

*Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação  
Departamento de Semicondutores, Instrumentos e Fotônica*

# CONTRIBUIÇÃO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE MICROPROCESSADORES PARA MEDIDA E CONTROLE DE TEMPERATURA E UMIDADE

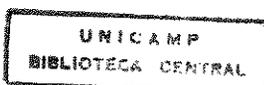
Zhao Jingguo

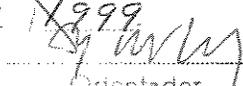
Orientador: Prof. Dr. Vitor Baranauskas

Banca: Prof. Dr. Alfredo Carlos Peterlevitz  
Prof. Dr. Vladimir Jesus Trava-Airaldi

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de  
Computação, da Universidade Estadual de Campinas, como  
parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Elétrica

Campinas, 1999



Este exemplar corresponde a redação final da tese  
defendida por Zhao Jingguo  
e aprovada pela Comissão  
Julgada em 05/02/1999  
  
Orientador

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	
V.	Ex.
TOMBO BC/	38346
PROC.	229/99
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	11,00
DATA	21-07-99
N.º CPD	

CM-00125534-5

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

J564c      Jingguo, Zhao  
 Contribuição sobre a utilização de  
 microprocessadores para medida e controle de  
 temperatura e umidade. / Jingguo Zhao.--Campinas,  
 SP: [s.n.], 1998.

Orientador: Vitor Baranauskas  
 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
 Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e  
 Computação.

1. Microprocessadores - Controle automático. 2.  
 Automação. 3. Controle de umidade. 4. Temperatura. I.  
 Baranauskas, Vitor. II. Universidade Estadual de  
 Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de  
 Computação. III. Título.

*Este trabalho contou com o apoio financeiro da Indústria Urumqui, de Xinjiang, China e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) do Brasil.*

## *Agradecimentos*

A todos os que colaboraram para a realização deste trabalho. Em especial:

- Ao Professor Dr. Vítor Baranauskas, pela orientação e valorosa ajuda para a concretização desta tese.
- Ao Professor Dr. Lee Luan Ling do DECOM/FEEC, pela orientação dedicada e ajuda muito importante quando cheguei ao Brasil e iniciei o meu curso de mestrado;
- À minha querida irmã Lingling, por sua grande ajuda de coração;
- À Professora Anne Corinna Gottberg do DEMIC/FEEC, por todo apoio e ajuda quando cheguei ao Brasil;
- Ao amigo Xiaobin, pelo seu empenho na tradução de trabalhos do chinês para o português;
- Ao Prof. Dr. Zhang Jushan e sua esposa, pelo encorajamento;
- À amiga Yumei, pelo seu grande apoio nas disciplinas de pós-graduação, ministradas em português;
- Ao amigo Anzhong, pelas suas palavras animadoras para vencer minhas dificuldades, principalmente devido a língua;
- Ao amigo Sr. Chen Huaguang e sua esposa Sra. Liu Yong, por sua grande amizade desde que cheguei com minha esposa ao Brasil;
- Ao amigo Alfredo Carlos Peterlevitz, pelo seu apoio nas horas difíceis;
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro;
- Aos meus pais, pelo seu inestimável apoio e ajuda, cuidando da nossa filhinha na China durante os dois primeiros anos de nossa permanência no Brasil;
- Aos meus sogros, pelo auxílio financeiro e incentivo;
- Aos meus irmãos, por suas palavras de esperanças.
- À minha família, pelo carinho, paciência, confiança, incentivo e compreensão.

*À minha família,  
minha mãe,  
minha filha,  
e minha amada esposa.*

*Onde há ódio, levar o amor.*

*Onde há dúvida, levar a fé.*

*Onde há erro, levar a verdade.*

*Onde há desespero, levar a esperança.*

*Onde há tristeza, levar a alegria.*

*Porque é de Ti que recebemos lições  
para toda a vida!*

*São Francisco de Assis*

# Conteúdo

RESUMO

ABSTRACT

AGRADECIMENTOS

## Capítulo 1. *Introdução ao problema do controle inteligente da temperatura e umidade*

1.1. O controle da umidade e temperatura.....	1
1.1.1. Medição da umidade no ambiente.....	2
1.1.2. Sistema de controle de armazenamento.....	2
1.2. Função e utilização do sistema.....	3
1.3. Tendência futura.....	5
1.4. Sumário desta tese.....	6

## Capítulo 2. *Fundamento de um microsistema “inteligente”*

2.1. Microsistema inteligente.....	8
2.2. Diferenças entre o MSI e os sistemas convencionais.....	9
2.3. Estrutura do MSI.....	10
2.4. Implementação e aplicação do MSI na indústria.....	12

## Capítulo 3. *Projeto de hardware do sistema*

3.1. Estrutura do sistema.....	15
3.2. Projeto do elemento de medição.....	16
3.2.1. Sensor.....	16
3.2.2. O circuito do sensor.....	18
3.2.3. Amostragem de sinais.....	23
3.2.4. Conversor analógico-digital.....	24

3.3. Elementos do tratamento das medidas.....	25
3.3.1. Sistema de microprocessador e sua expansão .....	27
3.3.1.1. A expansão para o memorizador de programa.....	28
3.3.1.2. Expansão de interface de entrada e saída .....	30
3.3.2. Painel lógico .....	32
3.3.2.1. Importação designada .....	32
3.3.2.2. Pausa lógica .....	33
3.3.3. Monitor.....	35
3.4. Interface de comunicação externa .....	36

## Capítulo 4. *Projeto de software do sistema*

4.1. Introdução.....	40
4.2. Módulo de coordenação principal .....	41
4.2.1. Chamada da tarefa do sistema.....	43
4.3. Módulo de verificação do sistema (checagem) .....	44
4.4. Módulo de comunicação externa.....	46
4.5. Módulo de operação de painel.....	52
4.6. Módulo de coleta de dados.....	53
4.7. Módulo de processamento de dados .....	61
4.8. Módulo de sub-programação de apresentação .....	61

## Capítulo 5. *Resultados e considerações finais*

5.1. Validação experimental.....	65
5.2. Aplicação prática do MSI .....	70
5.3. Conclusões .....	70

Lista dos principais componentes.....	72
---------------------------------------	----

Referências.....	73
------------------	----

## ***RESUMO***

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um microsistema independente para medir e controlar a temperatura e umidade em um sistema de armazenamento de alimentos de grandes dimensões. O sistema comunica-se com o exterior através de uma interface padrão, IEC-625 e pode integrar-se em sistemas maiores, tanto em conexões de modelo circular como estelar, podendo ser submetido ao controle gerencial de um computador central. O microsistema em consideração tem oito medidores automáticos de temperatura e umidade com disparador de alarme para monitorar a ultrapassagem dos limites pré-definidos. Dispõe de auto-teste e de função de comunicação direta com o exterior. Este microsistema minimiza os erros que podem ser causados pela transmissão de informação apenas por meio de sensores, reduz a quantidade dos cabos de transmissão de informação, aumenta a confiabilidade para um sistema global de administração de armazenamento, diminuindo o seu custo.

**Palavras-Chaves:** Microprocessadores - Controle automático,  
Automação,  
Controle de umidade,  
Temperatura.

9913948

## ***ABSTRACT***

This work presents the development of an intelligent independent microsystem to measure and control the temperature and humidity of a system of food storage of large dimensions. The system communicates with the exterior through a standard interface, IEC-625 and can be integrated into a larger system, through circular or star-shaped connections and may be controlled by a central computer. The microsystem under consideration has eight automatic temperature and humidity meters, to set off an alarm when defined limits are breached. It is equipped with a self-test and has a function which allows direct communication with the exterior. This microsystem minimizes the errors that can be caused by the transmission of information by through sensors, reduces the quantity of information transmission cables, increases the reliability of the global administration system of storage and decreases its cost.

**Key words:**      Microprocessors - Automatic control,  
Automation,  
Control of humidity,  
Temperatura.

# Capítulo 1

## *Introdução ao problema do controle inteligente da temperatura e umidade*

### 1.1. O controle da umidade e temperatura

No sistema de gerenciamento automático de armazenamento de produtos em geral, é importante obter-se a medição e o controle da temperatura e da umidade. Sabemos que a água é essencial à sobrevivência da espécie humana, de animais e outros seres vivos. O conteúdo da água no ar (vapor) influencia também diretamente a sobrevivência dos seres vivos. Um ar demasiadamente seco pode causar a morte, enquanto que um ar excessivamente úmido pode estragar os produtos. Por exemplo, se o conteúdo da água for muito elevado, os metais ficam oxidados, os alimentos podem estragar rapidamente e os equipamentos eletrônicos de alta precisão podem perder sua sensibilidade. Por outro lado, se o ar for muito seco os alimentos podem perder água ao ponto de ocorrer uma desidratação excessiva, com perda da qualidade dos mesmos, podendo ocorrer até a inutilização completa dos produtos. O ar seco prejudica fortemente a respiração e a pele dos seres humanos. Cidades como Brasília, por exemplo, tem dias onde a umidade é tão baixa a ponto de impedir as crianças de freqüentarem a escola. Em geral, um conteúdo de água no ar muito elevado ou muito pequeno pode prejudicar a qualidade dos produtos. É óbvio que a medição e o controle da temperatura e da umidade é de grande importância para a produção agrícola, industrial, indústria alimentícia, meio-ambiente, saúde das pessoas, e para o armazenamento de produtos em geral. Em particular, nos processos de microeletrônica a umidade influi diretamente na oxidação natural das lâminas de silício e nas dimensões das linhas de fotoresiste que são utilizadas para delinear as microestruturas que formam o circuito integrado. A umidade está também diretamente relacionada à troca de calor, sendo uma informação tão importante quanto a temperatura no

que se refere ao conforto das pessoas. Deste forma, é importante para um sistema de controle automático de armazenagem ter como medir tanto a temperatura quanto a umidade no ar.

### 1.1.1. Medição da umidade no ambiente

A forma mais prática para a medição da umidade no ambiente é utilizar como sensor a variação da resistência com a umidade. Até o presente momento, o sensor de melhor qualidade é constituído de um semicondutor cerâmico poroso cuja resistividade é sensível à umidade. Ele é freqüentemente utilizado em ambientes em que a umidade relativa é menor que 80%, tendo um bom comportamento e baixo custo. Porém, num ambiente de alta umidade ele possui várias limitações, apresentadas a seguir:

- Não é sensível quando ocorre condensação de água;
- Leva bastante tempo para secar;
- É sensível também à poluição;
- Tem grande incerteza na medida;
- Não é durável;

Estes fatores indicam que o sensor de umidade não é adequado para ser utilizado num ambiente de umidade muito elevada. Neste casos seria mais adequado um sensor de umidade por infravermelho ou um sensor de umidade por íons, mas o alto custo dificulta a utilização disseminada destes sensores. O sensor de umidade por capacitância tem um erro de medição ainda maior que o resistivo, não podendo ser utilizado amplamente. A discussão sobre qual método deve ser aplicado para medir a umidade num ambiente de elevada umidade, com baixo custo e boa qualidade é uma matéria aberta para muitos pesquisadores.

### 1.1.2. Sistema de controle de armazenamento de alimentos

A tarefa principal no sistema de controle de armazenamento de alimentos consiste em saber como realizar o controle centralizado. No nosso sistema de controle automatizado, propomos um número de 40 armazenagens com diferentes capacidades e em locais diferentes. Estas armazenagens são classificadas em dez grupos, sendo que as distancias com a sala de controle central é, em media, de 50 metros. Nos sistemas de controle convencionais, cada

armazenagem usa somente 4 sensores de umidade e 4 sensores de temperatura. Se a transmissão de sinais de cada sensor for realizada por fios duplos, são necessários 16 fios para cada armazenagem e 640 fios para 40 armazenagens. É óbvio que tantos fios de sinal causam muitas dificuldades na instalação e ajuste do sistema. Como o controle é remoto, os fios devem ser cabos blindados para evitar ruídos, o que leva a um custo muito alto para o sistema de controle. A escolha de um método para resolver este problema é uma questão para a engenharia. Esta é a nossa motivação: desenvolver um sistema de controle para enfrentar os problemas supra mencionados.

O sistema de medição inteligente de temperatura e umidade que desenvolvemos pode resolver as limitações mencionadas assim como melhorar a segurança do sistema de controle de armazenagem automatizada.

## 1.2. Função e utilização do sistema

O sistema de medição e controle inteligente é composto pelo sensor de temperatura e umidade, sistema de aquisição de dados, conversor A/D, processamento de dados e a interface de entrada e saída. O sensor utiliza uma resistência sensível à temperatura, com alta precisão, boa estabilidade e longa durabilidade e, um método indireto para medir a umidade relativa. Em conseqüência, garante-se a precisão e segurança de medição também em um ambiente totalmente úmido.

O processamento de dados utiliza um MPU (*micro computer unit*), sendo que o sistema inteiro fica sob controle computacional. Suas funções principais são:

- a) Poder medir quatro faixas de temperatura ambiente, entre  $-10^{\circ}\text{C}$  e  $50^{\circ}\text{C}$ , em quatro faixas de umidade relativa, entre 10% e 98%, definindo os limites superiores e inferiores de medição de temperatura e umidade. Quando a temperatura ou umidade ultrapassa o limite definido, o sistema emite um sinal de controle e sinal de alarme.
- b) O sistema tem a função de “auto-teste”: podendo conferir seu funcionamento automaticamente. Caso haja algum problema, dará um sinal de alarme.
- c) Como o sistema é uma unidade de medição independente, a comunicação externa é feita através de uma interface genérica de comunicação principal tipo IEC-625.

- d) O sistema pode ser conectado com 20 sistemas idênticos a um equipamento central para formar um sistema de medição e controle mais amplo (ver figura 1). Neste caso, o MPU pode ser estendido pelos 16 pontos para ampliar o carregamento do sistema.

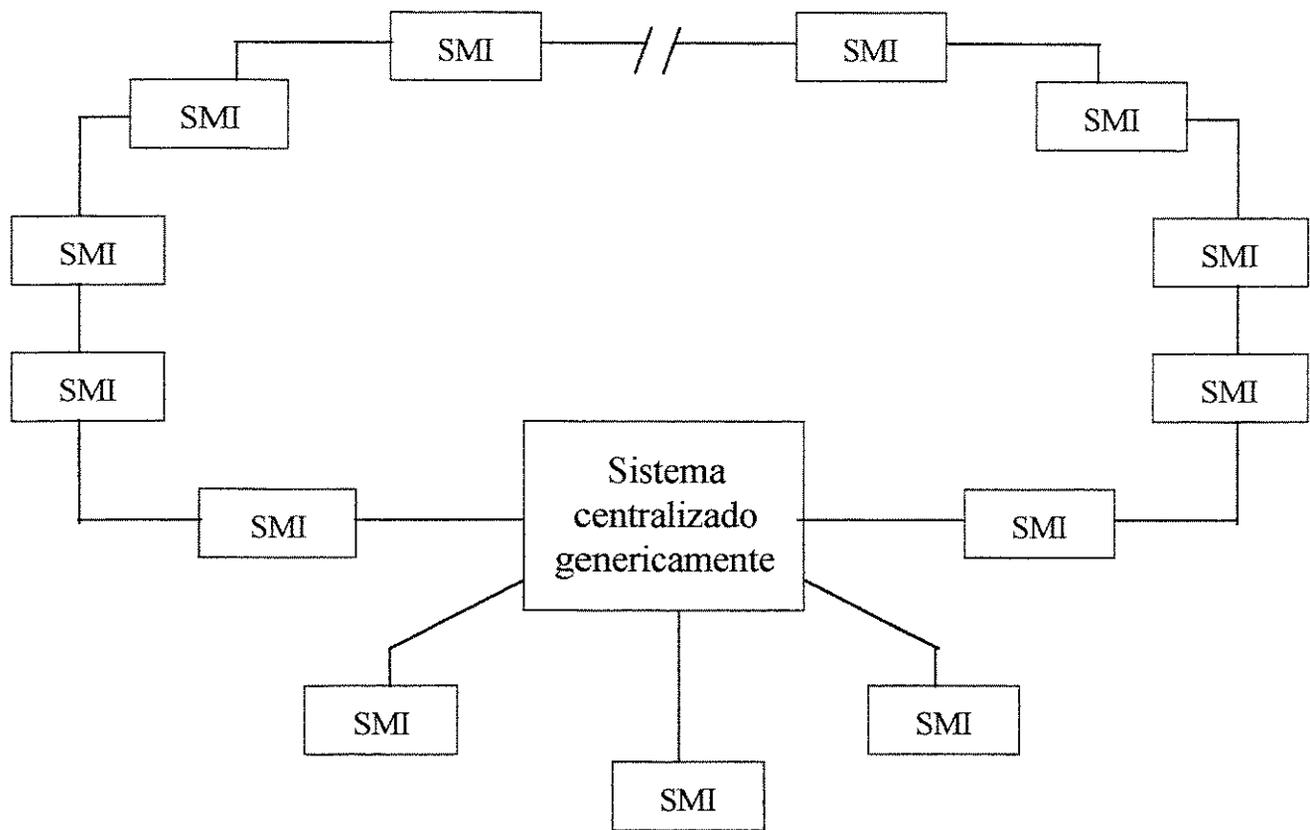


Figura 1. Sistema de gerenciamento de medida e controle da rede.

Com as funções mencionadas, este sistema pode ser amplamente utilizado no armazenamento automatizado, previsão de tempo, plantação de vegetais, indústria têxtil, indústria de fabricação de papel, indústria alimentícia, controle de ar residencial, etc. A utilização prática deste sistema mostra um bom resultado. Por exemplo, com uma única

máquina de armazenagem de alimento, pode-se alterar a faixa de controle de temperatura e umidade em função do tipo de alimento a ser armazenado. Pode-se também usar uma mesma máquina para controlar uma armazenagem com quatro grupos de temperatura e quatro grupos de umidade. Na utilização em transporte de alimento, isto é, utilizado como o sistema de controle de temperatura para o mecanismo de refrigeração em caminhões, possibilita o transporte de alimento com segurança através de rodovias. Pode conectar varias máquinas para formar uma rede, por exemplo, controlando 40 armazenagens com capacidade diferente, com o controle independente de cada armazenamento. Os cabos são somente em numero de 24. Desta forma, diminui 136 cabos quando comparado ao método centralizado convencional. Se o seu uso residencial for disseminado, poderíamos viver num ambiente bastante confortável. Na indústria têxtil, poderia melhorar a qualidade dos produtos nas diversas fases de fabricação. Desta forma, o sistema de medição e controle inteligente é, ao nosso ver, um equipamento bastante útil.

### 1.3. Tendência futura

De acordo com a literatura e os contactos com a indústria percebemos as necessidades de serem feitos vários aprimoramentos para a aplicação prática da medição e controle de temperatura e umidade. Os equipamentos inteligentes devem se desenvolver na direção de propiciar um melhor diálogo entre a máquina e o ser humano e melhorar sua capacidade de adaptação aos novos ambientes. Em especial, é importante aprimorarmos a tecnologia de sensores visando, por exemplo, um único sensor para múltiplas funções. Por exemplo, como utilizar um termistor para formar um sensor que possa medir concomitantemente a temperatura, umidade, velocidade de vento e pressão de ar. O instrumento (medidor) inteligente deve ter uma poderosa interface de entrada/ saída com um tradutor inteligente para comunicação principal. Este tradutor (transformador) pode aumentar tanto a distancia de monitoramento quanto o carregamento da rede. Alem disso, para integração e centralização do sistema inteligente, a tendência é conseguir aumentar a integração do MPU para diminuir seu tamanho e minimizar seus custos.

#### 1.4. Sumário desta tese

Este trabalho tem como objetivo apresentar um MSI (microsistema inteligente) de medição e controle para temperatura e umidade. Na primeira parte, apresenta-se um sensor que utiliza um termistor para medir a umidade de um ambiente e sua umidade relativa indiretamente, formando o módulo de medição. Na segunda parte, mostra-se o controle que executa as funções de processamento e comunicação de dados através de microcomputador.

O MSI tem as seguintes características:

- Pode medir faixas de temperatura e umidade em um ambiente, bem como definir os limites superiores e inferiores;
- Teste automático: pode testar a situação de funcionamento automaticamente;
- Comunicação externa: pode trocar informações com os equipamentos externos;
- Flexibilidade: pode funcionar individualmente ou integralmente com os semelhantes em um sistema com múltiplas máquinas.

Por isso, o MSI pode ser utilizado amplamente no controle de armazenagem, previsão de tempo, plantação de vegetais, produção industrial e ambiente doméstico.

No primeiro capítulo introduzimos as motivações de desenvolvimento do MSI, os problemas existentes atualmente, e os caminhos necessários para desenvolver o sistema, as funções e características do sistema desenvolvido, e a tendência futura.

O segundo capítulo apresenta os conhecimentos básicos isto é, o que é um sistema inteligente, sua estrutura e tecnologia, bem como a estrutura gerencial de um sistema inteligente na medição industrial.

Na terceiro capítulo, apresenta-se o projeto, princípio de funcionamento e circuito eletrônico do MSI. A parte de hardware do sistema, é composto principalmente por:

- Módulo de coleta de dados (através de um MPU);
- Módulo de controle de MSI e processamento de dados;
- Módulo de comunicação (através de comunicação principal de interface de comunicação IEC-625 para trocar os dados com o meio externo e controlar as informações).

No quarto capítulo apresentamos os softwares de controle. Como as programações são feitas através de módulos individuais e coordenadas por um programa principal (mestre), apresentamos o programa mestre e cada módulo de programa individual.

No quinto capítulo apresentamos a implantação prática e os resultados de medição. Propomos, também, algumas idéias para aprimorar o sistema inteligente, bem como as possibilidades de utilização disseminada deste sistema.

# Capítulo 2

## *Fundamentos de um microsistema “inteligente”*

### 2.1. Microsistema inteligente

Na evolução da ampla aplicação dos produtos eletrônicos em varias áreas e no desenvolvimento de sistemas com multifunção, novos termos foram utilizados. A “Inteligência” é um destes termos técnicos modernos, usados extensivamente. No processo de desenvolvimento de novas tecnologias estes termos surgem para descrever as funções únicas e especialidades de novos produtos e sistemas. É óbvio que a criação, o desenvolvimento e a aplicação destes termos técnicos podem não representar seus significados convencionais mas servem de estímulo para incentivar a pesquisa para a melhora das características dos equipamentos especiais.

A complexidade do MSI (microsistema inteligente) está na medição do sinal externo através do sensor o qual deve se adaptar favoravelmente à comunicação dos sistemas mais o processamento do sinal interno no MPU e a transmissão de informação através da interface de comunicação. A principal utilização do MSI é a medição industrial. Em outras palavras, o MSI compreende a eficiência, a capacidade e a resolução da medição automática, facilitando o controle centralizado.

Com a evolução do controle automatizado, espera-se uma grande disseminação do controle inteligente. Porém, isto requer investimento. A dificuldade está na complexidade e o alto custo dos sistemas disponíveis. É importante lembrar que no investimento deve-se considerar a eficiência do sistema inteiro, não somente de suas partes, além do lucro obtido com um controle otimizado. Além disso, o desenvolvimento da tecnologia eletrônica e informática vem a cada dia reduzindo drasticamente os custos dos equipamentos e de sua implantação.

Além dos custos nos subsistemas (software e hardware) que formam o sistema completo, temos que considerar outros fatores do sistema, como por exemplo:

- a) Manutenção;
- b) Interrupção do sistema;
- c) Confiabilidade;
- d) Limite de tolerância;
- e) Correção de erro;
- f) Adaptabilidade;
- g) Generalidade de hardware.

Para desenvolvimento da metodologia que possa se ajustar a estes fatores com potencial de ser aplicada em diversos sistemas, precisamos aprimorar os recursos de softwares e hardwares existentes. Em especial, o desenvolvimento de CAD (computer aided design) deve facilitar bastante o desenvolvimento de MSI e, em consequência, facilitar as pesquisas de sistema inteligente em diversas áreas.

## 2.2. Diferenças entre o MSI e os sistemas convencionais

A diferença principal entre o MSI e os sistemas convencionais é que o MSI tem que ser um sistema independente, não existindo fatores externos que possam afetar o sistema principal. Esta característica é muito importante para as aplicações industriais. Por isto, comparado com os sistemas convencionais, o MSI tem vantagens de, por exemplo:

- a) Aumentar a capacidade de medição automatizada. Por exemplo, seleciona-se a escala e ponto de medição, bem como automaticamente ajustam-se e testam-se as falhas.
- b) Tem capacidade de processamento de dados, ou seja, possui a capacidade de cálculo e de decisão. Por exemplo, calcula equações algébricas e estatísticas. Em consequência, aumenta a qualidade e a precisão de medição.
- c) Estende a função de medição. O sistema que utiliza o MPU pode processar vários parâmetros de medição diferentes para obter indiretamente o parâmetro desejado.

- d) Tem a função de operação com controle programável. O MSI contém interface para comunicação com o exterior e é fácil de integrar aos equipamentos exteriores para formar uma rede de medição e controle.
- e) Tem algumas funções de comunicação entre o ser humano e o computador, através do teclado e monitor.
- f) Tem a função de armazenar as informações de medição em valores padronizados com os diversos parâmetros disponíveis.
- g) Confiabilidade e manutenção fácil.

