. O sistema é versátil pois permite que sejam realizadas consultas aos dados previamente coletados e que a programação original possa ser alterada durante o processo de coleta dos dados, por meio de comandos interativos da estação de campo.

O sistema SADAM foi desenvolvido, inicialmente para a área de meteorologia, mas ele é genérico para a área de aquisição de dados, bastando para isto avaliar a adequação da velocidade de operação do hardware e software da estação de campo face às exigências destas novas aplicações. Simulações utilizando-se "clock" de 8 MHz, mostraram que aquisições a uma frequência de 1 Hz são facil-

mente implementadas. Considerando que o sistema de execução do experimento é interpretado, avaliações de desempenho mostram que é possível aquisições com frequências na ordem de 10 Hz (uma leitura de sensor a cada 100 msec). Porém para determinar a maior frequência de aquisição de que o sistema é capaz são necessário testes mais rigorosos.

O sistema também suporta, em conjunto com a placa conversora A/D, uma placa conversora D/A, tornando-o apto a ser usado como um sistemas de controle de processos. Novamente aqui deve-se observar os requisitos em termos de velocidades exigidas pela aplicação em questão.

A interface entre a estação de campo e os sensores é realizada por placas personalizadas tornando o sistema "imune" às inovações tecnológicas de fabricação dos sensores. Para que um novo tipo de sensor seja usado, basta que seja confeccionada sua placa de interface e que seja providenciada uma entrada no arquivo de sensores com suas características.

O SADAM possui 16 "slots" destinados a conexão de sensores, permitindo que igual número de sensores analógicos e/ou digitais possam ser conectados de forma direta (um sensor por "slot"). Experimentos que necessitam mais que 16 sensores também podem ser realizados no SADAM. Para isso, basta que algumas ou todas as placas façam a interface de mais que um sensor, multiplexando-os por meio dos 4 bits de endereços internos existentes nos "slots". Sensores mais simples necessitam de dois destes endereços (um para sua identificação e outro para leitura de seu valor) possibilitando assim um máximo de 7 sensores, deste tipo,

por interface. Sensores digitais típicos utilizam quatro endereços (os endereços já mencionados e dois para o circuito "On the Fly"), permitindo 3 sensores por interface. Assim, pode-se dizer que o SADAM tem uma capacidade média de suportar 75 sensores. Obviamente, outros recursos são possíveis em placas do tipo multi-sensores em que 14 funções diferentes poderiam ser realizadas por uma única placa, já descontando os 2 endereços dedicados à identificação da placa.

A utilização do sistema "On-Off" no SADAM proporciona uma economia de energia bastante significativa, fazendo com que ele seja indicado para coleta de dados de longa duração em locais remotos e que tenha como características: baixa frequência de ciclos de aquisição e/ou coletas em horários fixos com intervalos significativos entre eles.

O trabalho resultou na construção, depuração e avaliação de protótipos experimentais, em "wire-wrap", do hardware<sup>1</sup> proposto para a Estação de Campo e para o cartucho, além do projeto, implementação e testes dos respectivos Monitores.

Para se chegar a um sistema "comercial" ou a um protótipo industrializável, ainda resta um trabalho considerável a ser desenvolvido, compreendendo o empacotamento final, em caixa apropriada ao uso em condições ambientais adversas, além da elaboração das placas de circuito impresso da placa principal, contendo CPU, memórias, periféricos e "slots" e do cartucho final. Finalmente, na área

---

<sup>1</sup>Dois protótipos foram montados: o primeiro baseado no microprocessador NSC800 da National e o segundo no 80C188 da Intel



de sensores, o projeto e implementação, para os tipos mais utilizados, de suas respectivas placas interface, de acordo com os princípios de projeto estabelecidos no capítulo 6.