### 2.3. Estrutura do MSI

A utilização do MSI significa melhorar as funções dos instrumentos. O sistema possui a capacidade de auto-processamento dos dados, bem como comunicação com exterior através da parte sistema de comunicação. Estes processamentos são realizados internamente no MSI. O MSI é geralmente composto pelas seguintes partes:

- a) Sensor;
- b) Controle da excitação;
- c) Amplificador;
- d) Filtragem analógica;
- e) Conversão de dados;
- f) Compensação;
- g) Processamento de dados;
- h) Interface de comunicação.

As funções de cada subsistema são:

a). **Sensor:** é a base da transformação do sinal do meio externo para o sistema composto por algum transdutor cujas características sejam sensíveis a um determinado fenômeno, transformando o parâmetro a ser medido em sinal elétrico. Por exemplo, a condutividade de alguns materiais semicondutores é muito sensível à mudança da temperatura do ambiente externo. Aproveitando esta característica, podemos transformar uma variável física externa (temperatura) para um sinal eletrônico, que é de fácil processamento. Os

sensores mais comuns são os que são sensíveis à temperatura, umidade, volume de água, luz, campo elétrico, campo magnético, pressão, etc.

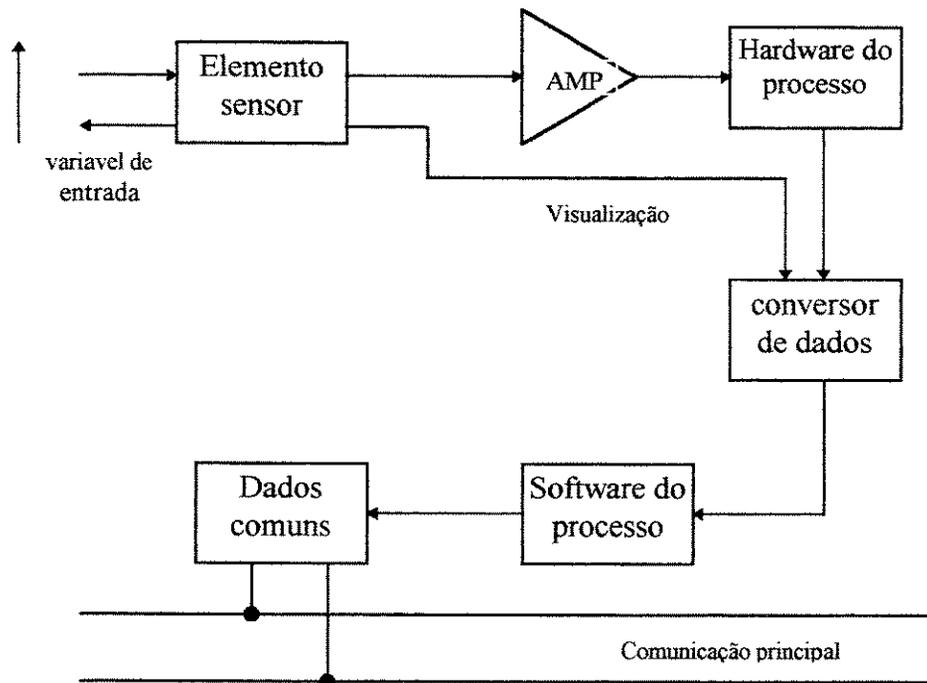


Fig.2.1. Diagrama da relação entre os diversos subsistemas

b). **Controle da excitação:** O transdutor transforma uma variável física para um sinal analógico correspondente. Porém, o transdutor precisa geralmente de algumas condições de excitação. Por exemplo, a transdução através de termistor ou do resistor sensível à umidade são feitas com a aplicação de tensão ou da corrente externa. Desta forma, os sinais analógicos correspondentes são criados a partir da energia de excitação.

c). **Amplificador:** A amplificação do sinal eletrônico da saída do sensor é quase sempre necessária. Este fator pode gerar problema de projeto quando é preciso um alto ganho. O ruído é um problema. Uma forma de amenizá-lo é ligar o sensor o mais próximo da comunicação principal de dados, transportando diretamente os sinais e reduzindo variações causadas pelos elementos intermediários. Por esta razão, o planejamento físico (*layout*) dos componentes do circuito é uma parte bastante importante no projeto.

d). **Filtragem analógica:** A filtragem analógica é indispensável para minimizar os erros na etapa de conversão. Em contrapartida, a filtragem digital pode comprometer bastante a capacidade de processamento do sistema em tempo real.

e). **Transformação de dados:** É a etapa de transformação do sinal contínuo externo (o fenômeno a ser medido) para o sinal digital interno. É importante considerar que a transformação do sinal analógico ao digital não é linear e exige uma análise dos valores gerados e a aplicação de fatores de correção. Desta forma, quantificamos através da teoria de ruído os fatores necessários para os casos em geral. Assim, na escolha de um sensor é importante lembrar que o desvio devido ao ruído existe. Em algumas situações, ele pode ter um importante papel como nas situações que incluem os casos onde a conversão é uma parte realimentada circular instalada em programa operacional do tipo faixa auto-ajustável (*auto-ranging*) ou aberta (*overt*).

f). **Processamento de dados:** É a principal função do MSI. Na medição industrial, a comunicação principal de operação envia os dados através de sensores para os aparelhos de processamento de sinais e de transformação de dados, definindo as tarefas principais para realizar o processamento. Em certo nível, o MSI pode analisar os dados de um modo abrangente. Ou seja, o módulo de processamento de dados no MSI pode ser utilizado para medir, controlar e calcular os sinais analógicos do sensor individualmente.

g). **Processo de comunicação:** É uma parte bem importante e necessita de um processador particular para tratar a comunicação com os sistemas externos. No MSI a comunicação é realizada através de um canal de dados principal que pode formar uma rede de comunicação principal, tipo circular, bem como executa a comunicação, transmissão e controle de informação entre quaisquer dois terminais.

## 2.4. Implantação e aplicação do MSI na indústria

A implantação do MSI depende de várias tecnologias sendo as principais as tecnologias do sensor e do hardware. As técnicas de alta integração e de multifunção dos circuitos integrados juntamente com a diminuição rápida do seu custo favorecem a ampla disseminação de MSIs na indústria.

A tecnologia de sensor é a etapa de medição analógica, ou seja, o transdutor entre as variáveis não eletrônicas para eletrônicas.

O hardware é parte dos circuitos integrados e os outros equipamento adicionais. Os circuitos integrados são fabricados com tecnologia bipolar ou de efeito de campo. O circuito integrado de compensação é constituído pelo resistor e capacitor. Pelas restrições tecnológicas o sinal analógico do sensor deve ser convertido de forma discreta no MSI. O sistema deve medir e ter a capacidade de avaliar os desvios gerados pelo sensor e pelo ruído. Os valores discretizados são obtidos através de um circuito integrado adicional, que deve ser adaptado convenientemente. Desta forma, nas aplicações práticas precisamos de circuitos com várias funções específicas para constituir o sistema completo e satisfazer as necessidades praticas [1]. A otimização do projeto da conexão dos circuitos integrados é bastante importante no MSI.

A programação computacional (*software*) é um fator muito importante no MSI. Atualmente, como desenvolvimento de projetos com auxílio do computador (CAD), as combinações de software e hardware estão otimizando o nível dos sistemas “inteligentes” e possibilitando aumentar sua complexidade.

Nas aplicações industriais do MSI precisamos medir e controlar alguns processos locais, geradores de ruído e de distorções. Por exemplo: autocontrole de ar condicionado, robotização, motores, etc. Geralmente a forma mais comum é utilizar equipamentos computadorizados para constituir um sistema de controle, isto é, a utilização de um MPU especial e um sensor, como mostrado na Figura 2.2. Este sistema tem um MPU dedicado como parte principal e interface de comunicação. Os equipamentos adicionais do MPU são os instrumentos de medição analógica, os transformadores eletrônicos e não eletrônicos, o conversor A/D (ADC), o painel de operação (chaves e teclados), o equipamento de entrada e saída de dados (interface de comunicação, fita, disquetes, monitor, impressora), a saída analógica (CRT, registro de X-Y, instrumento de execução analógica), etc. Em alguns processos de controle locais não são necessários equipamentos de grande porte. Por isto os requisitos cada vez mais necessários são utilizar a capacidade de processamento de dados dos

MSIs com equipamentos adicionais simples, a fim de se ter alta qualidade e diminuição do custo.

A Figura 2.2 mostra a estrutura geral de um MSI industrial. O transdutor analógico, composto por um sensor de coleta e processamento de sinais, converte as informações analógicas obtidas através de uma interface A/D ou F/D (Frequência de digitalização). No final, analisa os dados e comunica-se com exterior através de um microcomputador. A interface pode ser ligada em diversos subsistemas para realizar a comunicação em rede.

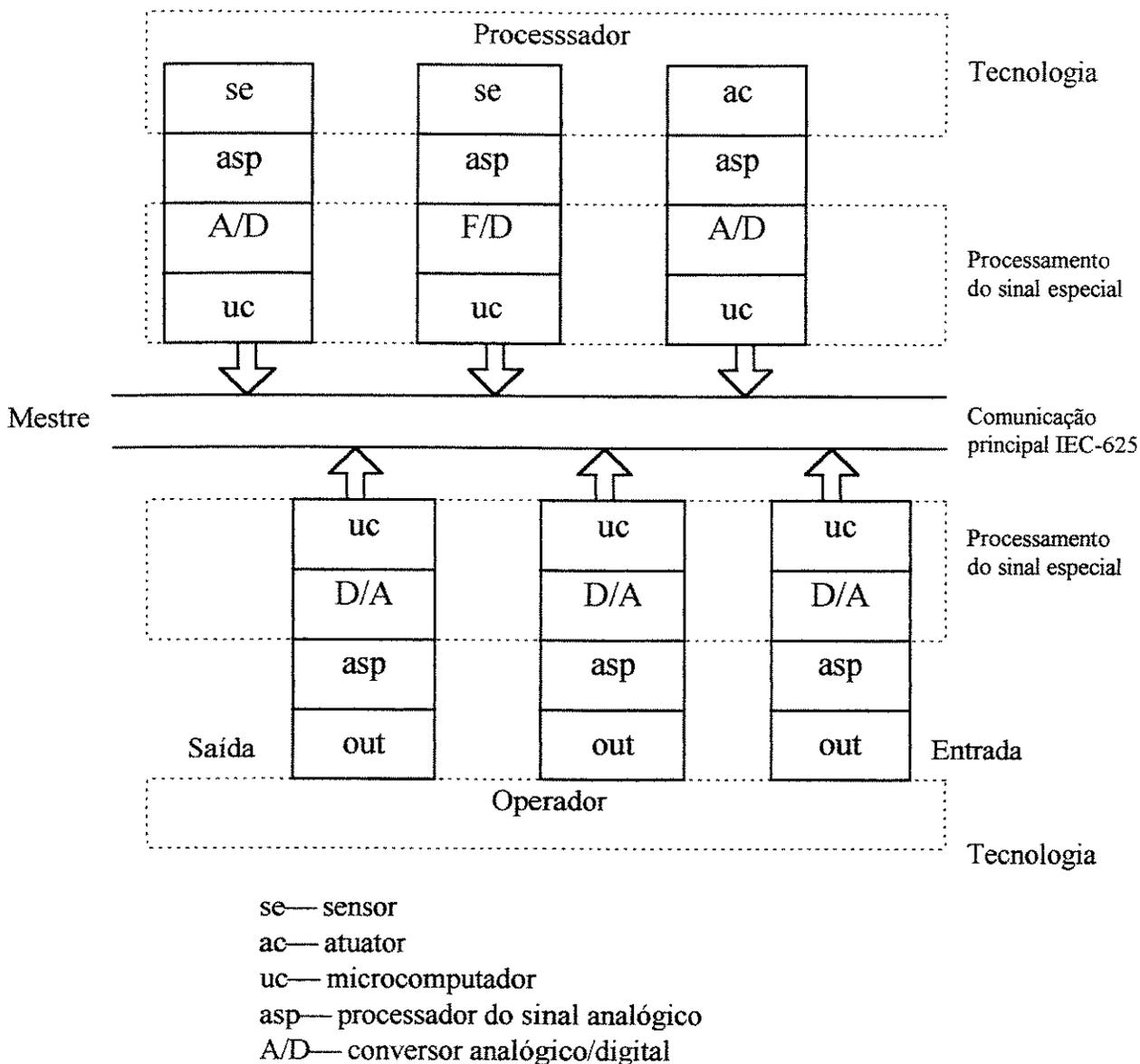


Fig.2.2. Diagrama da integração do MPU e dos sensores.

# Capítulo 3

## *Projeto de hardware do sistema*

### 3.1. Estrutura do sistema

No Capítulo 2 foi introduzido o MSI e sua composição. O MSI mede e controla a temperatura e a umidade e tem a estrutura de um sistema inteligente. Ele realiza o controle e o gerenciamento de equipamentos por MPU, faz o auto-exame e avaliação e se necessário o corrige. O MSI é constituído por dois elementos principais: a parte analógica e a parte digital.

Parte analógica: A parte analógica consiste dos sensores, do circuito de sensor, do circuito de coletor dos sinais e do circuito de ADC (conversor analógico-digital). Estas partes recebem os sinais dos endereços nos pontos medidos, que são escolhidos e tomados pela parte de controle do MSI, linearizam os sinais elétricos, que devem ser transformados pelo sensor de temperatura e de umidade em todos os pontos medidos, através de chaves analógicas. Enfim, os circuitos transformam os sinais analógicos para os sinais digitais correspondentes.

Parte digital: A parte digital é constituída pelo microprocessador, do memorizador de execução do programa, do controle lógico do painel, do monitor digital e de estado, da saída do nível de chave e da interface de comunicação externa. A parte inteira do tratamento digital executa a intervenção externa e designa os índices de controle e de estados de trabalho do sistema inteligente através do controle lógico de painel ou através da interface de comunicação do sistema.

- No estado de medição, os sinais do ADC são recebidos pela MPU. Em seqüência, os valores das umidades relativas, medidas em todos os pontos são calculados nos próprios pontos medidos, e estes resultados calculados são comparados com os limites definidos — superiores e inferiores. No caso destes resultados ultrapassarem os limites, é disparado um alarme e um tratamento proposto é executado (emite um

sinal de controle). Finalmente, os resultados são levados ao monitor para serem visualizados e o contato com a comunicação externa é realizado. O sistema repete continuamente este processo.

- No estado de função, o sistema executa principalmente o exame da temperatura e da umidade no ambiente medido, designa os limites superiores e inferiores, dialoga entre o operador e computador (MCD— *man-computer dialogue*) e examina a função de diagnóstico.

O projeto inteiro do sistema é feito via método de divisão de função, ou método de projeto de divisão. Este método, que começa de cima para baixo, divide o objeto para as sub-tarefas independentes entre si, e finalmente junta as sub-tarefas para formar o sistema inteiro.

Como pode ser visto na Figura 3.1, no esquema do sistema a parte de hardware pode ser dividida em três partes principais pelo princípio de sistema inteligente. A primeira parte é a parte da medição. A segunda parte é a de tratamento digital e a terceira parte é a parte de exportação.

### 3.2. O projeto de elemento de medição

O elemento de medição consiste de três partes que são os sensores, o circuito do sensor e a parte de transformação A/D. Sua função é fazer a transformação das medidas, que são tomadas pelo termistor no ambiente para os sinais elétricos e depois para os digitais via a transformação A/D. Finalmente, estes sinais digitais são fornecidos para a execução do tratamento digital.

#### 3.2.1. Sensor

O sensor é um tipo de transdutor que pode transformar alguns fenômenos físicos em sinais elétricos [2]. Como as tarefas principais deste MSI são a medição e o controle de temperatura e de umidade do ambiente medido, a seleção do sensor é, portanto, uma questão importante. A característica do sensor é um ponto chave. Pode-se dizer que um sensor deve ter características de boa estabilidade durante longo período e de longevidade. Entendemos que os termistores tem características satisfatórias,

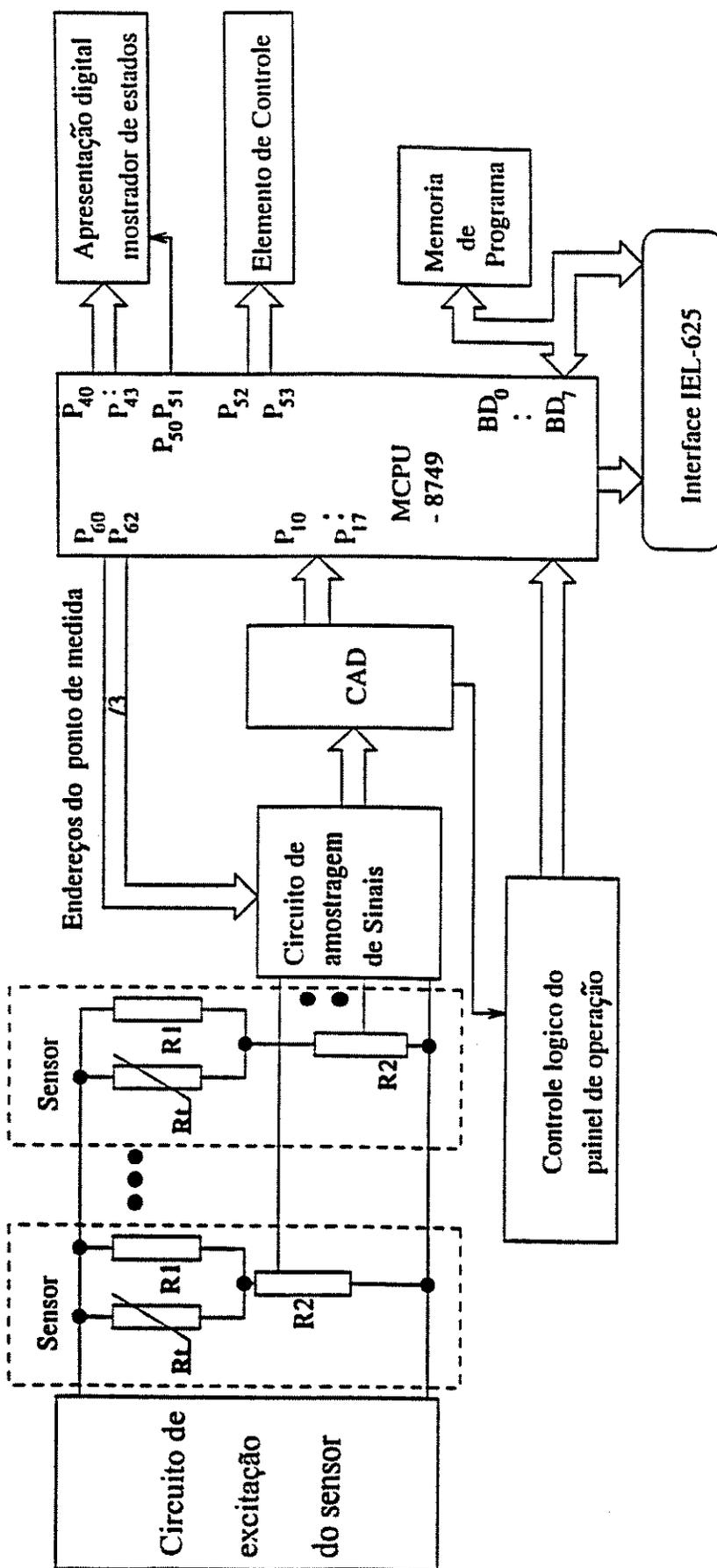


Figura 3.1. Diagrama de Bloco do Circuito do MSI

principalmente para ambientes muito úmidos, por isso utilizamos termistor para ser o sensor neste sistema inteligente. O termistor mede diretamente a temperatura no ambiente e mede indiretamente a umidade relativa.

### 3.2.2. O circuito do sensor

O circuito do sensor executa a linearização das características dos sensores. Neste sistema, os sensores são os termistores. As resistências dos termistores têm uma relação de dependência não-linear com a temperatura, o que vai levar a dificuldades para o tratamento dos sinais.

No circuito de linearização do termistor utiliza-se o método de compensação com resistores. Neste caso, os termistores são ligados em série e em paralelo para obter-se uma correlação linear entre resistência e temperatura. Simultaneamente, procura-se um fator especial de transformação ( $m$ ) para a faixa da temperatura a ser medida. Este fator satisfaz a relação abaixo entre o sinal de saída  $x$  do sensor e a temperatura medida ( $T$ ):

$$x = x_0 [1 + m(T - T_0)] \quad [1]$$

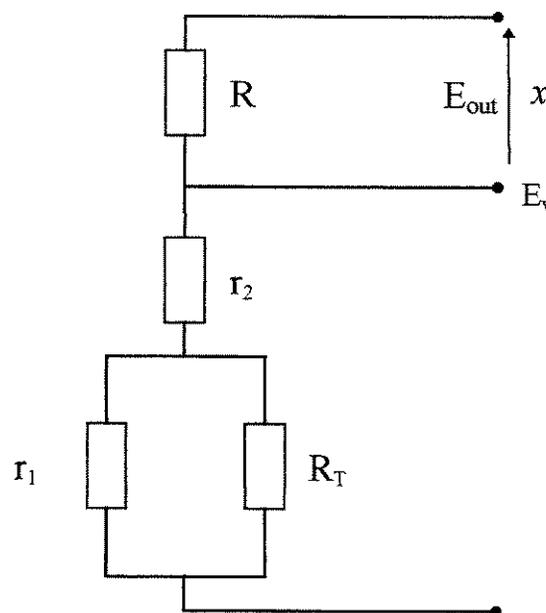


Figura 3.2. O circuito de tratamento linear de termistor do MSI.  $R_T$  é a resistência do termistor e  $r_1$ ,  $r_2$  são resistências auxiliares do circuito de linearização.

O circuito de tratamento linear do termistor do sistema inteligente é mostrado na Figura 3.2. Entre o sinal de saída  $x$  do circuito de tratamento linear e os componentes do circuito, temos a relação abaixo:

$$I(T) = f(R_T, r_1, r_2) \quad [2]$$

$$\text{ou} \quad I(T) = \frac{U}{\frac{R_T r_1}{R_T + r_1} + r_2}$$

A relação entre a resistência do termistor  $R_T$  e a temperatura: é dada por

$$R_T = R_0 \exp B_n \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \quad [3]$$

onde,  $B_n$  é uma constante que depende material do termistor,  $R_0$  é a resistência do termistor na temperatura de referência  $T_0$ . Por isso podemos reescrever a equação [3] como:

$$I(T) = U \left\{ \frac{[R_0 \exp B_n (\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})] - r_1}{[R_0 \exp B_n (\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})] + r_1} + r_2 \right\}^{-1} \quad [4]$$

quando  $T=T_0$ , temos:

$$I(T_0) = \frac{U}{\frac{r_1 R_0}{r_1 + R_0} + r_2} \quad [5]$$

$$\text{ou} \quad \frac{I(T)}{I(T_0)} = \left[ \frac{r_1 R_0}{r_1 + R_0} + r_2 \right] \frac{1}{\frac{[R_0 \exp B_n (\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})] - r_1}{[R_0 \exp B_n (\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})] + r_1} + r_2} \quad [6]$$

Para a condição de linearidade, (equação [1]), devemos ter:

$$\frac{d[I(T)/I(T_0)]}{dT} \Big|_{T=T_0} = m \quad [7]$$

$$\frac{d^n[I(T)/I(T_0)]}{dT^n} = 0 \quad (n \geq 2) \quad [8]$$

Nesta equação  $m$  é um parâmetro de transformação entre corrente e temperatura. Podemos então calcular a correlação que satisfaz a condição de linearidade entre  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $m$  e  $R_T$ :

$$m = \frac{r_1^2 R_T B_n}{(R_0 + r_1) T_0^2 [R_0 (r_1 + r_2) + r_1 r_2]} \quad [9]$$

$$\text{ou} \quad r_1 = \frac{B_n - 2T_0(1 + mT_0)}{B_n + 2T_0(1 + mT_0)} R_0 \quad [10]$$

$$\text{e} \quad r_2 = \frac{B_n - 2T_0}{2mT_0^2} \frac{[B_n - 2T_0(1 - mT_0)]}{2mT_0^2} R_0 \quad [11]$$

Quando fornecemos uma tensão básica  $E_v$  para a rede linear, podemos ter uma correlação linear entre a temperatura e a corrente de saída da rede. No caso em que a rede linear esteja ligada com o resistor em série, temos uma tensão linear com a temperatura entre os dois extremos do resistor linear, que pode ser expressa por:

$$I_t R = E_{out}$$

$$E_{out} = RI(T_0)[1 + m(T - T_0)] \tag{12}$$

Desta forma consegue-se um circuito de sensor de temperatura com saída linear, conforme ilustrado na Figura 3.3.

Utilizando a equação abaixo, podemos calcular o grau de não-linearidade da rede linear e a faixa de temperatura  $\Delta T = T - T_0$  que satisfaz o grau de não linearidade. O erro do grau da não-linearidade é:

$$D(T) = \frac{I(T)}{I(T_0)} - 1 - m(T - T_0) \tag{13}$$

Na faixa de 50°C o erro máximo da não-linearidade de medição e controle de temperatura e umidade do sistema inteligente é de 0,3%. O resultado real é mostrado no capítulo 5.

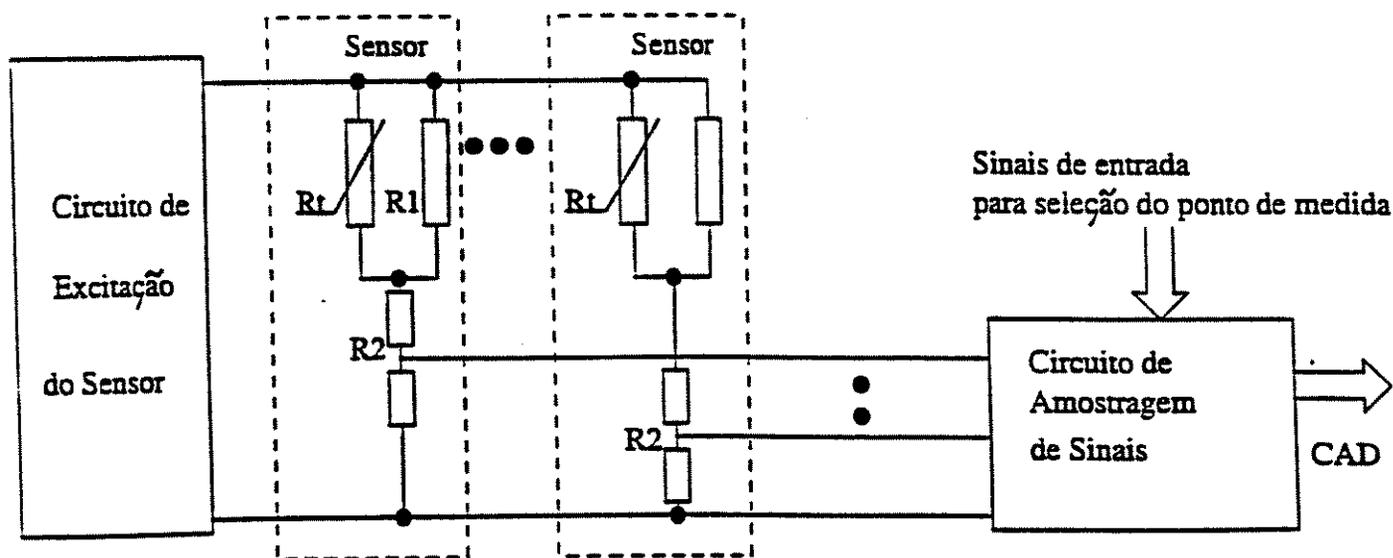


Figura 3.3. Diagrama de Bloco do Circuito linear dos termistores do MSI

No nosso sistema, utilizamos 4 grupos de circuitos de sensor. Em cada grupo, temos dois circuitos de transdução de temperatura: Um mede a temperatura do ambiente no ar e o outro mede a temperatura do calor latente de absorção da água. Assim, por estes dois circuitos de transdução de temperatura, podemos medir não somente a temperatura ambiente mas também a umidade relativa ambiente.

O princípio de medição da umidade relativa é pelo efeito da absorção do calor latente, que acontece quando a água evapora ao ambiente. Utilizando um termistor para medir as temperaturas do ar no ambiente e do calor latente absorvido pela água indiretamente obtém-se a umidade relativa. A umidade relativa correspondente a diferença de temperatura entre o bulbo seco e o bulbo molhado é conseguida através da equação de calibração apresentada abaixo:

$$e_a = e_w - AB(\theta_d - \theta_w) / 755 \quad [14]$$

onde,  $A$  é uma constante que acima de  $0^\circ\text{C}$ , tem o valor de 0,5.  $B$  é a pressão de ar em unidade de milibar ou  $\text{mmHg}$ ,  $e_a$  é a pressão de vapor em ar,  $e_w$  é a pressão de vapor na temperatura do bulbo molhado.  $\theta_d$  é a temperatura do bulbo seco e  $\theta_w$  é a temperatura da bulbo molhado. Então, a umidade relativa é expressa (em percentagem) por:

$$H = [e_a / e_s] \times 100\% \quad [15]$$

sendo a pressão de vapor de saturação  $e_s$  na temperatura do bulbo seco. Em prática, uma tabela é utilizada para converter as temperaturas dos bulbo seco e bulbo molhado. Estas temperaturas são de o psicrômetro ventilado Assmann em unidade de umidade relativa (UR). Pode-se definir a proporção da temperatura  $Q$  dos bulbo seco e bulbo molhado de psicrômetro ventilado como

$$Q = (\theta_w - C) / (\theta_d - C) \quad [16]$$

onde  $C$  é um constante em grau Celsius. Se o valor de  $C$  igual a  $-16$ , o UR vai simplesmente tornar-se a função de  $Q$ . Na faixa da temperatura de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  e faixa da umidade de 15% a 100%, o erro da UR é menor que 2%. Assim, a proporção da temperatura dos bulbo seco e bulbo molhado pode ser calculada eletronicamente. O sensor de temperatura mede a temperatura ambiente e a temperatura do calor latente absorvido. Em seguida, converte estes sinais analógicos em digitais. Pelo cálculo, executado através do microprocessador, obtém-se a medição de umidade relativa no ambiente [4,5].

### 3.2.3. Amostragem de sinais

Nas aplicações o micro-sistema inteligente deve poder medir as temperaturas em muitos pontos. Mas, devido aos vários sinais, se cada medida utilizar um conversor A/D, haverá muito calor. Nas medições reais a temperatura e a umidade não podem ser medidas ao mesmo tempo e por isto a velocidade do conversor A/D não precisa ser necessariamente muito alta. Por isso, pode-se utilizar um conversor comum para executar a transformação de corrente com amostragem seletiva dos vários canais. Este conversor pode ser chamado de chave de multicanais. A função da chave de multicanais é de fechar e de mudar as vias entre as medidas e o ADC. A chave de multicanais é controlada pelo microprocessador.

Tabela 3.1. Os estados do CI AD7501

EN	$a_2 a_1 a_0$	Número de chave ligada
1	0 0 0	1
1	0 0 1	2
1	0 1 0	3
1	0 1 1	4
1	1 0 0	5
1	1 0 1	6
1	1 1 0	7
1	1 1 1	8
0	x x x	nada

O microsistema inteligente utiliza o circuito integrado (CI) AD 7501 com chave de oito canais. Este CI tem oito entradas analógicas,  $x_1, x_2, \dots$  e  $x_8$ , uma saída comum,  $x_{out}$ , e quatro entradas digitais de lógica  $a_0, a_1, a_2$  e  $E_N$ . As entradas de lógica,  $a_0, a_1$  e  $a_2$  são utilizadas para escolher e ligar um canal dos oito canais.  $E_N$  controla o estado de trabalho do CI. A tabela de estados lógicos é mostrada na Tabela 3.1. O princípio do trabalho da chave de multicanais consiste em escolher e ligar um dos canais através dos sinais digitais na linha principal de endereço de microprocessador,  $A_0, A_1$ , e  $A_2$ . Modificando o sinal digital aplicado na linha de endereço, mudar-se-á o canal entre a saída de medida,  $x_{out}$ , e a entrada de medida,  $x_j$ . A Figura 3.3 mostra a ligação da chave de multicanais (amostragem).

No microsistema inteligente o conversor de A/D é utilizado para coleta de dados após a amostragem, sem sincronizador. Existe uma relação entre a taxa máxima de variação na tensão de amostragem na entrada e o tempo necessário para a transformação A/D, como segue abaixo:

$$\left| \frac{dU_x}{dt} \right| \leq 2^{-n} U_{F_s} / t_{CONV} \quad [17]$$

onde,  $t_{conv}$  é o tempo de transformação A/D,  $U_{F_s}$  é o valor de tensão máxima de transformação A/D, e  $n$  é a discretização do sistema binário do conversor A/D [6]. Consequentemente, se  $U_{F_s}$  for 2 V,  $n$  for 11 e  $t_{conv}$  for 0,1s, a máxima taxa de variação de tensão na entrada deve ser menor que 10,0 mV/s. A taxa de variação de tensão linear pelo sensor de temperatura é de 15 mV/°C. Quando a variação de temperatura é 0,1 °C, a saída de tensão do circuito de sensor é 1,5 mV. Este valor é muito menor que a tensão convertida de A/D cada segundo. Isto significa que a saída mínima de tensão de circuito de sensor de conversor A/D não vai ter erro. Pode-se concluir que o aparelho de chave de multicanais sem sincronizador é apropriado para a tarefa proposta.

#### 3.2.4. Conversor analógico/digital

O conversor A/D é um componente principal na parte da medição. A transformação A/D é a transformação dos sinais de corrente ou de tensão analógicos para os sinais digitais,

com codificação pré-estabelecida. Escolhemos para realização do conversor A/D o CI MC14433. Ele é um conversor de A/D integrado com  $3\frac{1}{2}$  dígitos e com compensação de ajuste de zero, com o número máximo digital 1999, fabricado pelo processo CMOS. Ele apresenta boas características, como baixo consumo, alta impedância de entrada, ajuste de zero automático, conversão automática das polaridades, necessidade de poucos componentes externos ligados, e facilidade de utilização. Ele tem a precisão de transformação de  $\pm 0.05\%$ , impedância de entrada maior que  $100\text{ M}\Omega$ , e na faixa de frequência relógio de  $50\sim 150\text{ kHz}$ , a velocidade de transformação é de  $3\sim 10$  vezes por segundo. O resultado transformado é mostrado pelo sistema decimal (código BCD) e exportado em série e paralelo. O esquema do circuito é mostrado na Figura 3.4.

A transmissão de dados entre o chip MC14433 e o microprocessador MC8749 é executada pela maneira de interrupção. A Figura 3.5 apresenta diagrama da relação entre CPU e o conversor A/D. Quando a transformação A/D está terminada, o chip MC14433 vai emitir um sinal de terminada a transformação, EOC. O sinal efetivo de EOC é um sinal de pulso positivo.

Caso o EOC seja emitido para pedir interrupção para o microprocessador 8749, este responde, exporta o sinal. A informação de dados para A/D segue via porta  $P_{10}\sim P_{17}$ . No caso da exportação do CI MC14433 pela maneira de varredura ativa, ocorre uma maneira exportada de combinação série e paralelo a cada vez que o terminal exporta um código BCD( $Q_0\sim Q_3$ ). Para cada resultado medido precisa-se exportar 4 vezes. Cada medida é definida quando permitir os dígitos do sistema decimal no  $Q_0\sim Q_3$  pelo  $D_{s1}\sim D_{s4}$ .

### 3.3. Elementos do tratamento das medidas

A parte de tratamento das medidas consiste do micro-computador, do painel lógico, do monitor e dos componentes exportados, relacionados com a quantidade das chaves e interfaces. As suas funções são efetuar o cálculo e o tratamento das medidas, a exportação controlada dos sinais, a informação dos sinais e a ligação com as linhas principais da interface comum.

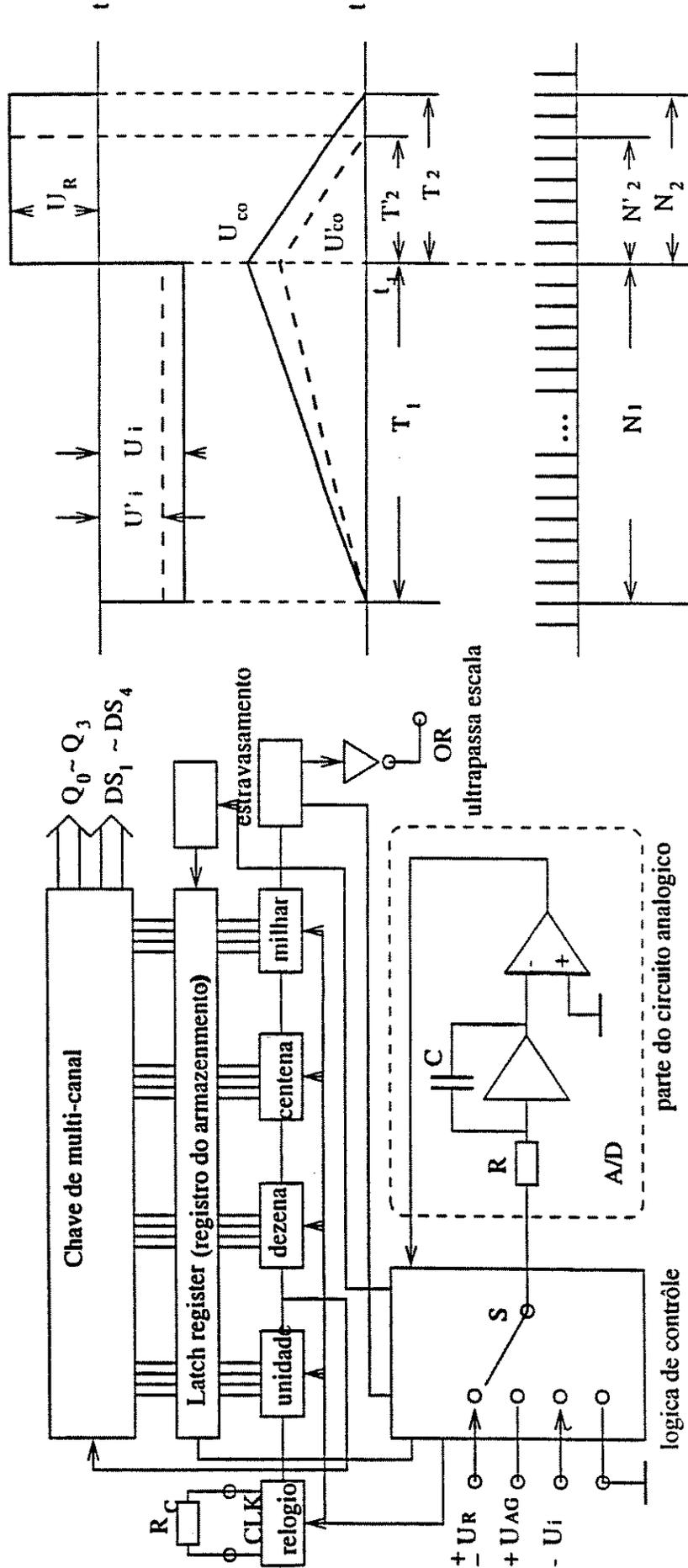


Figura 3.4. Diagrama do conversor A/D 14433

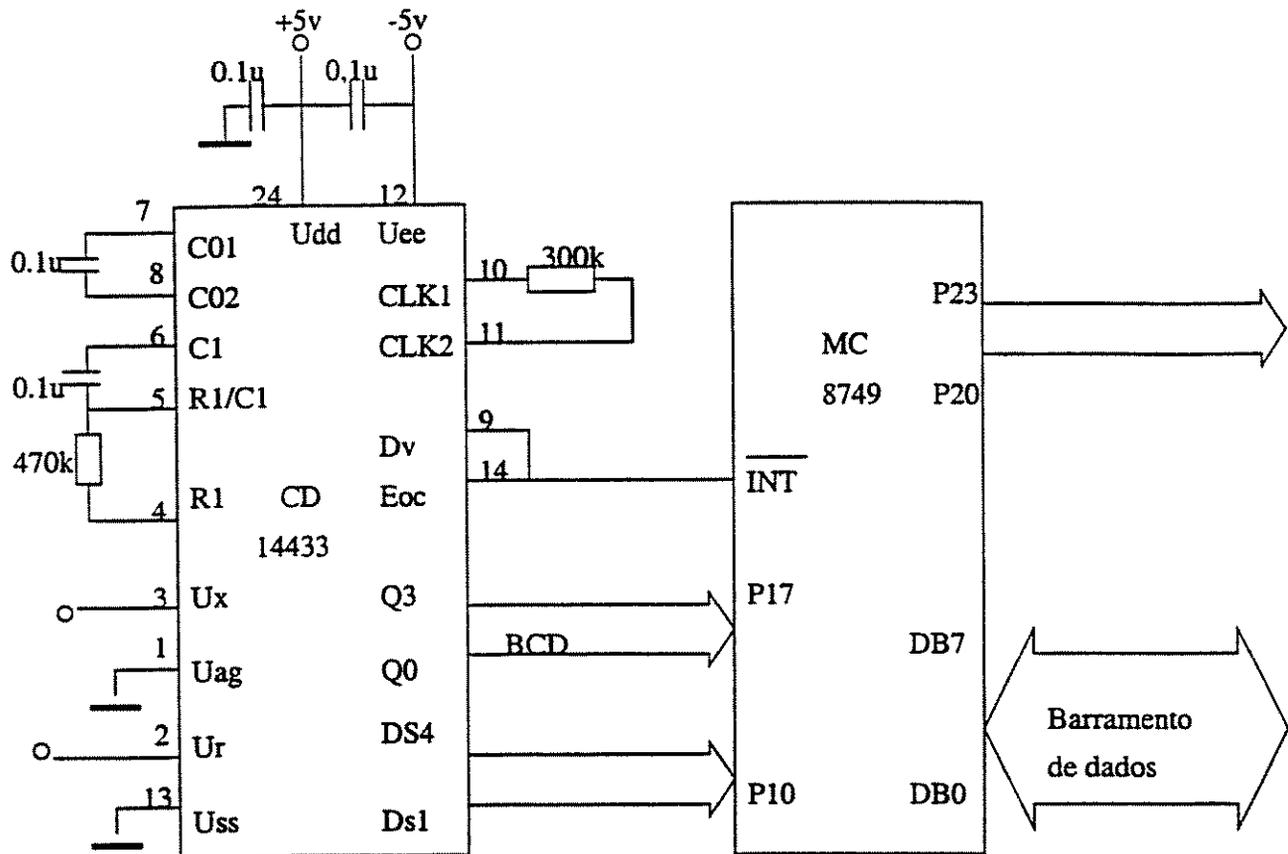


Figura 3.5. Diagrama da relação entre a CPU e o conversor A/D

### 3.3.1. Sistema de microprocessador e sua extensão

O micro-processador é o coração do micro-sistema inteligente. Ele tem as funções de cálculo e de controle, devendo executar várias operações matemáticas e lógicas.

O controlador atua univocamente sobre todas as partes do computador, obedece os comandos de ordem dados pelo programa, analisa todos os comandos e emite vários sinais controlados de resposta. Também atribui tarefas ao calculador, ao memorizador e as outras partes que executam as operações dos comandos, automaticamente e coordenadamente. O micro-processador tem as vantagens de:

1. Minimizar o micro-sistema. A diminuição das dimensões físicas é sempre interessante para diminuir o espaço necessário para a instalação.

2. Torna o sistema independente. O microprocessador consiste do processador central, da ROM, da RAM e das interfaces de entrada e saída. Os dados, os endereços e as três linhas principais de controle não são mostrados. Este microprocessador conecta-se aos aparelhos exteriores somente por meio das interfaces de entrada e saída. Por isso não apresenta efeitos de interferência e pode ser utilizado com segurança em ambientes industriais.

3. Adaptabilidade. O hardware do microprocessador deve ser padronizado, por isso nas aplicações são necessários diferentes projetos de software.

4. Alta confiabilidade e baixo custo. Como o microprocessador torna o sistema independente e com memória própria a confiabilidade do sistema aumenta muito. Pode-se afirmar que a utilização do microprocessador aumenta o nível de integração do MPU, minimiza seu custo, ampliando suas aplicações em diversas áreas.

O microprocessador usado é o CI INTEL MCS-8749. Seu sistema inclui a extensão de memorizador de programa 2716 e a extensão de interface entrada e saída 8243. As duas extensões consistem de um sistema que tem uma ROM de 4k de bit, uma RAM de 128X8 bit, uma entrada de medir dados, uma entrada para designar os dados e quatro saídas (do sinal de medida, do sinal de estado, de alarme e de controle da quantidade de chaves). A Figura 3.6 apresenta os diagramas do UPC 8749 [7].

### 3.3.1.1. A expansão para o memorizador de programa.

A expansão para o memorizador do programa é executada através da base da memória do MPU 8749, o qual possui uma EPROM de 2K. Pelo requerimento do MSI, o memorizador de programa deve ser expandido até 4K bits. A expansão da memória de programa é feita por meio de uma EPROM 2716 e de um LR (latch register) de dados (8212). O MPU 8749 é ligado ao MPU 2716 pela saída  $P_{SEN}$  do 8749. Os sinais de ALE (address latch election) do 8749 vão designar o estado do trabalho do LR 8212. Entretanto, o LR de dados (8212) é

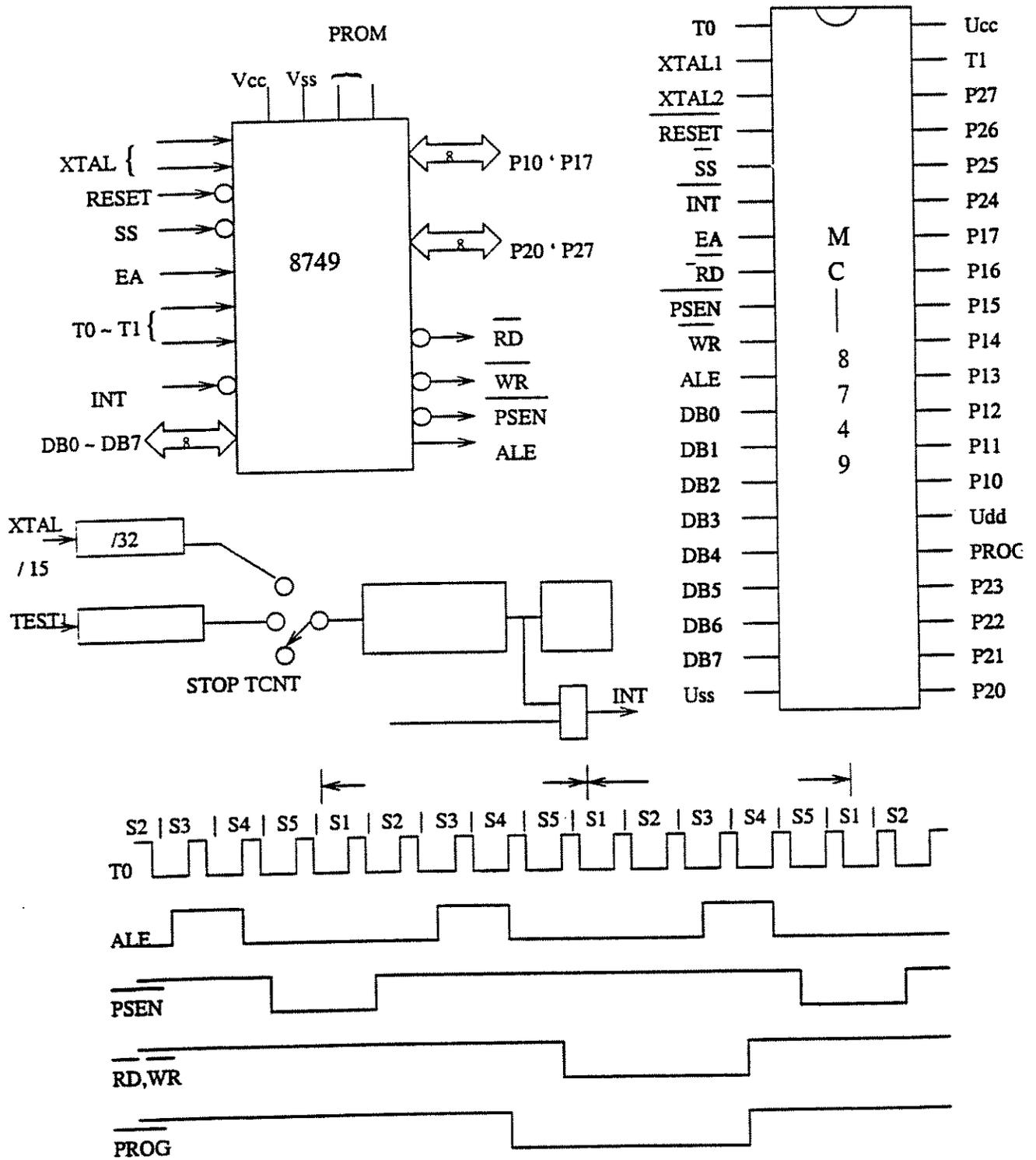


Figura 3.6. Diagramas do UPC 8749

utilizado para fechar os sinais de endereço da EPROM 2716. A Figura 3.7 apresenta o esquema do princípio de expansão de memorizador de programa do MPU 2716.

### 3.3.1.2. A expansão da interface de entrada e saída

Existem quatro métodos para se fazer a expansão da interface de entrada e saída do MPU. O primeiro método é usar expansor especial de baixo custo; o segundo método é usar um componente padrão de interface de entrada e saída (MCS-80/85); o terceiro é usar um componente combinado de expansão entre o memorizador e a interface de entrada e saída; e, finalmente, o quarto método é a expansão pelo componente padrão de TTL a (lógica-transistor-transistor).