Outras extensões seriam possíveis e bastantes interessantes em duas áreas específicas do hardware proposto. Na realidade, o desenvolvimento dos recursos de circuitos integrados de memória e para controladores tem sido tão vertiginoso que, a cada ano seria possível projetar um novo sistema para tirar proveito da última geração de “chips” que se torna disponível.

Assim, na área de memória pode ser citado como exemplo a adaptação do sistema para utilizar como cartucho as memórias do tipo “Memory Card”, que possuem as mesmas dimensões que um cartão de crédito e já estão disponíveis no mercado, ainda que a custos elevados<sup>2</sup>. Existem “dois padrões” destas memórias: 1) JEIDA Card padronizada pela Japan Electronics Industry Development Association e 2) PC-Card padronizada pela PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association). Porém, a partir das versões PC-Card 2.0 e JEIDA 4.1 elas são idênticas[7]. O uso destas memórias reduziria consideravelmente o consumo do cartucho, tornaria o sistema mais versátil possibilitando a Estação Base ser implementada em um número maior de diferentes tipos de computadores e o cartucho deixaria de ser específico para o sistema SADAM, tornando-se uma memória RAM não volátil de propósito geral. Neste sentido, já está sendo projetado e construído um cartucho e seu adaptador para o PC,

---

<sup>2</sup>Estes custos tendem a cair rapidamente com a sua popularização, como é característico nesta área

que respeita os padrões técnicos das "Memory Card".

Outra modificação importante seria a substituição da CPU 80C188 e alguns outros componentes por um micro-controlador da família MCS-96 da Intel [16] que pode ser o 8097BH, que já pode ser obtido a preços inferiores ao do 80C188 utilizado no protótipo implementado. Este componente tem como características principais: - arquitetura registro-registro; - conversor A/D de 10 bits com S/H; - 5 portas de I/O de 8 bits; - 20 fontes de interrupções; - saída modulada para conversão D/A; - EPROM local; - porta serial "full duplex"; - gerador de "baud rate"; - multiplicação 16 x 16 bits em 6.25  $\mu s$ ; - divisão 32 / 16 bits em 6.25  $\mu s$ ; - 16 bits "watch dog timer"; - 4 software timers de 16 bits e - 2 contadores/timers de 16 bits. A CPU suporta operações com bit, byte e word, o conversor A/D possui 8 canais de entrada multiplexados e com um cristal de 12 MHz, uma conversão e realizada em 22  $\mu s$ .

A troca da CPU 80188 por um controlador da família MCS-96 permitirá uma drástica redução de componentes no sistema, propiciando assim uma redução considerável no consumo e no preço final da estação de campo. Por ser este controlador dedicado a aquisição e controle, será consideravelmente maior a frequência máxima da coleta de dados, tornando este novo sistema indicado para várias aplicações, onde o SADAM não é recomendado devido a exigências de velocidade.

## Bibliografia

- [1] Arlindo, P. R. A. & Nogueira, J. L. M. & Inoue, J. k. . *Sistema Automático de Aquisição de Dados com utilização de microcomputadores: Estação Automática EMA*. INPE – Departamento de meteorología – 1987.
- [2] At Delta-T Devices Limited. *Delta-t Devices – Scientific Instruments for Ecology*. Catálogo.
- [3] At Delta-T Devices Limited. *Delta-T Weather Station – Delta Logger*. Catálogo 89.
- [4] At Delta-T Devices Limited. *Instruments for Environmental Science Cop and Plant Sciences, Image Analysis, Meteorology, Data Acquisition*. Catálogo.
- [5] Campbell Scientific, Inc.. *Introduction to CR21 Micrologger*. 1983.
- [6] Ciarcia, S. . *Real-Time Clocks: A View Toward the Future*. Byte, March 1986, pp. 113–125.
- [7] Dvorak, J. C. . *The PCMCIA PC-Card and The Future*. PC Magazine – December 31, 1991.
- [8] Eggebrecht, L. C. . *Interfacing to the IBM Personal Computer*. Howard W. Sams & Co – First Edition, 1883 – Sixth Printing, 1988.
- [9] ELE International Ltd. *Environmental Monitoring Station – A<sup>2</sup> Complete Data Recording System at Your Fingertips*. Catálogo – 1991.
- [10] Digital Equipament Corporation. *PDP-11 PEARL Language and Reference Manual. Version 1.0*. Digital Equipament Corporation – September, 1980..
- [11] Fairmount Consultants Limited. *Weather Systems*. Catálogo.