O nosso MSI utiliza um expansor especial da interface de entrada e saída (8243). É necessário somente uma linha na interface de entrada e saída com quatro dígitos para realizar a comunicação com MPU 8749, como pode ser observado na Figura 3.8. O MPU 8243 inclui quatro interfaces I/O (input/output) com quatro bits, que são usadas para expansão de entrada e saída e localização através da interface do endereço #4 a #7. Cada uma destas interfaces pode ser usada para importar ou também exportar dados, podendo oferecer um gerenciamento mais robusto. Estas interfaces podem executar as operações descritas abaixo:

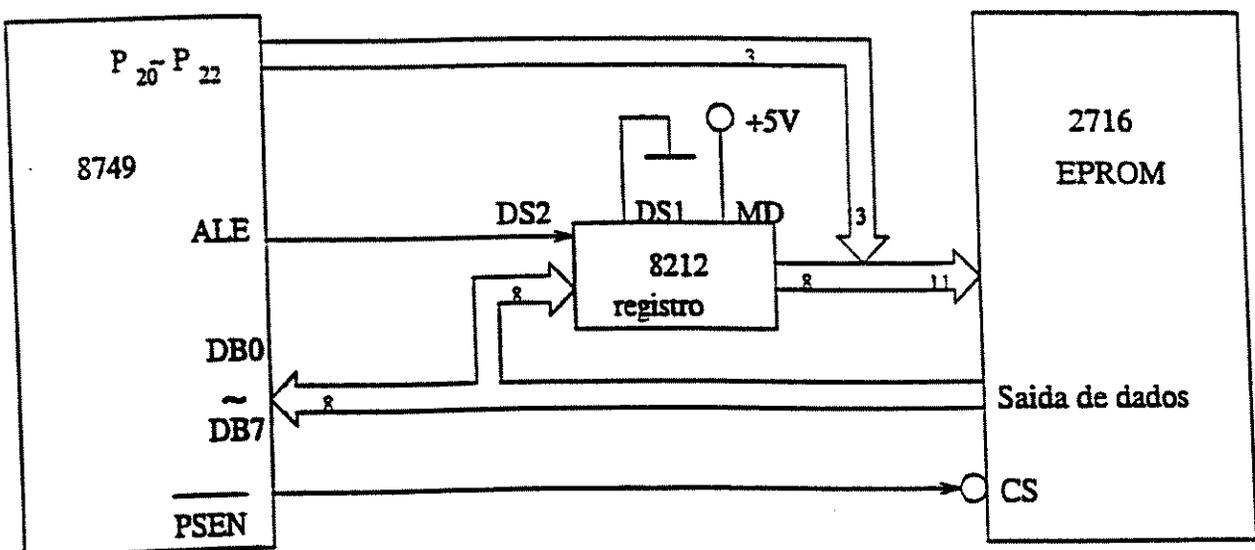


Figura 3.7. Diagrama da interface do processador para memória de programa

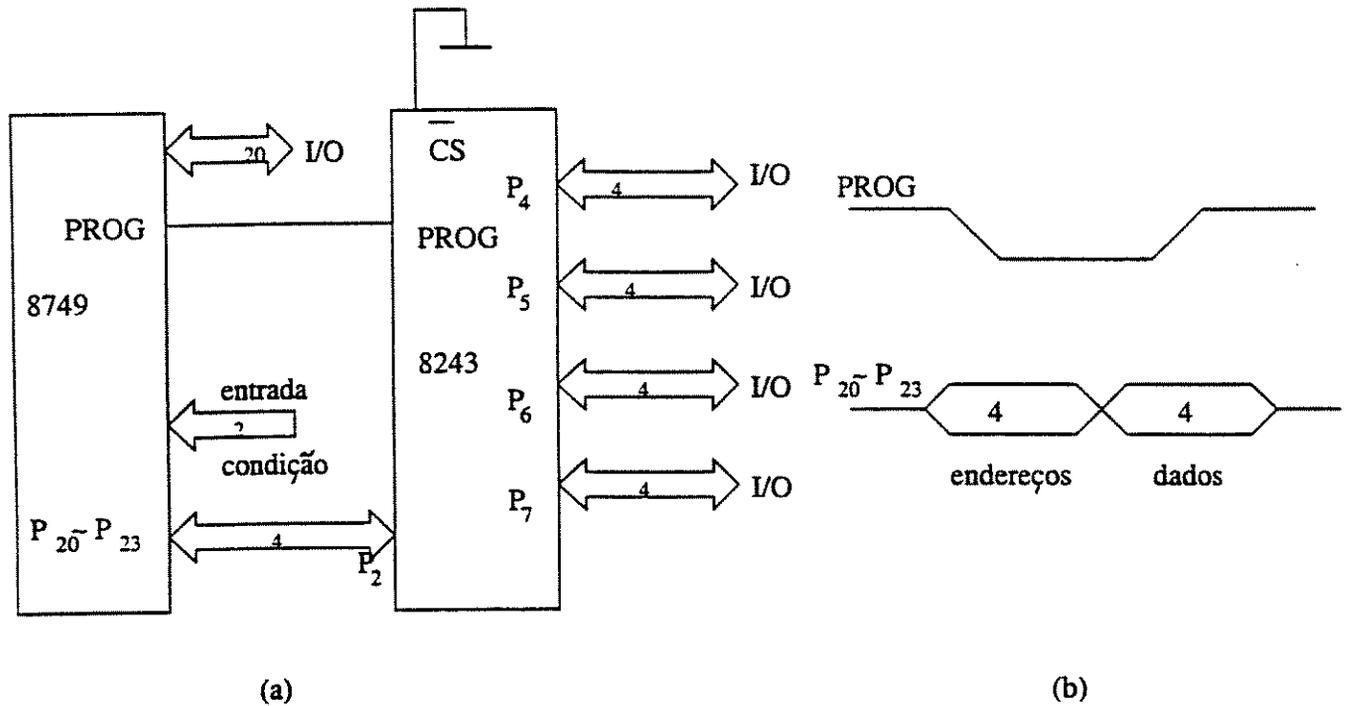


Figura 3.8. Interface do processador (8749) com o controlador das portas de I/O (8243)

- Transmissão de informações de acumulador para a interface.
- Transmissão de informações da interface ao acumulador.
- Execução de operação de E exclusivo do conteúdo do acumulador e da interface, com posterior transmissão para a interface.
- Execução da operação OU exclusivo do conteúdo do acumulador e da interface, com posterior transmissão para a interface.

Quando uma informação da interface é transmitida ao acumulador com os quatro bits, os quatro bits 1 no acumulador são transformados em “zero”. Todas as comunicações entre o 8749 e o 8243 são executadas inteiramente através dos quatro dígitos baixos através da porta 2. Até o fim do programa da MPU são exportados pulsos para o gerenciamento. Transmite-se a informação através de duas metades do bit, a qual incluiu dois significados: A primeira metade do bit inclui os códigos de operação e as interfaces de endereço e a segunda metade do bit inclui os dados reais de quatro bits. A codificação é apresentada na tabela abaixo:

Primeira metade do bit				Segunda metade do bit			
I	I	A	A	d	d	d	d
Os códigos de operação				Os dados			
I	I	Fazer		A	A	Endereço da interface	
0	0	Ler		0	0	# 4 interface (P <sub>4</sub> )	
0	1	Escrever		0	1	# 5 interface (P <sub>5</sub> )	
1	0	OU exclusivo		1	0	# 6 interface (P <sub>6</sub> )	
1	1	E exclusivo		1	1	# 7 interface (P <sub>7</sub> )	

Na linha de PROG (término de designação de saída do expansor de entrada e saída, 8243), caso o nível altere-se de alto para baixo, isto significa o surgimento de uma informação de endereço no P<sub>2,0</sub>~P<sub>2,3</sub>, ou, caso o nível altere-se de baixo para alto, isto significa o surgimento dos dados:

P<sub>4</sub>— exporta BCD (binary coded decimal) de medida.

P<sub>5,0</sub> ~ P<sub>5,1</sub> — exporta os sinais de dígito de BCD.

P<sub>5,2</sub> ~ P<sub>5,3</sub> — exporta os sinais de quantidade de chaves.

P<sub>6</sub> — exporta sinal medido nos pontos medidos.

P<sub>7</sub> — exporta sinais mostrados de estado.

### 3.3.2. Painel Lógico

#### 3.3.2.1. Importação designada

Em aplicações onde o próprio MSI é o sistema completo, requer-se que o mesmo possa trabalhar independente. Neste caso pode-se designar os estados e as condições do trabalho através da interface ou manualmente. Denominamos a designação manual de *importação designada*.

A importação designada realiza a função de variar o estado do trabalho do MSI e executar a transformação das funções. Para simplificar a estrutura do painel no painel do MSI, usamos o método da tecla, que faz designar todas as funções somente com uma tecla denominada **estado**. O seu principio é o de projetar os seis estados pela combinação dos

estados trabalhos de todas as funções. Eles compreendem: a) a designação do limite superior da temperatura, b) a designação do limite inferior da temperatura, c) a designação do limite superior da umidade, d) a designação do limite inferior da umidade, e) a amostragem do valor médio do sistema, f) a medição. Ao apertar a tecla de estado, em cada vez, é pedido um tempo de resposta ao 8749 de tal forma que o estado anterior seja mudado seqüentemente, e que o estado novo seja mostrado no painel. Se a tecla do estado for apertada continuamente o estado também é mudado continuamente. A circulação de ordem de mudança do estado é 1 →, 2 →, ... →, 6 →, 1 →, 2 →, .....

Para designar os dados em sistema decimal foram projetadas duas teclas no painel. Estas duas teclas podem designar dados no sistema decimal com quatro dígitos. Estas teclas, denominadas de HG e LG, são para definição dos limites superior ou inferior, respectivamente. O 8749 procura verificar se a HG e a LG estão ou não estão efetivos na linha designada da interface de entrada e saída, e simultaneamente mostra um dado ao acaso no monitor. Caso a LG esteja efetiva, o 8749 executa a adição de 1 nos 2 bits baixos do monitor a cada meio ou um segundo, mudando-se continuamente o dado entre 0~99 sem influenciar o dígito da centena. Quando um dado é mudado até ser igual a 2 bits baixos do dado designado, libera-se a LG e o computador vai considerar ser a entrada externa os dados de 2 bits baixos no monitor. A tecla HG, responsável por 2 bits altos, é tratada do mesmo jeito pelo computador. Através deste método simplifica-se muito o circuito do hardware com pouco trabalho de software. O diagrama de bloco do MSI é apresentado na Figura 3.9.

### 3.3.2.2. Pausa lógica

No MSI há três fontes de pausa que podem ser solicitadas ao MPU 8749. A primeira é a que emite o sinal EOC (sinal de dado novo) pelo ADC (conversor analógico-digital); a segunda emite pedido de pausa devido a designação pela tecla do estado; e a terceira pede pausa pela ligação externa do sistema, via a interface padrão da linha principal. O MPU 8749 não consegue identificar a fonte da pausa por meios próprios e não consegue saber sua duração ou seu nível. Somente no caso de INT estar efetivo ele pode retornar ao endereço da interface 3 (P<sub>3</sub>). Por isto, tem-se que projetar um sinal lógico de pausa. O nível do sinal de pausa de estado deve ser mais alto que os níveis dos outros dois, entretanto, o nível de

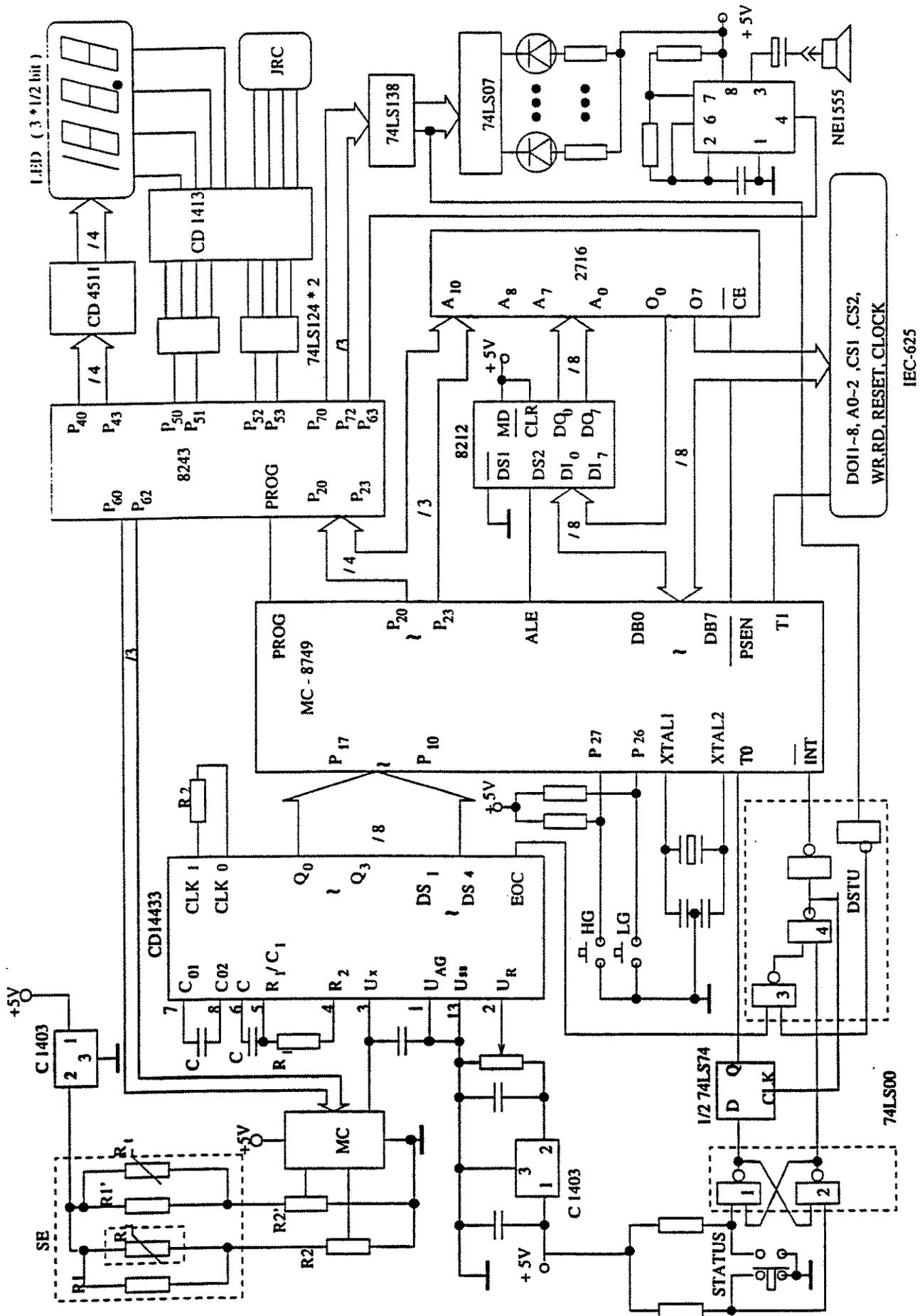


Figura.3.9. Diagrama de Bloco do MSI

requerimento de pausa externa deve ser mais alto que EOC. Logo, a ordem dos níveis de pausa deve ser STATUS, EXTERNO e EOC. O EOC pode requerer pausa somente no estado da medição, mas não pode requerer pausa nos outros estados.

Quando a tecla de STATUS e EXTERNO pedem pausa no mesmo momento, a interface 2 do FF (Flip-Flop) está com nível “1” e o aplica na entrada de FF D. No caso da interface 2 estar ao nível “0”, a interface 4 vai ao nível “1”. Para inverter, pede pausa ao MPU 8749. Entretanto, a interface 4 está com nível “1” que faz a saída de FF D ser o nível “1”. Tem-se, então o encerramento da entrada e saída das condições externas,  $T_0 = “1”$ . O símbolo de pausa, STATUS, é designado. Podemos verificar na Figura 3.9, no caso da tecla do estado ser apertada, indiferente se EOC está com função, os resultados são  $INT = “0”$  e  $T_0 = “1”$ . Além disso, STATUS tem o nível de pausa mais alta. Quando EOC está ativo e surge a pausa, somente no estado de medição, realimentação do sinal estado, DSTU, = “1”, e também no estado tal que a tecla de estado não seja apertada. Pelo efeito de EOC, a interface 3 torna-se ao nível “0”, a interface 4 ao nível “1”. Enquanto pede pausa, o FF D exporta o nível “0”, que é  $T_0 = “0”$ , e designa um símbolo de pausa em EOC.

### 3.3.3. Monitor

O monitor do MSI trabalha na maneira de varredura ativa e utiliza o relógio interno do MPU 8749. A requisição de pausa é emitida a CPU a cada intervalo e em seqüência uma unidade de buffer armazena uma amostra. Sete mostradores tipo LED com cátodo comum são utilizados no monitor. As medidas são exportadas para o CD4511 pelo 8749 via  $P_{4.0} \sim P_{4.3}$  do expensor 8243, em BCD, e nos mostradores de LED de quatro bits depois de serem decodificados. O funcionamento dos quatro bits do mostrador LED dependem das portas  $P_{5.0} \sim P_{5.2}$  do 8243. O driver CD1413 é utilizado para aumentar a intensidade dos sinais de comando do mostrador. A codificação do buffer da amostra é esquematizada na tabela abaixo:

$D_x$			$D_o$				
0	0	0	1	B	C	D	código
0	0	1	0	B	C	D	código
0	1	0	0	B	C	D	código
1	0	0	0	B	C	D	código

O MPU 8749 exporta as informações apresentadas por  $P_{7,0} \sim P_{7,2}$  do 8243 e do decodificador. Assim, o LED acesso é responsável por indicar os seis estados de função de trabalho acima codificados.

O MPU emite sinal de alarme pela interface  $P_{6,3}$  e emite os sinais controlados pelos quatro canais através das interfaces  $P_{5,2} \sim P_{5,3}$ . O decodificador decodifica e o driver, CD1413, exporta os sinais de chave que controla a temperatura e a umidade via quatro canais, respectivamente. O estado (ligado ou desligado) do relê JRC é controlado por estes sinais. Os endereços nos 8 pontos medidos são exportados por  $P_{6,0} \sim P_{6,2}$ , e o auto-exame é executado automaticamente.

### 3.4. Interface de comunicação externa

No item 3.3.2.1, foi visto que o equipamento inteligente deve ter a função de controlar o programa. Esta função normalmente é classificada em duas maneiras de trabalho: de perto e de longe (remoto). Na maneira da distancia de perto a designação é executada manualmente, como já foi explicado. Nesta maneira, os vários comandos e vários dados são exportados ao equipamento pelo teclado no painel do equipamento. No modo de remoto o operador comanda o sistema pela linha principal da interface do equipamento interno e intervém nos trabalhos do sistema. Por isso, a linha principal da interface é a parte principal na comunicação entre o MSI e o meio externo.

O MSI é ligado na linha principal IEC-625 pela interface do MPU 8291. A linha principal padrão inclui a parte da linha principal e a parte da interface. A linha principal é o cabo de multifios para transportar os sinais. A interface consiste dos vários circuitos lógicos para emitir, receber, codificar e decodificar os sinais. A Figura 3.10 mostra o diagrama da estrutura interna da interface 8291, e a Figura 3.11 mostra o diagrama de fluxo de principio da interface IEC-625 do MSI [8].

O MSI é um sistema independente de controle de umidade e temperatura. Pode ser ligado a vários outros MSIs para formar um sistema de gerenciamento complexo. Neste caso deve-se considerar a distância do transporte dos sinais e a capacidade de medição do sistema. Nosso sistema foi projetado para dez grupos sendo cada grupo formado por quatro armazéns

de diferentes capacidades, o que dá um total de 40 pontos de armazenagem. Os dez MSIs são conectados através da linha principal comum da interface IEC-625, a qual tem um padrão internacional com 24 fios. Destes, 16 fios são utilizados para as linhas de sinais e o resto para o aterramento, funções lógicas ou controle externo. Todos os MSIs são ligados em paralelo com a linha principal. Assim, todo o sistema pode ser administrado por meio de um computador com gerenciamento centralizado.

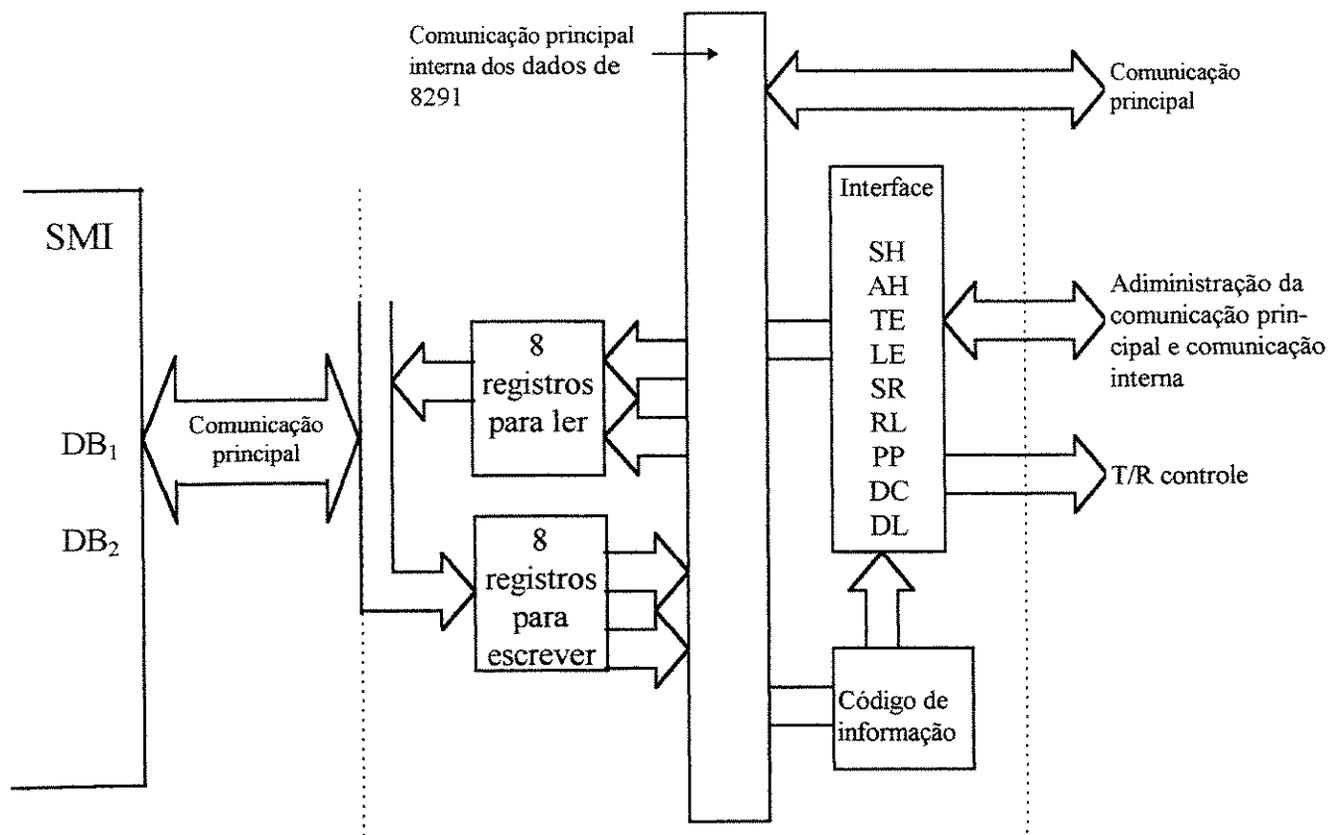


Fig.3.10. Diagrama interno do 8291

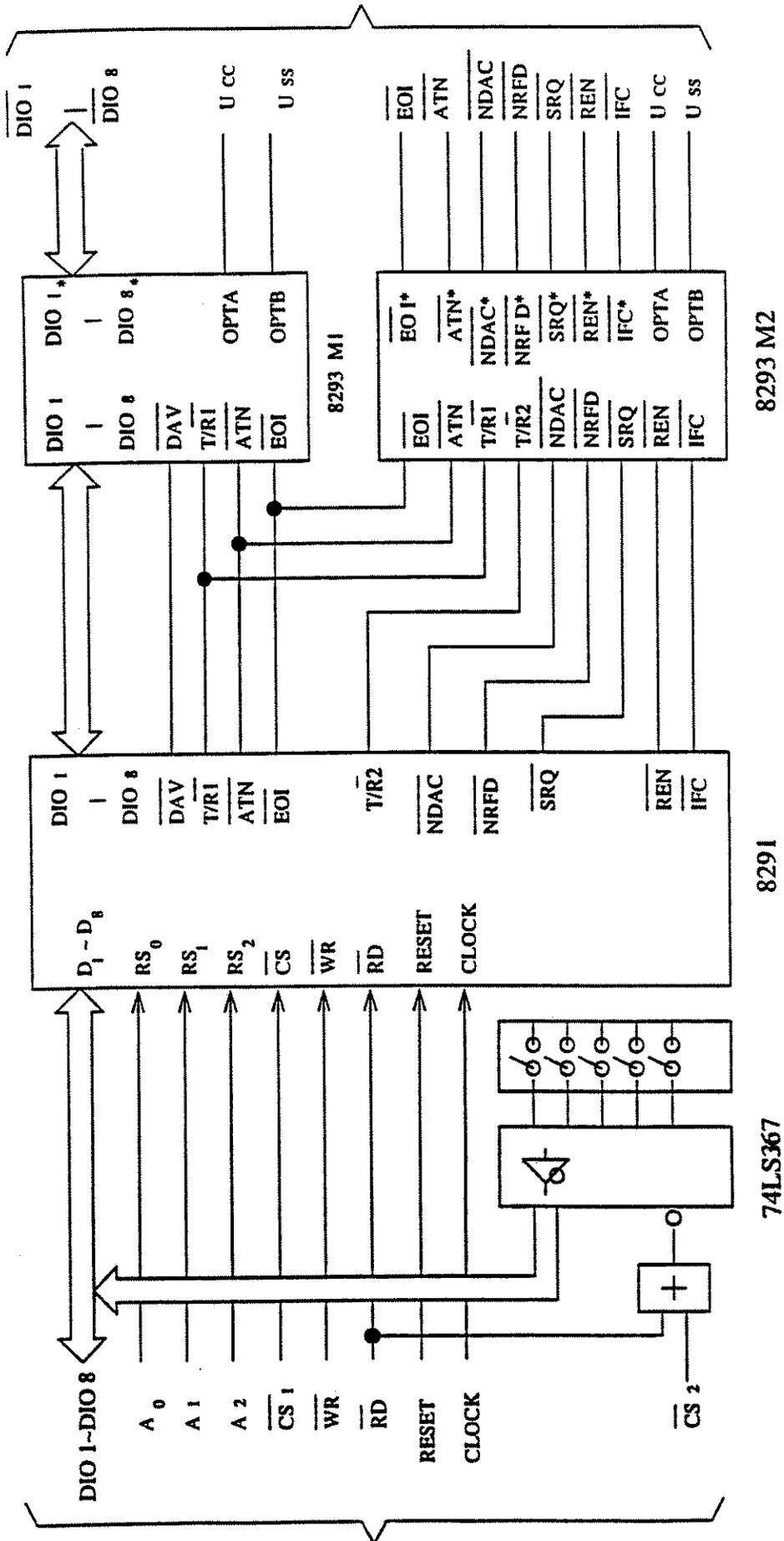


Figura.3.11. Diagrama da interface de comunicação com equipamentos externos

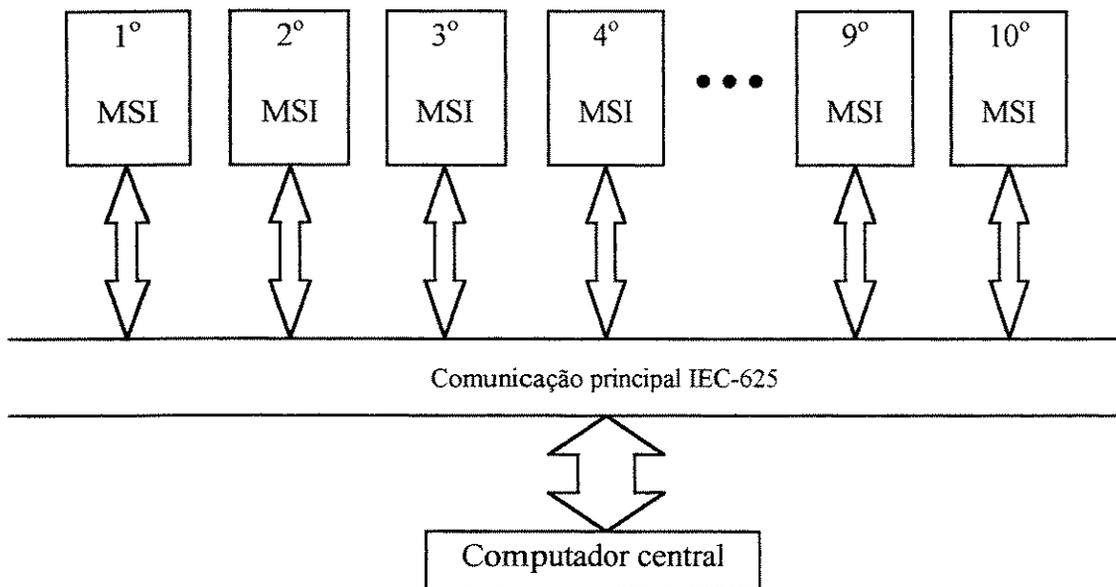


Figura 3.12. Esquema do gerenciamento dos sistemas de medida e controle de temperatura e umidade em diversos armazéns.

# Capítulo 4

## *Projeto de software do sistema*

### 4.1. Introdução

O projeto de software do sistema é uma parte importante no MSI. Neste sistema, os parâmetros medidos transformam-se em valor digital através de medição analógica e conversor A/D. O MPU coleta os dados, analisa e processa e, em seqüência, apresenta os resultados que são utilizados para controle do sistema externo. O processo é inteiramente realizado de acordo com um programa pré-definido [9].

A programação computacional no MSI utiliza, principalmente, o *Método de programação em módulo*. Ou seja, considera-se que a parte independente não afeta as outras partes do programa de sub-programas chamados **módulos de programação (MP)**. O MP divide um programa grande em vários sub-programas independentes que são coordenados por um módulo principal (mestre). A vantagem deste método é a de evitar as repetições inúteis das sub-programações, simplificar os programas e facilitar a manutenção do software.

Como o sistema utiliza um MPU 8749, a estrutura de armazenamento (banco) dos dados e da programação são muito simples. Dividem-se em duas partes: EPROM interna e EPROM externa. A EPROM interna armazena principalmente as seguintes informações:

- lista de registro de tarefa;
- lista de símbolos apresentados;
- lista de símbolos do ponto medido;
- lista de umidade relativa;
- interface de reposição de interrupção;
- interface de interrupção externa;
- temporizador e contador;

- interface de interrupção de extravasação (overflow);
- módulo de coordenação principal;
- módulo de apresentação (impressão);

O EPROM externo armazena principalmente os módulos de programação das tarefas individuais.

O software do MSI é construído por um módulo de coordenação principal e vários módulos de sub-programação individuais. A fonte de programação tem 4 Kbits.

## 4.2. Módulo de coordenação principal

A tarefa principal do módulo de coordenação principal é inicialização, a realização da chamada e a execução de tarefa do sistema.

A inicialização do sistema consiste na operação de reposição e inicialização da condição de trabalho. As tarefas principais são as seguintes:

- zerar o contador de programação;
- zerar o ponteiro da pilha de armazenamento;
- selecionar o setor (seção) zero para registro;
- selecionar o setor zero para armazenamento;
- serem atribuídos linha principal (bus)  $DB_0 - DB_7$  resistências com valores altos;
- definir o modo de entrada às interfaces 1 e 2 do MPU;
- Fechar as interrupções de *temporizador*, de contador de eventos e externo;
- zerar os registros;
- inicializar os endereços de módulos de programação.

Os programas armazenam-se no endereço de 0H na memória da programação ROM, pois esta é a unidade de entrada de interrupção de reposição do MPU 8749. As programações são armazenadas por instruções na seqüência de execução da ROM. A unidade 3H da ROM armazena o endereço da interface das interrupções externas, tal que o MPU pode chamar diretamente a unidade 3H quando existe a interrupção externa, bem como executar o programa da comunicação com os equipamentos externos. A unidade 7H é a entrada de interrupção causada por extravasação do temporizador e contador de eventos quando existe o

signal de extravasação do temporizador. Através do 7H o MPU pode chamar diretamente o módulo de sub-programação de serviço e o programa de apresentação.

### Programação (sub-programação) de apresentação ( mostra)

A estrutura de matriz na ROM dos dados consiste dos seguintes componentes:

- REG (registro de trabalho), ou seja, o registro de setor zero;
- pilha de armazenamento de contador da programação;
- registro de setor 1;
- RAM dos dados para usuário.

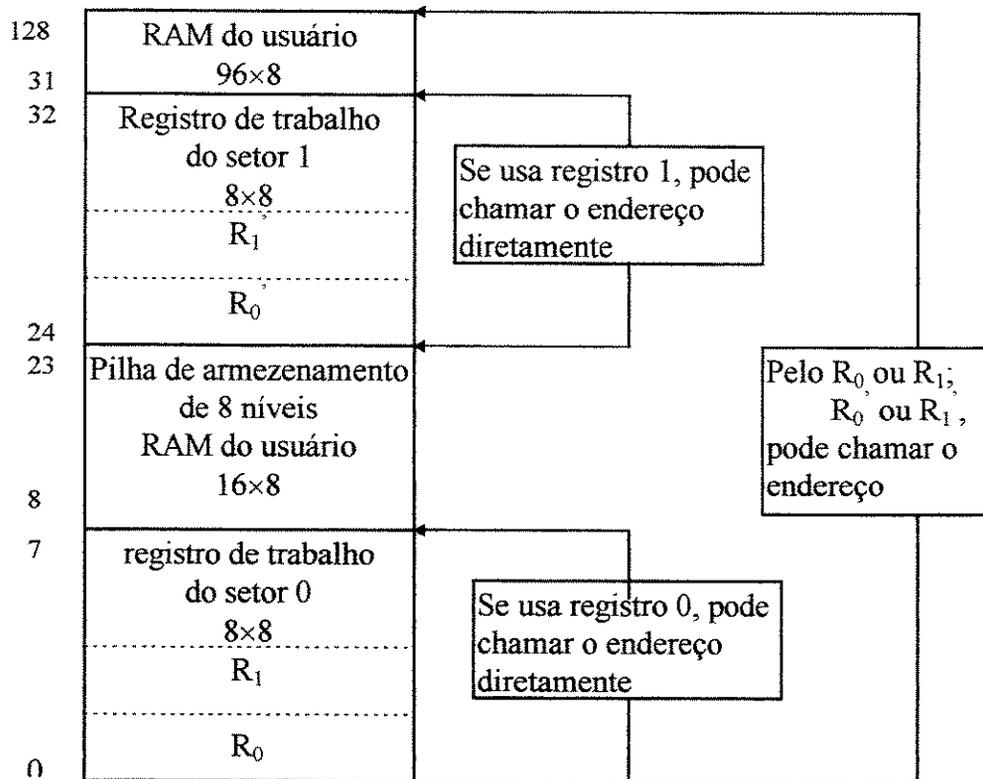


Figura 4.1. Diagrama da estrutura da matriz na ROM dos dados

A sua estrutura está mostrada na Figura 4.1. A inicialização e o registro de trabalho estão nas primeiras 8 unidades da RAM dos dados, são utilizados para armazenar os resultados intermediários que são obtidos durante os cálculos. Pode-se ter acesso diretamente a estes dados através de alguns comandos. Além disso, pode utilizar as unidades 24 -31 da RAM dos

dados, ou seja registro de setor 1, para expandir o “buffer” dos resultados intermediários através do comando de transformação SEL.RB. Alguns dados de usuários podem ser armazenados também no setor 1 do registro. Como todas as unidades de armazenamento de dados podem ter acesso direto através de ponteiro do registro  $R_0$  e  $R_1$ , pode-se aumentar a velocidade de entrada e saída dos dados. Quando existe a interrupção ou chamada de sub-programação no sistema, o conteúdo do contador de programação passa para a pilha de armazenamento de programação, ou seja, para as unidades 8 - 23 da RAM. O ponteiro da pilha com três dígitos,  $S_0 - S_2$ , do registro de estado de programação, administra a entrada e saída da pilha de armazenamento.

A locação de armazenamento de dados da RAM de usuário tem principalmente: os buffers dos dados para 8 pontos de medição de temperatura — 16 bits;

- buffer para apresentar os dados dos 4 pontos de temperatura — 8 bits;
- buffer para apresentar os dados dos 4 pontos de umidade relativa — 8 bits;
- memória para o limite superior de temperatura — 2 bits;
- memória para o limite inferior de temperatura — 2 bits;
- memória para o limite superior de umidade relativa — 2 bits;
- memória para o limite inferior de umidade relativa — 2 bits;
- memória para as médias — 2 bits;

#### 4.2.1. Chamada da tarefa do sistema

Depois da inicialização do sistema, em primeiro lugar, chama-se o módulo de *verificação automática* para examinar se o sistema está sem erro próprio. Em seqüência executa-se a chamada do programa a ser aplicado.

A chamada na programação de coordenação principal consiste em utilizar o modo (método) de questionário. De acordo com a interrupção de programação do módulo de tarefa, retira o byte (instrução) da execução e transforma a execução do módulo de programação de tarefa. O módulo (de programação de tarefa) do sistema divide-se em:

- módulo de programação de comunicação externa;
- módulo de programa de operação de painel;
- módulo de coleta de temperatura;

- módulo de programação de verificar-se o sistema, de “self-checking”;
- módulo de programa de processamento de dados;
- módulo de execução e chamada do módulo de verificar-se “self-checking” na programação principal (mestre).

Para determinar o funcionamento normal do sistema, o primeiro passo é testar se existe pedido de interrupção pelas interfaces de equipamentos externos. O sinal de interrupção no INT da interface de MPU 8291 é ativo quando a voltagem está em alta. INT é ligado a T1 de MPU. Se T1 está em voltagem alta, significa que há pedido (requisição) de interrupção. De acordo com este estado, a programação mestre passa para a terceira unidade (3H) da ROM e coloca o endereço de módulo de programação de comunicação externa nesta unidade. O pedido de interrupção de painel é representado por T0 quando sua tensão estiver alta. O endereço do módulo armazena-se na quarta unidade 4H da ROM. Quando há interrupção de EOC, executa o módulo (de programação) de verificação (exame) seqüencial de temperatura, sendo seu endereço colocado na primeira unidade 1H da ROM. Depois disso, processa os dados através do módulo de processamento de dados. O diagrama de fluxo do módulo de coordenação principal está apresentado na Figura 4.2.

### 4.3. Módulo de verificação do sistema (“checagem”)

O módulo de verificação do sistema utiliza verificação periódica. O objetivo é garantir que o sistema fique em seu melhor estado de funcionamento. Na operação do sistema ele é conferido periodicamente mas, evidentemente, o sinal de alarme só é automaticamente emitido quando surgem defeitos no sistema. Depois de inicializar a programação de verificação, o primeiro passo é fechar as interrupções das interfaces do ADC e do painel, bem como desligar todas as lâmpadas de indicação, com exceção da lâmpada do estado de verificação. A partir daí o programa inicia a verificação dos elementos.

Em primeiro lugar, verifica a memória RAM. O sistema tem somente 128 bits de memória. Dentre estes 102 bits (8-23, 32-128) não serão verificados, memória de pilha de armazenamento e as medidas. O resto pode ser verificado ou utilizado como memória de dados. A verificação automática é feita pelo modo passo-a-passo. Através de escrever e ler as

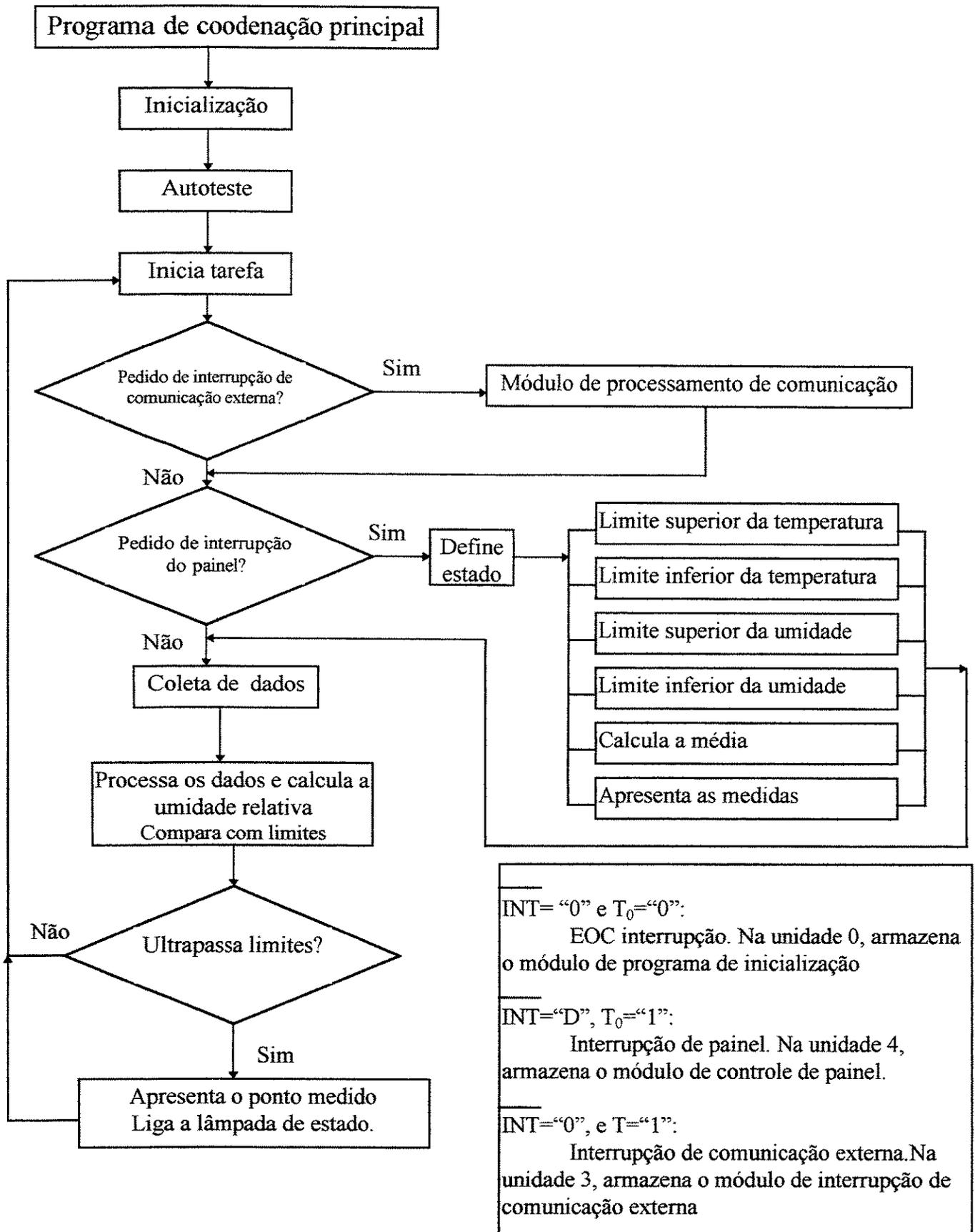


Figura 4.2. Diagrama do fluxo de módulo de coordenação principal

informações de total “0” e total “1” em cada unidade de memória, verifica se a memória RAM é capaz de escrever e ler os dados corretamente. Se tiver erro, deve mostrar ERR 1. Se não tiver, continua a verificação com o próximo passo: verificar a Porta de Entrada-Saida (PIO). A verificação da PIO é conferir principalmente a lâmpada de indicação (sinal) do estado de função, verificando a consistência dos dados escritos e lidos. Ao mesmo tempo, liga sequencialmente as lâmpadas de indicação. Se tiver erro, deve mostrar ERR 2. A verificação automática do ADC é feita mandando o sinal  $P_{73}$  e controlando a definição (da entrada) do modo de verificação automática. Aplica-se uma tensão padrão na entrada do ADC no ponto de medição de endereço 1, mede-se uma vez (chama a programação de verificação ) e compara-se os resultados medidos com os valores padrões. Se a diferença for maior que  $\pm 2\%$ , significa que existe um erro, e portanto deve mostrar ERR 3.

Durante a verificação automática, se existe um erro na unidade medida, o sinal de erro aparece durante 10 segundos e dá um alarme. Depois disso, verifica automaticamente o próximo passo. Se tudo está normal no processo de verificação, o sistema entra em funcionamento normal e retorna até o estado de operação (funcionamento) antes de verificação, bem como libera as interfaces do ADC e painel. Retorna à programação mestre. O diagrama de fluxo da programação de verificação está mostrado na Figura 4.3.

#### 4.4. Módulo de comunicação externa

O MSI forma que uma interface ligada a linha principal (bus) IEC-625 através da interface MPU 8291, e do comando *recebimento* MPU 8293. O MSI é controlado através da linha principal IEC-625 por seu software. Quando o MSI começa operar (funcionar), o micro-computador inicializa a interface MPU 8291. A interface da comunicação externa do MSI verifica a interrupção do MPU 8291 através do modo de questionamento de programação, sendo que o MSI recebe somente o sinal de endereço definido por si mesmo. O símbolo de “return”, CR, em ASCII (0DH) é utilizado como o símbolo de término. Quando envia o símbolo de término, ativa a linha principal EOI, e quando recebe os dados, precisa ter a capacidade de verificar a chegada do símbolo de término. O diagrama de fluxo de inicialização da interface MPU 8291 é apresentado na Figura 4.4.

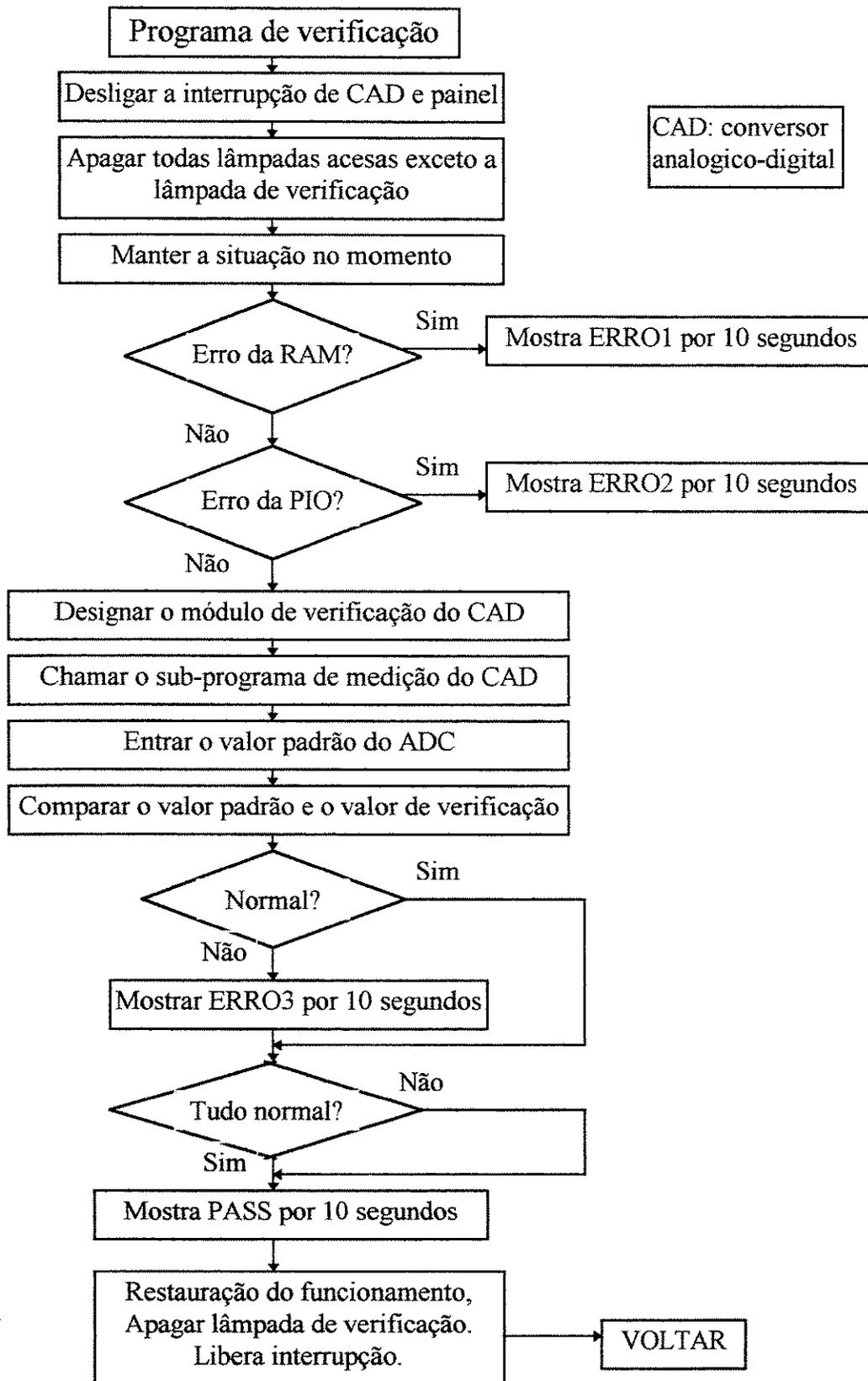


Figura 4.3. Diagrama de fluxo da programação de verificação

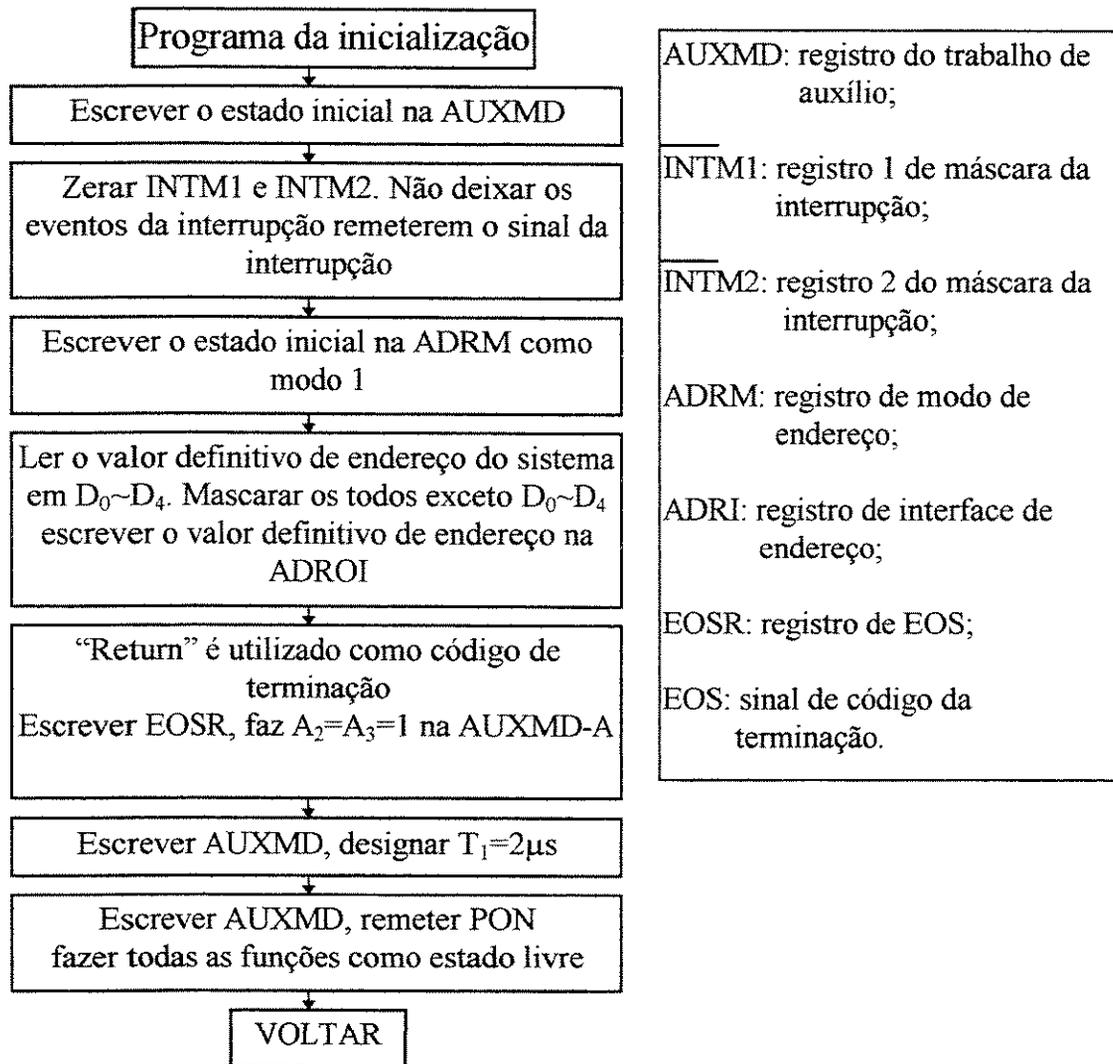


Figura 4.4. Diagrama de fluxo da programa da inicialização do MPU 8291

O MSI recebe as informações da linha principal IEC-625 pela interface, através da forma de questionamento. O micro-computador continuamente lê a memória de estado de interrupção do MPU 8291, verifica a existência de eventos de interrupção. Se tiver, passa ao sub-módulo respectivo. Quando ATN estiver com tensão alta, indica que a informação é recebida pela linha principal IEC-625. Cada vez que um byte do dado entra na memória de entrada do MPU 8291 e atribuído a 1 ao BI da memória de interrupção que avisa o MPU que o byte deve ser retirado. O diagrama de fluxo de recebimento de informação é apresentado na Figura 4.5.