- [12] Ferreira, A. B. H. . *Dicionário da Língua Portuguesa*. Editora Nova Fronteira.
- [13] Gimenes, I. M. de S.. *Um Sistema Programável de Aquisição de Dados Meteorológicos*. Tese de Mestrado – DCC/IMECC – 1988.
- [14] Haro, H. . *Precipitation Instrumentation Package for Improved Spatial and Temporal Sampling of Rainfall*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement – vol. IM-32, N 3 Sep 1983, pp. 423-429.
- [15] Itaú Tecnologia S. A.. *Manual de Assembler I-7904*. 1983.
- [16] Intel Corporation. *16-Bit Embedded Controllers Handbook*. Literature Department, 1990.
- [17] Intel Corporation. *iAPX 86/88, 186/188 User's Manual Hardware Reference*. Literature Department, 1985.
- [18] Intel Corporation. *iAPX 86/88, 186/188 User's Manual Programmer's Reference*. Literature Department, 1985.
- [19] Intel Corporation. *Memory Components Handbook*. Literature Department, 1986.
- [20] Intel Corporation. *Microsystem Components Handbook – Microprocessors Volume I and II*. Literature Department, 1986.
- [21] Jensen, K. and Wirth, N. . *PASCAL user manual and report*. Springer-Verlag, Berlim Heidelberg, New York, 1974.
- [22] Litronic Systems. *Monitor Plant Environment & Process Data for Direct Report to Management*. Catálogo – 1988.
- [23] Merat, F. L. & Gibbons, J. C. & Simons R. & Podany, M. . *A Meteorological Data Acquisition System*. Clevelan Eletrical/Eletronics Conference and Exposition OH, USA. 4-5 October 1983.
- [24] Munich, S.. *The MM58167A Real Time Clock in a Battery Backed-up Design provides Reliable Clock and Calendar Functions*. National Semiconductor Application Note 359 – Feb. 1984.
- [25] National Semiconductor. *MM58167 Microprocessor Compatible Real Time Clock*. Eletronic Data Processing – 1984.

- [26] Norman J. Rosenberg. *Microclimate: The Biological Environment*. John Wiley & Sons, New York - 1974.
- [27] Schwartz, M.. *MM58167A Real Time Clock Design Guide*. National Semiconductor Application Note 353 - May. 1984.
- [28] Setzer, A. W. & Carvalho, P. R. . *Sistema de Aquisição de Dados Meteorológicos Portátil e de Baixo Custo com Microcomputador*. Catálogo de protótipo da FAPESP - 1986.
- [29] Skye Instruments LTD. *Instruments for Humidity and Air Temperature Monitoring*. Catálogo.
- [30] Skye Instruments LTD. *Radiation sensors for Agronomy, Ecology, Plant Physiology, Engineering and Architecture*. Catálogo.
- [31] Systron Donner. *1981 Catalog*. SYSTRON DONNER. Weathermeasure Division - Sacramento - USA.
- [32] Thomson, P. K.. *The MM58274 Adds Reliable Real Time Keeping to Any Microprocessor System*. National Semiconductor Application Note 365 - Apr. 1984.
- [33] Woodhull, A. S. *An EPROM Simulator*. Byte, March 1984, pp. 400-406.
- [34] Young, S. J. . *Real Time Language. Design and Development*. Ellis Harwood Series in Computers and their Applications, West Sussex - England, 1983.