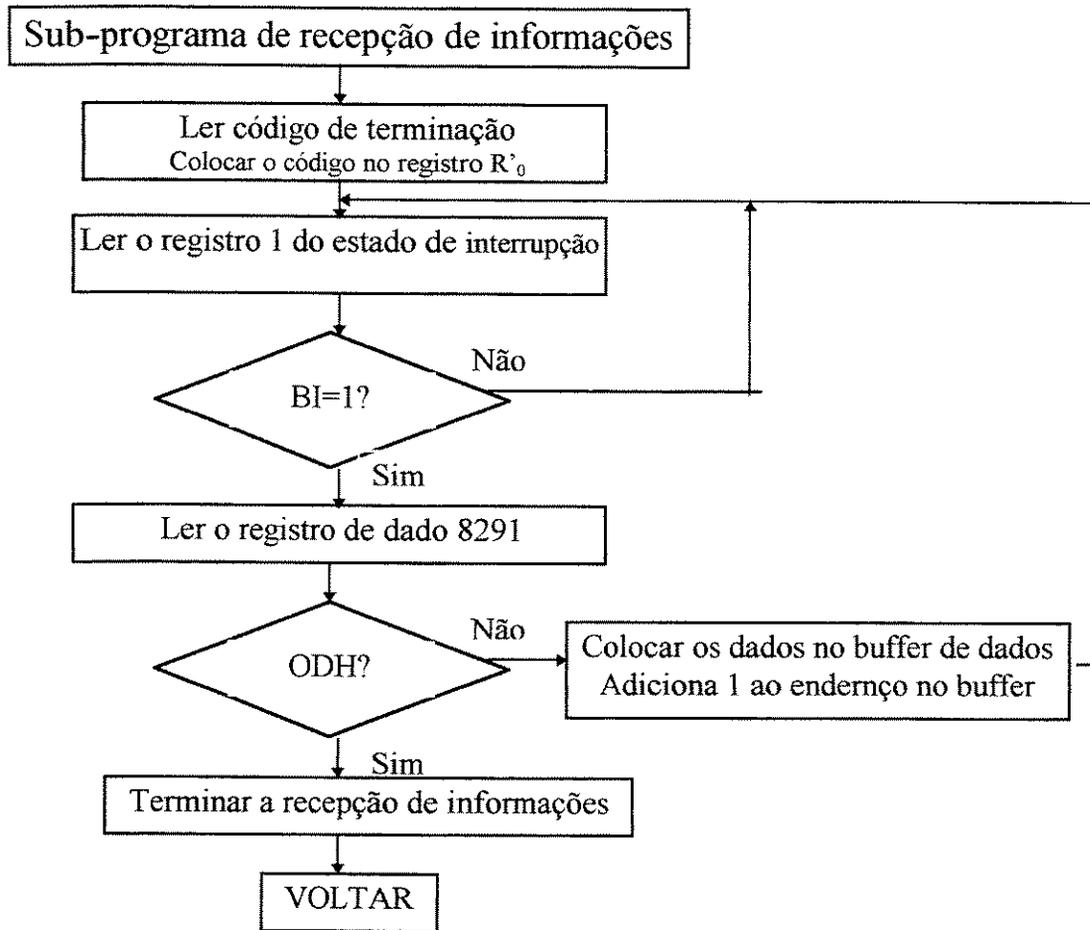


Figura 4.5. Diagrama de fluxo da programação de recebimento de informações

O envio de informações no MSI é feito através do registro de saída do MPU 8291, colocando tensão em ATN, o qual indica que o sistema enviará as informações. Depois que cada byte de dados é remetido, o bit da memória de estado de interrupção, BO, é colocado em 1, que leva o MPU enviar o próximo byte do dado. Quando o MPU retira os dados de memória do buffer e os envia para a linha principal IEC-625 através do 8291, o BO é repostado (inicializa, zera). O diagrama de fluxo da sub-programação de envio de informações é apresentado na Figura 4.6.

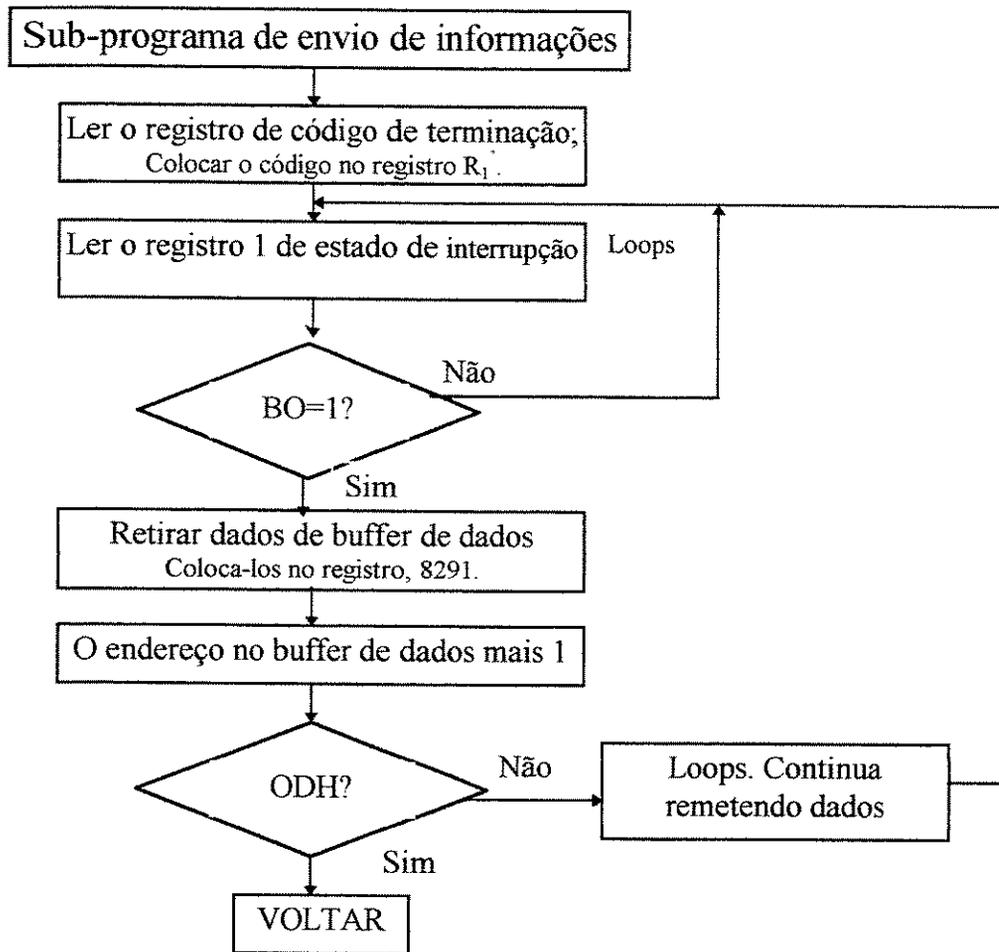


Figura 4.6. Diagrama de fluxo da sub-programação de envio de informações

O módulo de processamento de dados (de comunicação) no MSI consiste em verificar a função de controle dos equipamentos externos. De acordo com as informações de controle dos equipamentos externos, modifica os estados de trabalho do MSI correspondentemente. O diagrama de fluxo do sub-programa de requisição de interrupção por equipamento externo é mostrado na Figura 4.7.

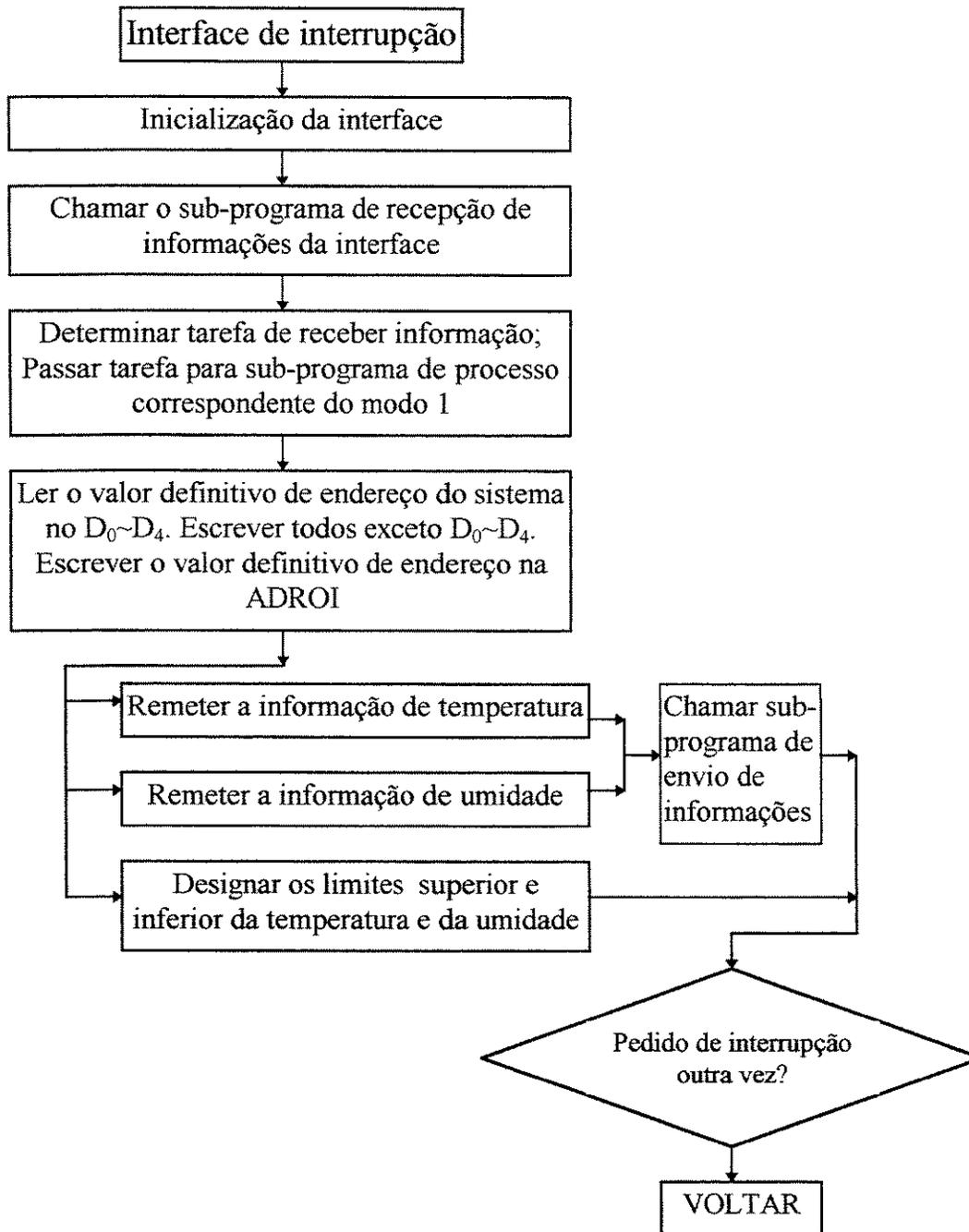


Figura 4.7. Diagrama de fluxo do sub-programa de requisição de interrupção por equipamento externo

#### 4.5. Módulo de operação de painel

A operação de painel é o modo mais simples das comunicações entre o operador e máquina (computador). Consiste em verificar manualmente (pelo operador) a temperatura e umidade relativa nos pontos medidos, bem como calcular as médias de umidade e temperatura dos 4 pontos. O objetivo é identificar as médias da temperatura e umidade relativa na sala medida, definir os limites superior e inferior de temperatura e umidade. Quando se toca tecla STATUS, o sistema entra diretamente no módulo de operação de painel. Se repetir a tecla STATUS, o sistema muda as funções de execução para a seguinte seqüência:

- selecionar a mostra de pontos medidos;
- calcular as médias da temperatura e umidade;
- definir o limite superior da temperatura;
- definir o limite inferior da temperatura;
- definir o limite superior da umidade relativa;
- definir o limite inferior da umidade relativa.

Para selecionar a mostra de pontos medidos, utiliza-se as duas teclas, HG e LG, para formar o código com o sistema binário e fornecer o código de seleção. Quando temperatura e umidade dos pontos medidos é mostrada, primeiramente aparece a temperatura por uma duração (de tempo) de 2 segundos, depois disso aparece a umidade relativa %UR. Quando se define os limites superiores e inferiores, utiliza-se a tecla LG para determinar os dígitos inferiores, definindo o dígito de unidade e o dígito de dezena. Quando o sinal LG está ativo, tem apresentação dentro dos limites de 0-99 no monitor. A cada meio segundo adiciona-se 1. Quando chega a 99 ele retorna automaticamente a zero, por isto não tem afeta para o dígito de dezena. A tecla HG é utilizada para definir os dois bits superiores, ou seja, o dígito de centena e o dígito de milhar. As formas de definição do LG e HG são iguais. O diagrama de fluxo do processo é apresentado na Figura 4.8. Os diagramas de fluxo do sub-programa de visualização são apresentados nas Figuras 4.8.a e 4.8.a', respectivamente. Os diagramas de fluxo do sub-programa de designação dos limites superiores e inferiores da temperatura e umidade são apresentados nas Figuras 4.8.b, 4.8.c, 4.8.d e 4.8.e, respectivamente.

#### 4.6. O módulo de coleta de dados

Quando o MPU recebe o pedido da interrupção pelo sinal EOC, que é o termino de conversão do A/D, retira os dados do ADC em forma de questionamento. Como citamos na secção 2 do capítulo 3, o módulo CD14433 remete os códigos BCD seqüencialmente do bit superior até o bit inferior, em modo de serie e paralelo e simultâneamente com os sinais  $D_{s1} - D_{s4}$ . O modo do envio é:  $Q_0 \sim Q_4$  enviam os códigos BCD e simultaneamente remetem os impulsos relativos de  $D_{s1} \sim D_{s4}$ . Quando  $D_{s1}$  está em tensão alta, representa o dígito de milhar. Neste caso, os dados de quatro dígitos são enviados no  $Q_0 - Q_3$ . O dígito de milhar é representado somente por 0 ou 1.  $Q_3, Q_2$  representam a polaridade: se o nível for alto (superior) a polaridade é positiva, se o nível for o baixo (inferior), a polaridade é negativa. Quando  $Q_0$  está em nível superior significa que a tensão de entrada  $V_i$  está acima da faixa de medição. A interface  $P_1$  do MPU é a entrada dos dados. Os 4 bits superiores são para códigos BCD e os 4 bits inferiores são para impulsos seleccionados (ativos),  $D_{s1} - D_{s4}$ . A programação de coleta de dados armazena os dados do ADC no registro de dados, R1, e armazena na memória de dados depois do processamento e ajustes.

A forma de armazenamento dos dados é apresentada na Tabela 4.1, descrita a seguir:

Tabela 4.1. Forma de armazenamento dos dados

O endereço de unidade de memória	$D_7$	$D_6$	$D_5$	$D_4$	$D_3 \sim D_0$
DATAM	super-faixa	forte-faixa	polaridade	dígito de milhar	dígito de centena
DATAM + 1	dígito de dezena				dígito de unidade

O diagrama de fluxo de controle do módulo CD 14433 é apresentado na Figura 4.9.

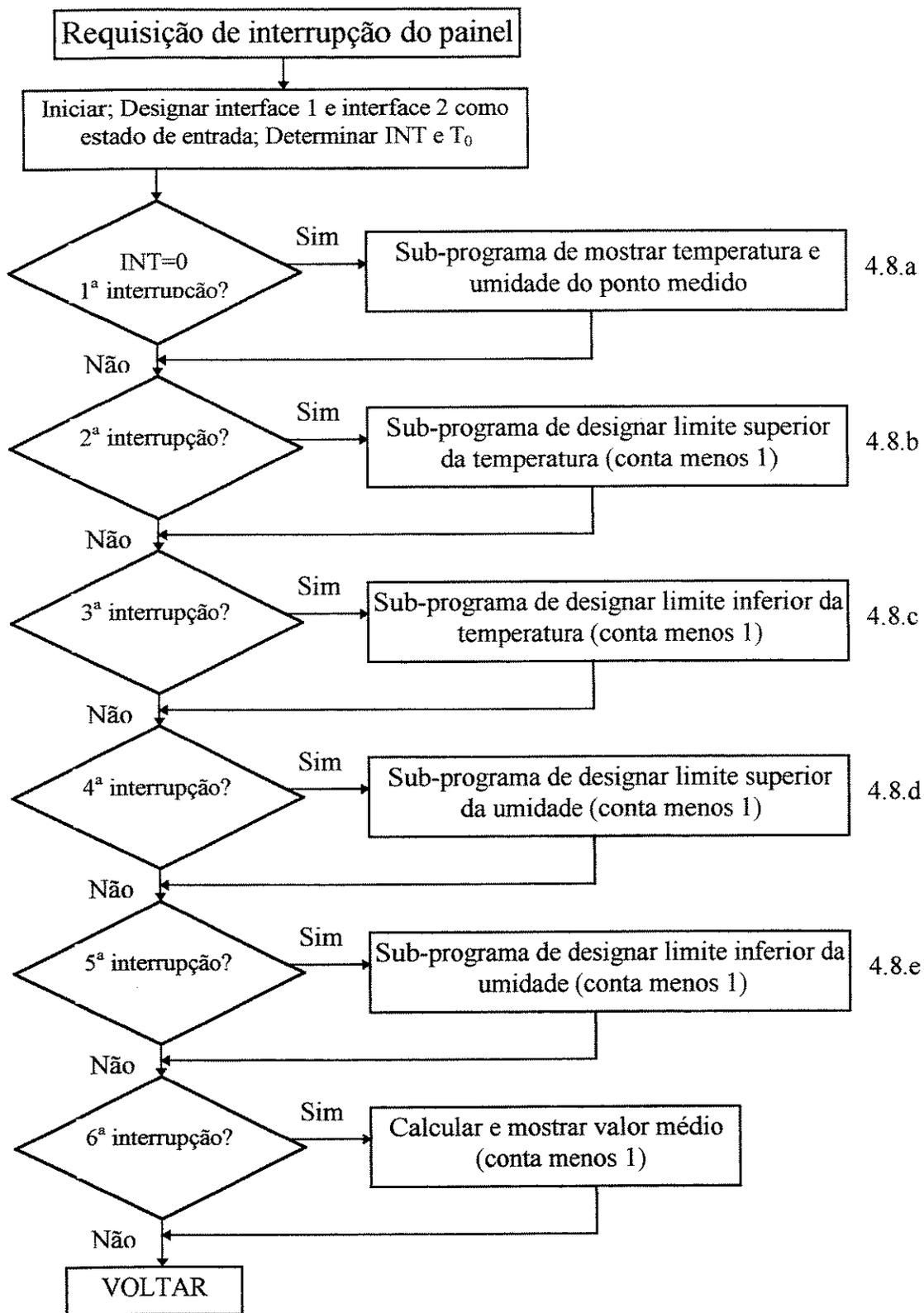


Figura 4.8. Diagrama de fluxo do sub-programa da operação do painel

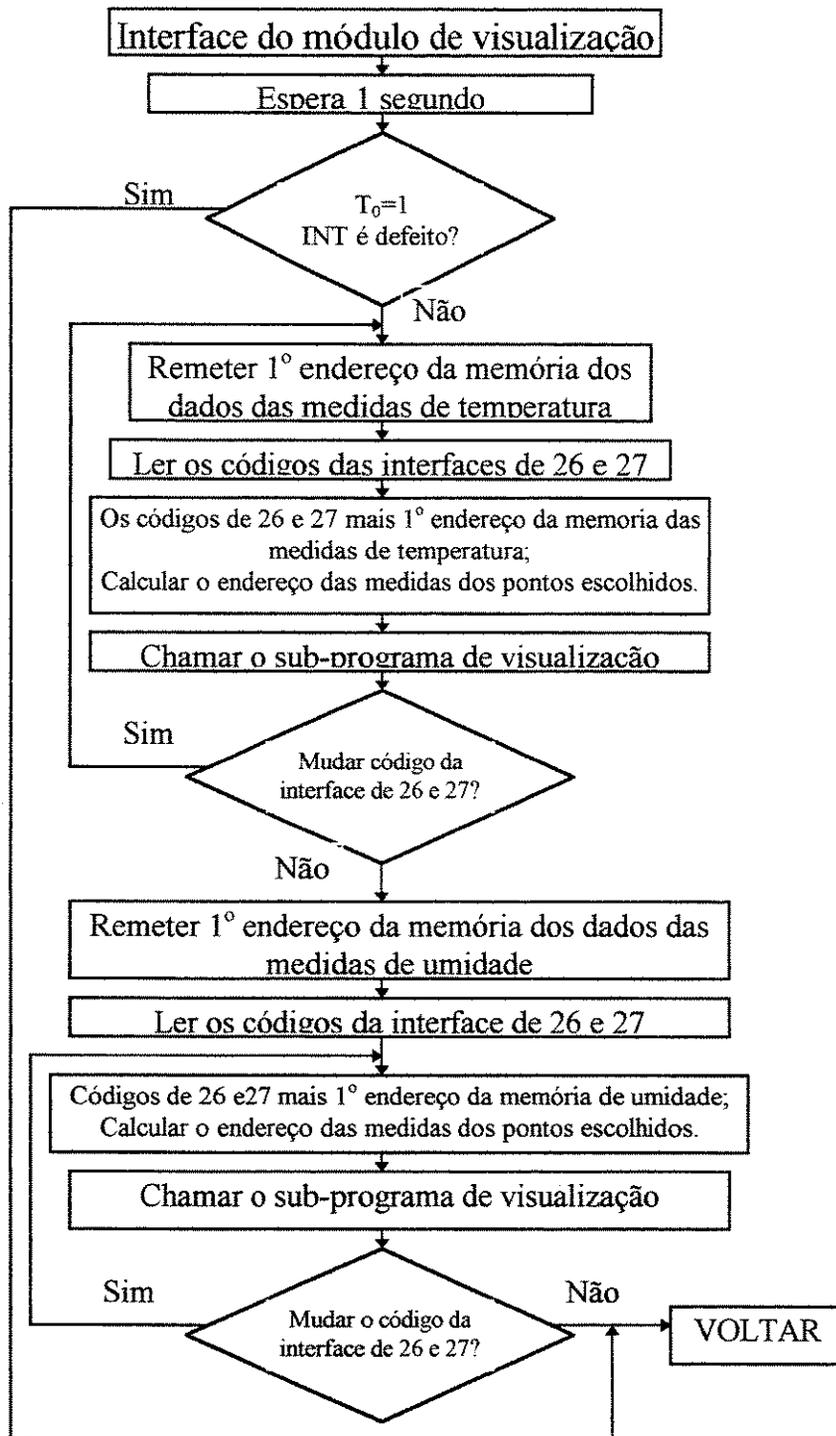


Figura 4.8.a. Diagrama de fluxo da sub-programação que mostra temperatura e umidade do ponto escolhido de medida.

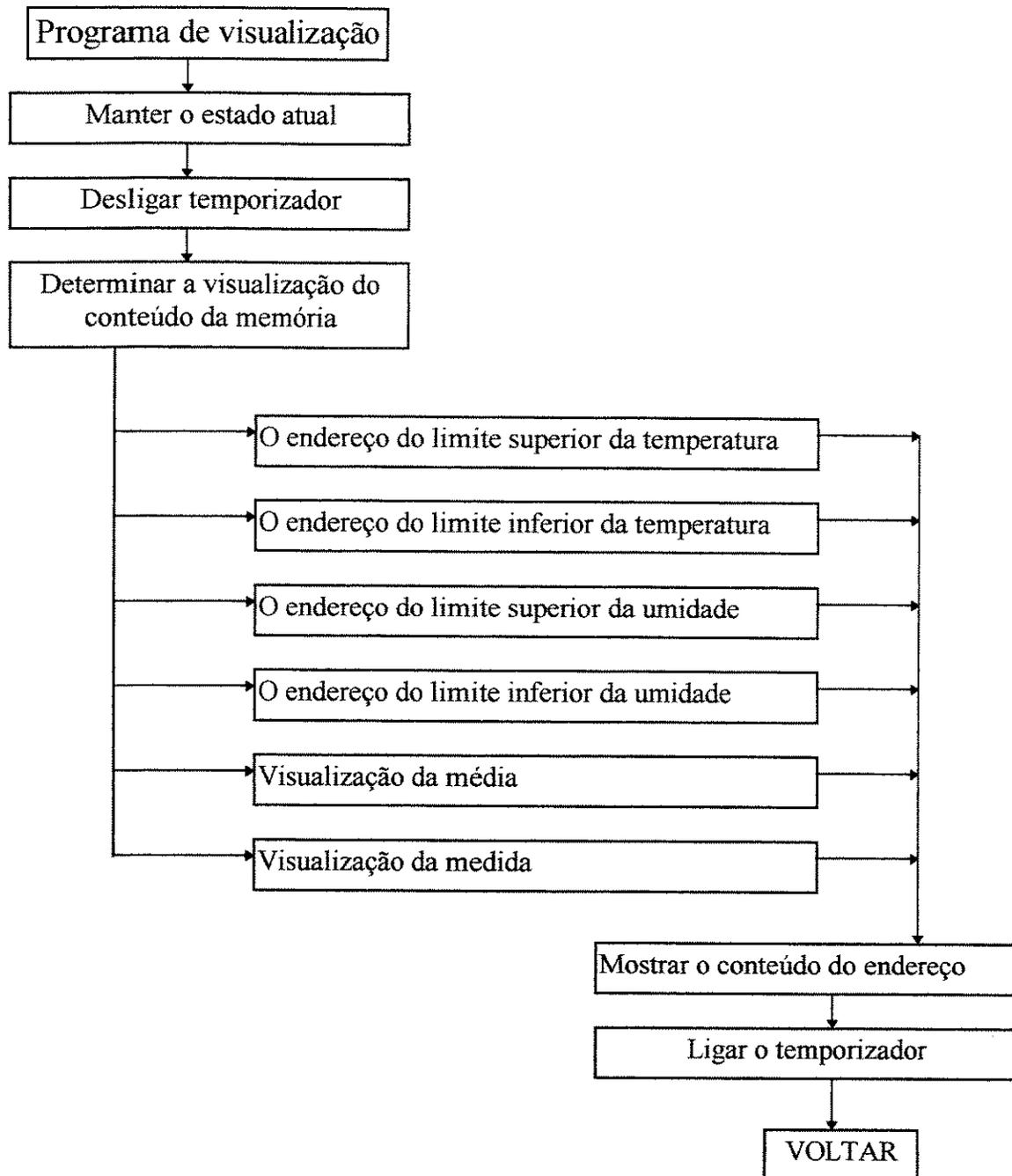


Figura.4.8.a'. Diagrama de fluxo do sub-programa de visualização

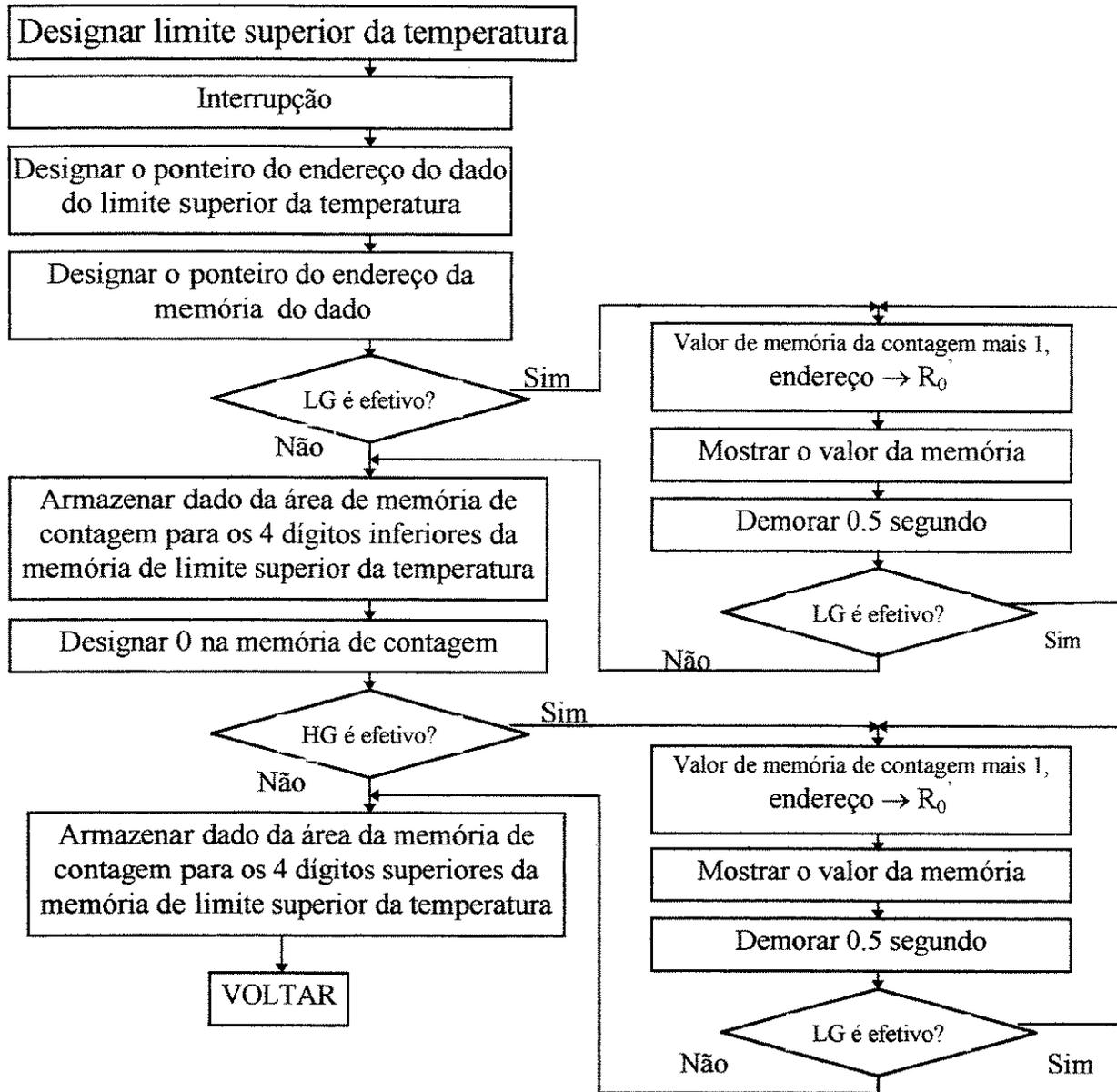


Figura 4.8.b. Diagrama de fluxo do sub-programa de designação do limite superior da temperatura

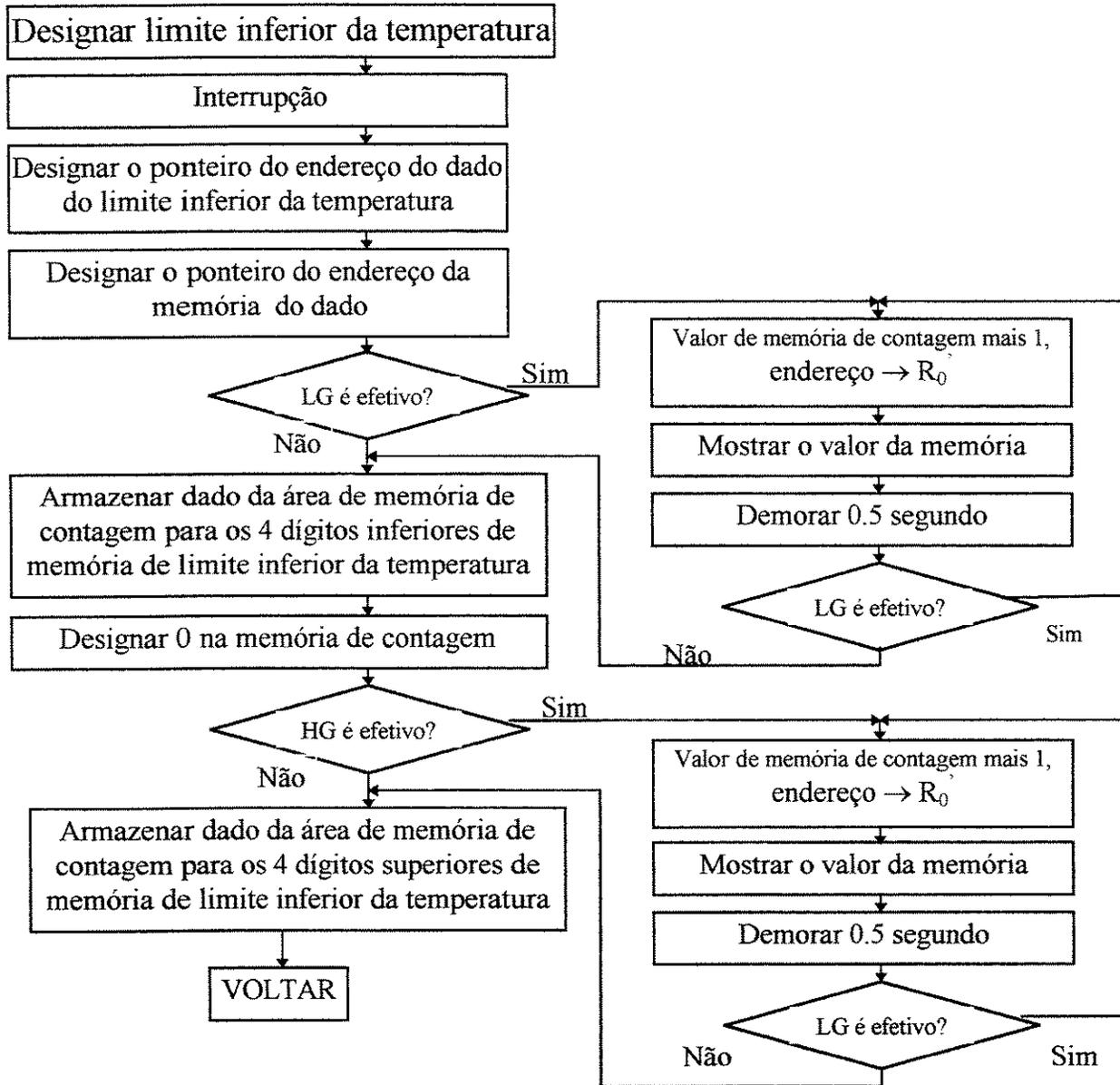


Figura 4.8.c. Diagrama de fluxo do sub-programa de designação do limite inferior da temperatura

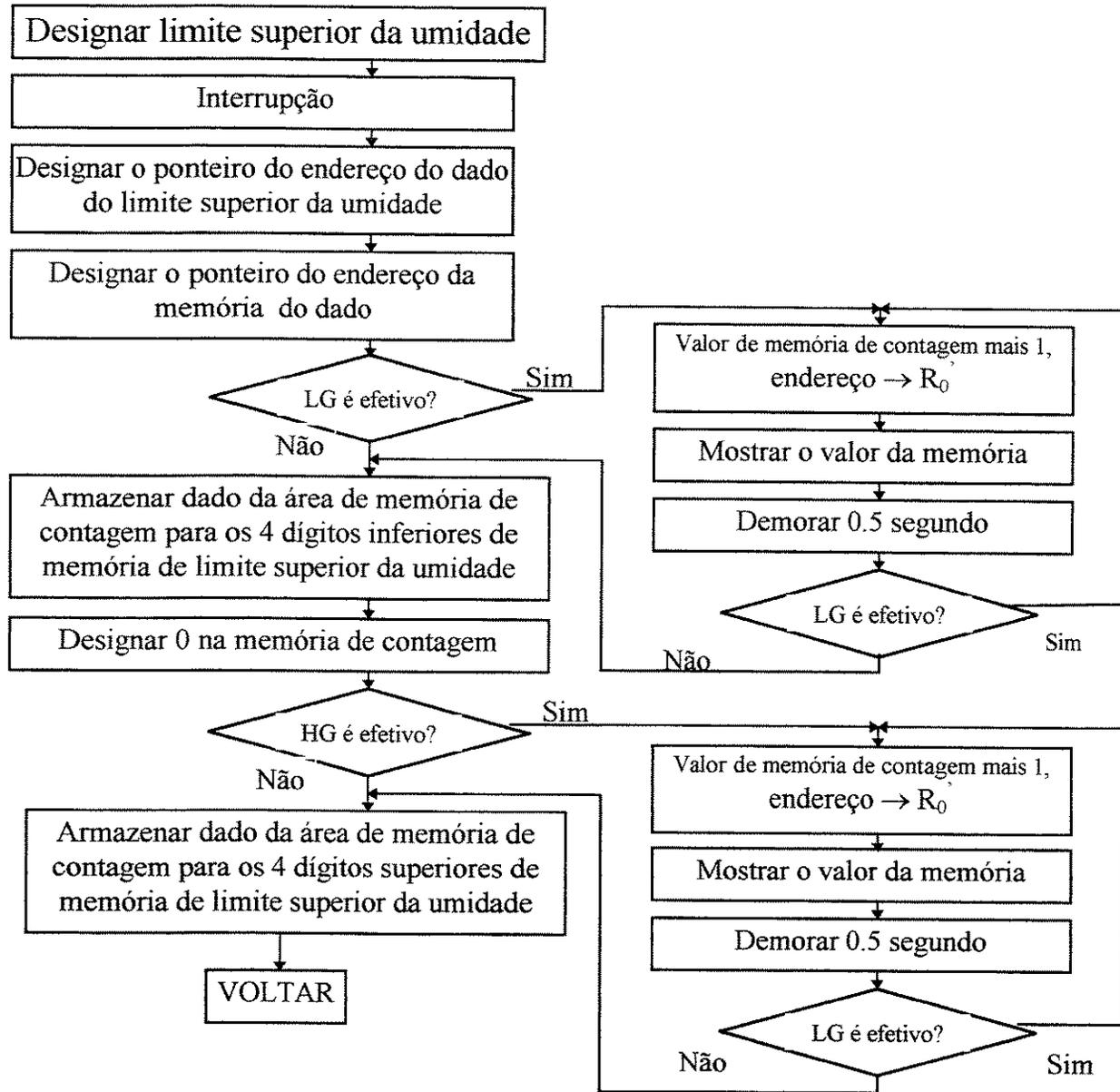


Figura 4.8.d. Diagrama de fluxo do sub-programa de designação do limite superior da umidade

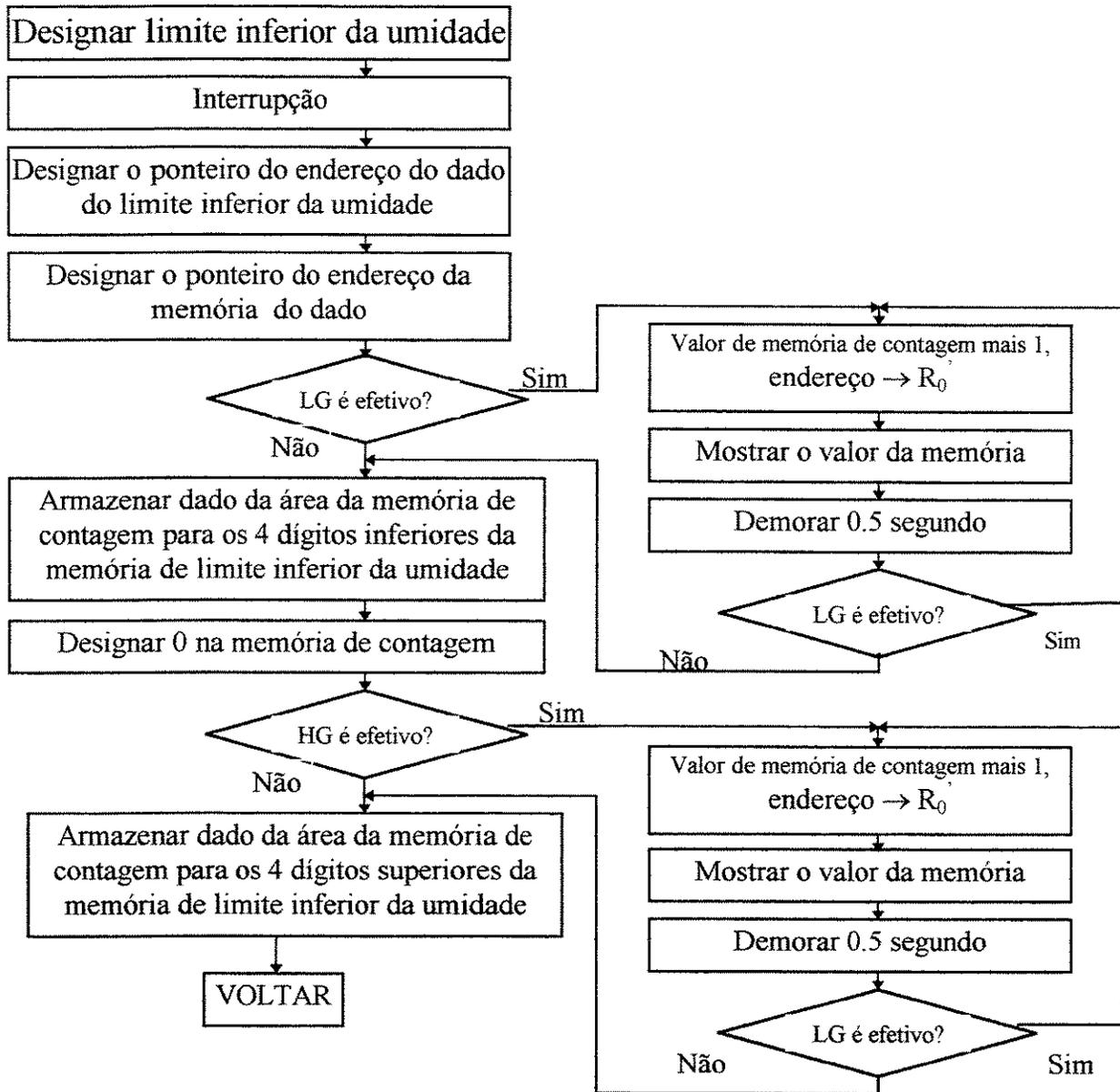


Figura 4.8.e. Diagrama de fluxo do sub-programa de designação do limite inferior da umidade

#### 4.7. Módulo de processamento de dados

O processamento de dados consiste principalmente em calcular a diferença de temperatura entre os bulbos seco e molhado, obtendo-se a umidade relativa através da consulta a uma tabela de umidade relativa, sendo a informação armazenada no buffer. Ao mesmo tempo, compara a temperatura e umidade relativa com os limites superiores e inferiores. Se os limites forem superados a programação emite um alarme e o sinal de controle correspondente.

O diagrama da sub-programação que verifica a umidade relativa é mostrado na Figura 4.10.

#### 4.8. Módulo de sub-programação de apresentação

A apresentação de dados é feita no modo de varredura dinâmica. A sub-programação precisa fornecer os dados periodicamente ao monitor. A determinação do intervalo de tempo é feita por um temporizador no MPU 8049, com 8 bits. Cada vez que há extravazamento do temporizador tem-se uma interrupção tal que o sistema entra automaticamente com a sub-programação da apresentação. Na sub-programação da apresentação, os dados no buffer de apresentação são enviados seqüencialmente ao monitor. O diagrama de fluxo do sub-programa de visualização é apresentado na Figura 4.11. O método consiste em utilizar o temporizador no MPU 8749 para determinar o intervalo de tempo e solicitar periodicamente interrupção à CPU. A programação de processamento de interrupção manda o dado para uma unidade de buffer de apresentação de forma a apresentar um bit de cada vez.

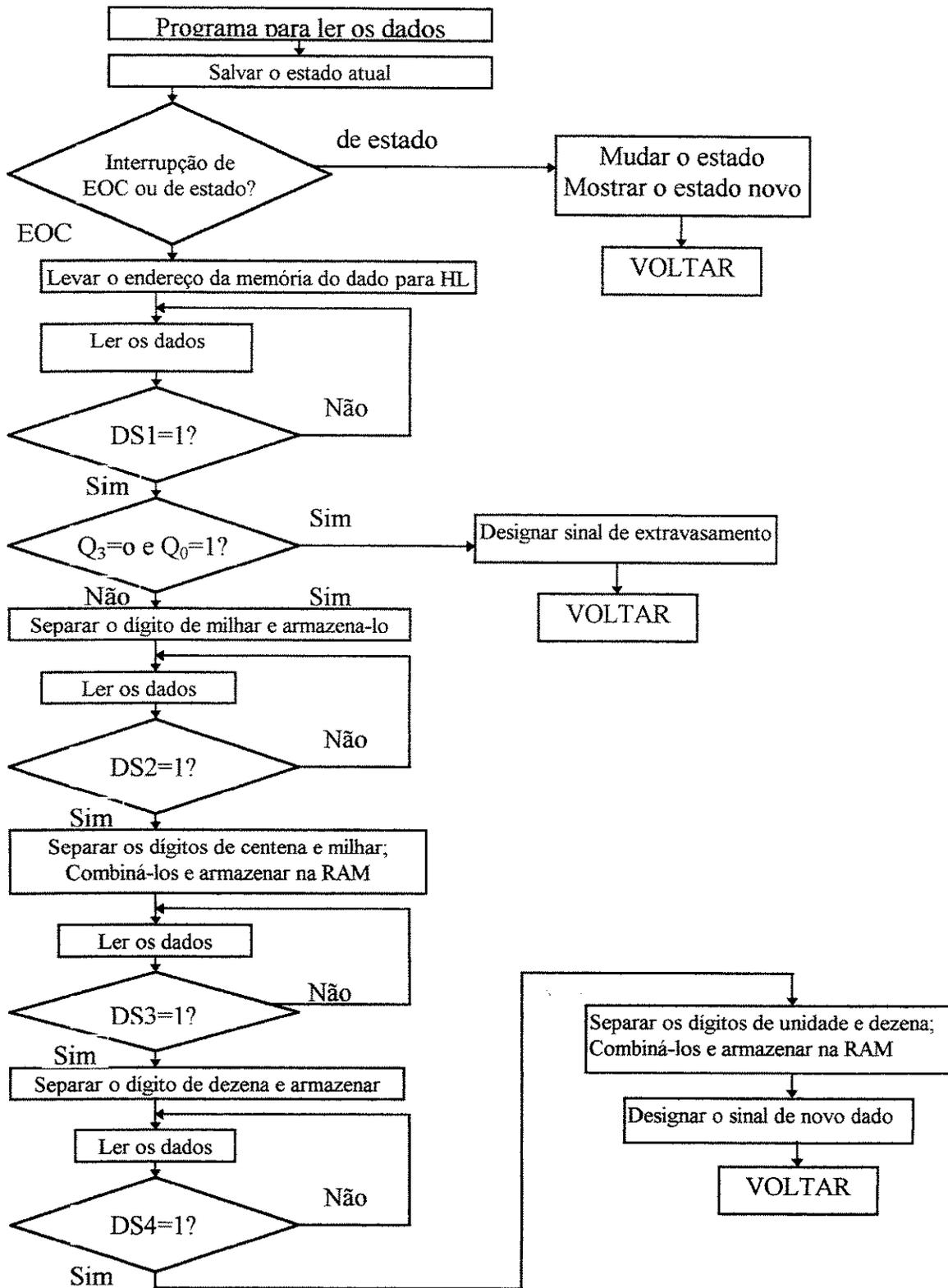


Figura. 4.9. Diagrama de fluxo de controle do módulo CD 14433

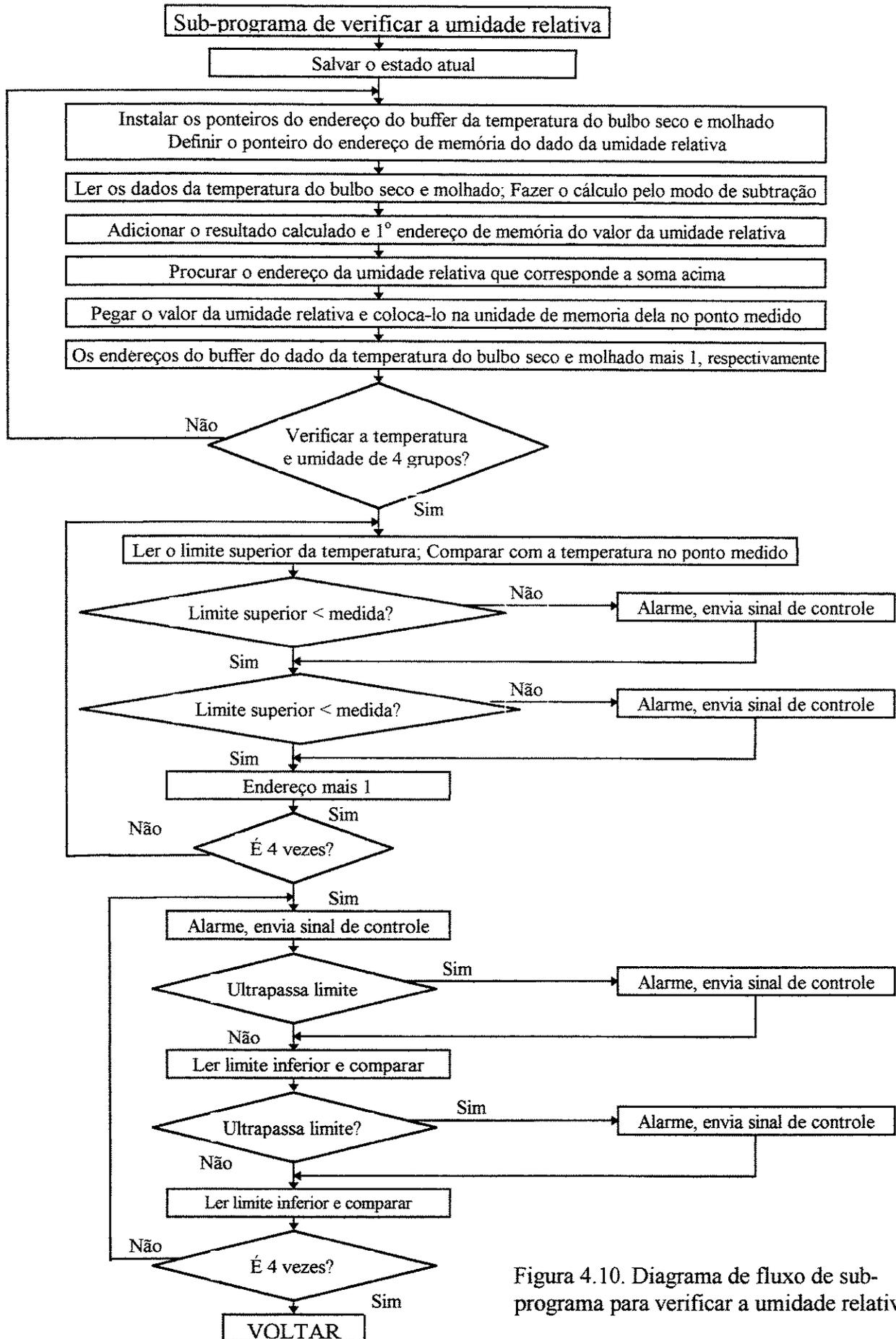


Figura 4.10. Diagrama de fluxo de sub-programa para verificar a umidade relativa

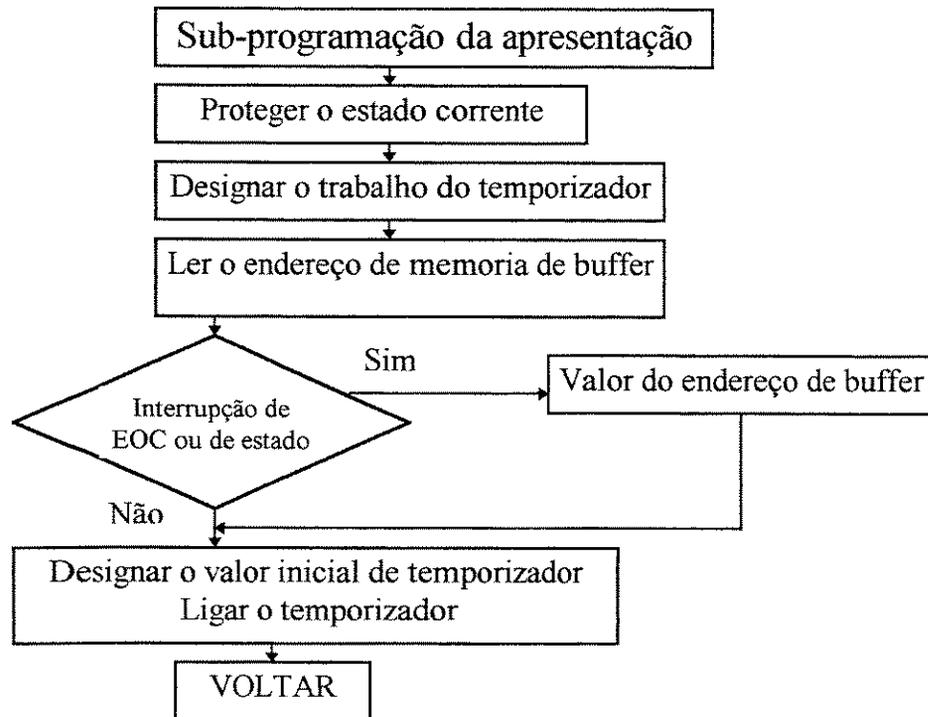


Figura 4.11. Diagrama de fluxo do envio de dados para o buffer

# Capítulo 5

## *Resultados e considerações finais*

### 5.1. Validação experimental

A medida da temperatura e da umidade no MSI é feita comparando-se os valores obtidos com padrões. A umidade é determinada pela comparação entre um termistor colocado em um bulbo completamente molhado com outro colocado em um bulbo seco. Cada termistor deve ter as mesmas dimensões. Em nosso caso utilizamos fios com diâmetro de 2,2 mm e comprimento de 15 mm. A distância entre os dois sensores é de 50 mm. A Figura 5.1 apresenta o esquema da montagem dos termistores e o MSI. O bulbo é molhado em uma solução saturada de diversos sais. A Tabela 5.1 apresenta diversos tipos de solução saturada padrão. Escolhemos comumente as soluções de  $\text{LiCl}\cdot\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaBr}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnSo}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$  que correspondem a umidades relativas de 15%, 33%, 58% e 90% [10].

Como o MSI foi otimizado indicado para utilização num armazém de alimentos frescos, no qual em geral, a temperatura é positiva, a temperatura do bulbo de umidade constante é escalada em 0 °C, 10 °C, 20 °C. Depois de 2 horas de colocado o sensor na caixa de umidade constante, isto é, quando o ambiente de umidade está constante, lemos o resultado de medição. Os resultados mostram que na faixa de - 40 °C a 50 °C o desvio máximo de temperatura é menor que 0,3 °C e que na faixa de umidade entre 10% e 98% de umidade relativa (UR) o desvio máximo é menor do que 1%. Os valores medidos são apresentados na Figura, 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5, respectivamente.

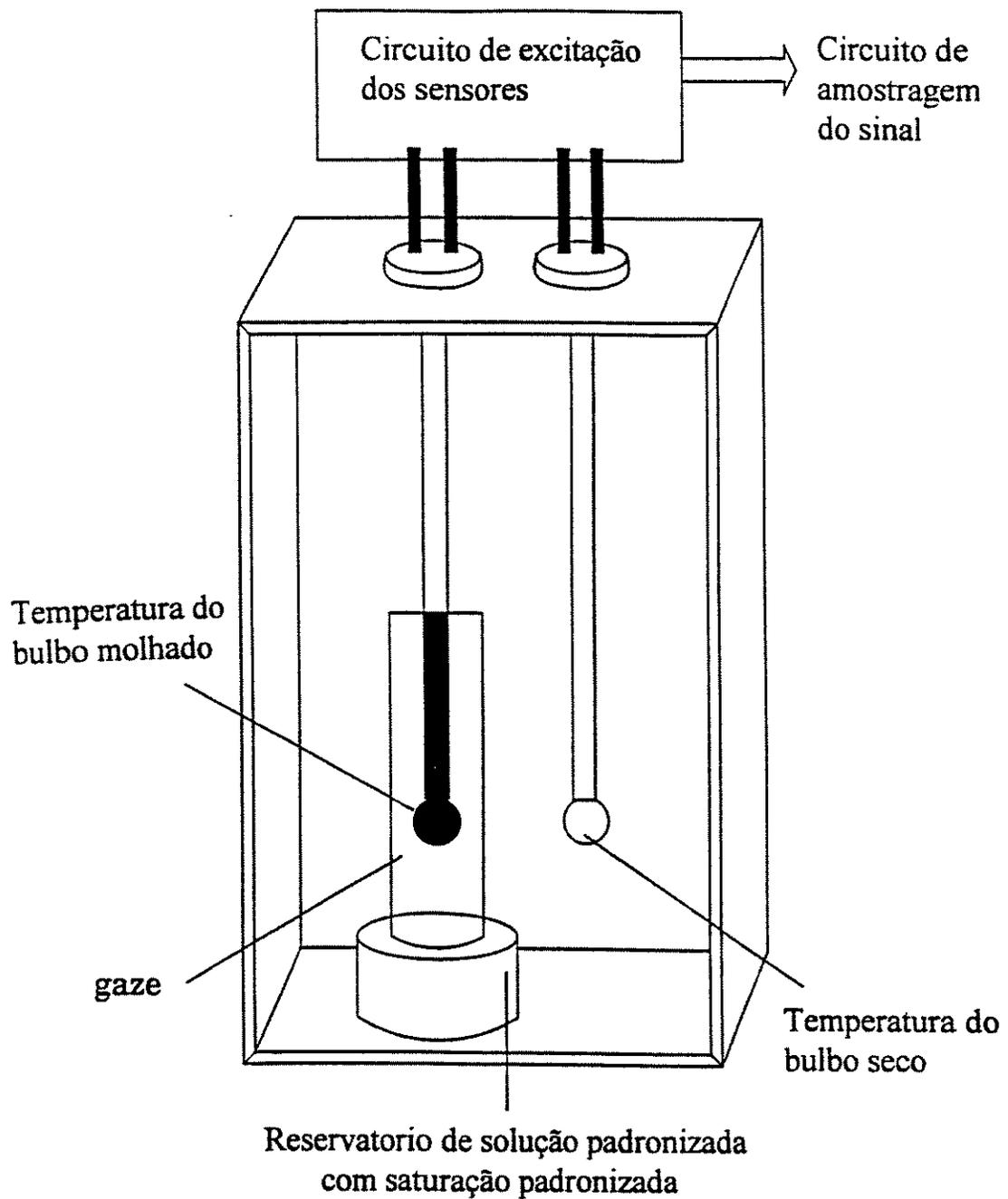


Figura 5.1. Diagrama de configuração dos sensores do MSI

Tabela 5.1. Soluções saturadas padronizadas para medida de umidade

Fase sólida	T °C	Umidade %	Aq. Tensão mmHg
LiClH <sub>2</sub> O	20	15	2,60
KC <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	20	20	3,47
C <sub>a</sub> Cl <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O	20	32,3	5,61
C <sub>r</sub> O <sub>2</sub>	20	35	6,08
Z <sub>N</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O	20	42	7,29
NaHSO <sub>4</sub> •H <sub>2</sub> O	20	52	9,03
Na <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> •4H <sub>2</sub> O	20	52	9,03
NaBr <sub>2</sub> •2H <sub>2</sub> O	20	58	10,1
Mg(C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> •4H <sub>2</sub> O	20	65	11,3
NH <sub>4</sub> Cl and KNO <sub>3</sub>	20	72,6	12,6
NaC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> •3H <sub>2</sub> O	20	76	13,2
NH <sub>4</sub> Cl	20	79,5	13,8
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20	81	14,1
KBr	20	84	14,6
KHSO <sub>4</sub>	20	86	14,9
K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	20	88	15,3
ZnSO <sub>4</sub> •7H <sub>2</sub> O	20	90	15,6
NaBrO <sub>2</sub>	20	92	16,0
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> •10H <sub>2</sub> O	20	93	16,1
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> •7H <sub>2</sub> O	20	95	16,5
CuSO <sub>4</sub> •5 H <sub>2</sub> O	20	98	17,0

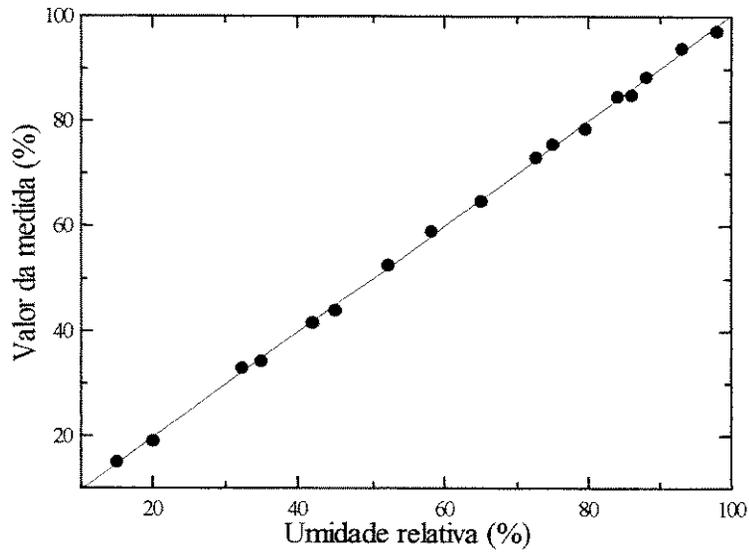


Figura 5.2. Resultado do experimento de medida da umidade pelo MSI

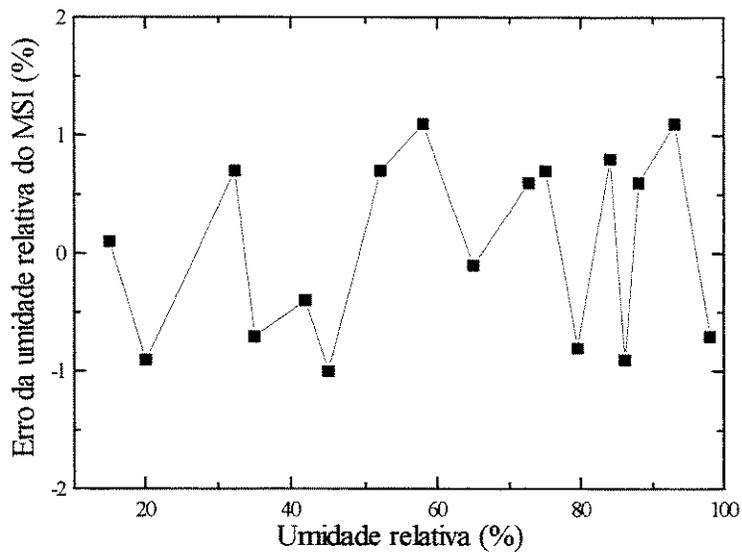


Figura 5.3. Resultado do erro na medida da umidade pelo MSI

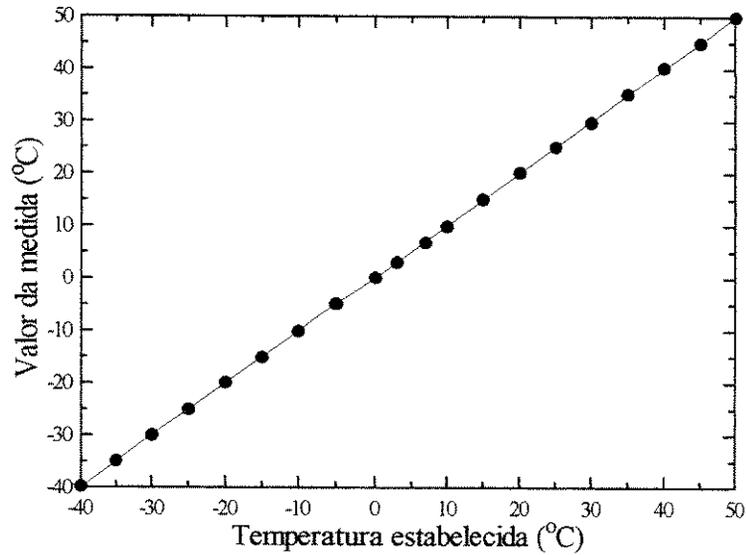


Figura 5.4. Resultado do experimento de medida de temperatura pelo MSI

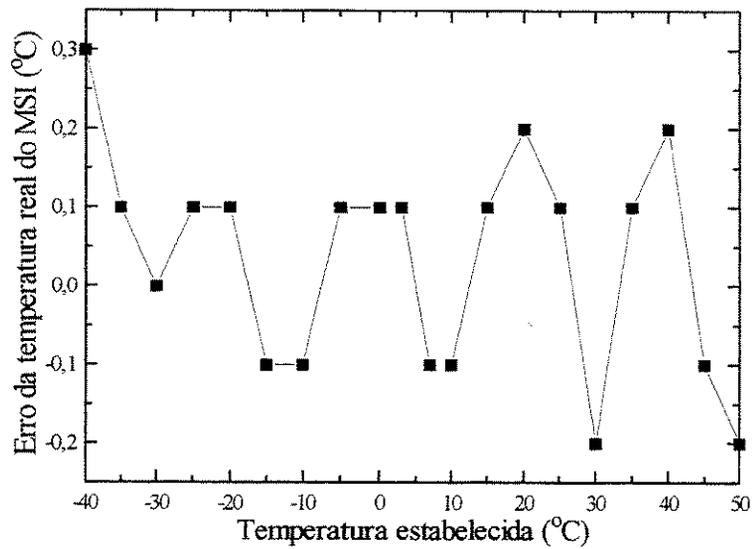


Figura 5.5. Resultado do erro nas medidas da temperatura pelo MSI

## 5.2. Aplicação prática do MSI

No capítulo 1, apresentamos o MSI como uma unidade para um sistema de controle de armazenamento automatizado. Uma aplicação deste sistema é no estoque de alimentos frescos. Pode-se controlar, por exemplo, 40 armazéns com diversas capacidades e em locais diferentes. A condição de utilização em cada armazém é definida pelos produtos a serem armazenados. Com quatro armazéns forma-se um grupo, que tem seu número endereço de controle por um MSI. No total utilizamos 10 MSI para conexão com o computador central, formando uma rede circular de comunicação. Como apresentado na Figura 3.12.

Os limites da temperatura e umidade de cada armazém são definidos pelo computador central. Primeiro, o computador central solicita informações do número de grupos de armazéns. Quando recebe a resposta, manda os valores dos limites de temperatura e de umidade para cada um dos armazéns. Estes limites dependem dos produtos armazenados. Por exemplo, o primeiro grupo com 4 armazéns pode armazenar legumes, e o segundo grupo armazenar frutas, e os demais 8 armazenarem carne. Através dos limites definidos pelo computador central, o MSI determina os limites da temperatura e umidade de cada sistema, bem como controla diretamente o ar condicionado em cada armazém.

Como exemplo, para descrever o funcionamento do MSI utilizamos um grupo com armazenamento de frutas. Quando o computador central reconhece que neste grupo, no 1° e no 2° armazéns ficam uvas, no 3° e 4° pêras, ele envia os limites da temperatura e umidade necessários ao armazenamento. Com estes valores de limites, o MSI determina para os armazéns 1° e 2° com limites da temperatura entre 1°C e 4 °C, com umidade relativa entre 80% e 85% e, para os armazéns 3° e 4° com limites da temperatura entre 3°C e 6 °C e da umidade relativa entre 80% e 85%. Depois de 20 dias de controle com o MSI as frutas descartadas são menos que 0,5%. Sem o sistema de MSI as perdas de armazenamento chegam a 1,5%. Além disso, o sistema sem MSI precisa de 4 pessoas para controlar os 4 armazéns enquanto que, com os MSI, somente uma pessoa é suficiente para observar o sinal de alarme. Estes números evidenciam as vantagens do emprego do sistema MSI.

## 5.3. Conclusões

Os resultados de aplicação pratica mostram que o MSI é um bom sistema. Como ele é um equipamento independente, pode ser utilizado tanto como um instrumento de medição da temperatura e umidade, quanto como uma parte de um sistema completo , junto com outros equipamentos através da interface de comunicação. Por exemplo, no transporte de cargas com temperatura constante, no uso residencial, etc. O MSI é fácil de conectar com outros equipamentos para construir os sistemas de medição e controle mais complexos, com várias funções.

Porém, como a medição de umidade do MSI é baseada no método do bulbo seco e bulbo molhado, ele requer a medição simultaneamente do bulbo seco e do bulbo molhado. A dificuldade é manter o bulbo sempre molhado. O administrador tem que verificar sempre o estado das amostras de algodão (gaze) que por higroscopia levam a umidade até o bulbo. Isto complica um pouco o usuário, bem como elimina a possibilidade da utilização completamente automática deste método. Neste sentido, estamos trabalhando no desenvolvimento de outro tipo de sensor para medir diretamente a umidade absoluta no ar, através da relação do parâmetro entre a dispersão de calor de materiais e tipo e estado do meio no ambiente, utilizando a relação entre a inércia do termistor e meio ambiente. Este tipo de sensor além de poder superar o de bulbo em qualidade, poderá também medir indiretamente a velocidade de fluxo do ar [11]. O MSI poderá estender sua área de aplicações. Com este novo MSI a transmissão das informações pode ser feita via rádio ou satélite. Desta forma este novo sistema poderá ser aplicado na previsão meteorológica remota, com controle independente. Com isto, por exemplo, as previsões meteorológicas poderão ser aprimoradas.

Enfim, o trabalho desta tese representa um primeiro passo para automatização industrial de medidas e controle independentes de temperatura e umidade.

## *Lista dos principais componentes*

- C 1403: ZENER
- CD14433: Conversor A/D.
- 74LS74: Flip-Flop de registro. (*Double D type flip flop with clear and preset.*)
- 74LS00: Operador (*quad two input NAND gates*).
- MC8749: Microprocessador (*Microcomputer chip*).
- 8243: Extensão da interface de entrada e saída.
- CD1413: Driver.
- 74LS124: *Dual voltage controlled oscillator with enable.*
- 8212: *Latch register de dados (LR).*
- 2716: EPROM (*electrically programable read only memory*) 2K×8.
- 74LS138: *1 of 8 decoder multiplexer.*
- 74LS07: HEX Buffer/ Driver.
- NE1555: Temporizador (*Timers*).
- CD4511: BCD decoder (*BCD to 7 Segment Latch Decoder Driver*)
- 8251: Interface de comunicação (*Universal Synchronous - Asynchronous Receiver - Transmitter*).
- 8291: Interface IEC-625 (*Talker/Listener, Interface chip for the IEC 625, IEEE - 488 Bus*).
- 8292: Controlador de linha principal.
- 8293: Transceptor de driver (*Bus - transceiver*).
- 74LS367: *Hex buffer 2 bit and 4 bit enable.*

## Referência

1. C. J. Joseph, *Designing Microprocessor based Instrumentation*, Reston Pub. Co, 1982.
2. T. Grandke and W. H. Ko, *Sensors A Comprehensive Survey*, Vol.1, Fundamentals and General Aspects, VCH Publishers, New York, 1989.
3. T. Furukawa and G. Matsumoto, *Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 1, IM-24, N° 3, Sept. 1975.
4. S. T. Ichinose, and S. Mizumura, *Ventilated Psychrometer*, Trans. Soc. Instrum. Control. Eng.(Japan) Vol.9, 499-503, Oct. 1973.
5. T. Tozawa, *Wet and dry plate hygrometer*, J. Soc. Instrum. Control. Eng.(Japan), Vol. 2, 182-185, May 1963.
6. P. Kawakami and R. M. Carthy, *Signetics Logic-TTL-Specifications - Military Summary DATA manual*, Copyright Signetics Corporation, 1978.
7. *Tel MCS-48 Family of Single Chip Microcomputer User's Manual*, Intel Corporation, Santa Clara, CA, 1978.
8. L. C. Eggebrecht, *Interfacing to the IBM Personal Computer*, Howard W. Sams & Co, A Division of Maemillan, June, 1986.
9. J. A. Titus, C. A. Titus, P. R. Pong, D. G. Larsen, *Microcomputer Analog Converter Software and Hardware Interfacing*, Howard W. Sams & Co. 1979.
10. D. R. Lide, *Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press, 1991.
11. J. Hesse, J. H. Zemel, W. Gopel. *Sensors: A Comprehensive Survey*, VCH Verlagsgesellschaft, Vol.4, 1990.