

PAULO RAIMUNDO PINTO

**INSTRUMENTOS DIGITAIS ENDEREÇÁVEIS COM BASE NA
TECNOLOGIA 1-WIRE™**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P659i
2005

Pinto, Paulo Raimundo, 1961-
Instrumentos digitais endereçáveis com base na tecnologia 1-WireTM / Paulo Raimundo Pinto. – Viçosa : UFV,
2005.

xiv, 92f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: José Helvécio Martins.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 85-86.

1. Meteorologia agrícola. 2. Instrumentos meteorológicos. 3. Sensoriamento remoto. 4. Java (Programa de computador). I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 630.2515

PAULO RAIMUNDO PINTO

**INSTRUMENTOS DIGITAIS ENDEREÇÁVEIS COM BASE NA
TECNOLOGIA 1-WIRE™**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada em: 29 de julho de 2005.

Prof. Paulo Marcos de Barros Monteiro
(Conselheiro)

Prof. Ricardo Capúcio Resende

Prof. Sávio Augusto Lopes da Silva

Prof. Evandro de Castro Melo

Prof. José Helvécio Martins
(Orientador)

Aos meus pais Maria Onésia Pinto e Antônio Matias Pinto
(*in memoriam*),

A toda minha família,

DEDICO.

À minha querida Rita Nogueira,

Aos meus colegas e alunos do CEFET, Ouro Preto,

OFEREÇO.

AGRADECIMENTO

A Deus, por permitir-me alcançar mais este objetivo.

Aos meus pais Maria Onésia Pinto e Antônio Matias Pinto (*in memoriam*), por estarem sempre comigo.

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela acolhida.

Aos meus amigos e colegas da Pós-Graduação na UFV, Daniela de Carvalho Lopes, Antônio José Steidle Neto, Cláudia Valéria Cabral e José Eduardo Monte pela amizade, pelos ensinamentos e pela valiosa colaboração na elaboração desta tese.

Ao Professor e Orientador José Helvécio Martins e ao Professor Paulo Marcos Barros Monteiro, pelo apoio e compreensão, principalmente em função da minha dupla jornada, docência no Centro Federal de Educação Tecnológica de Ouro Preto e Mestrado na Universidade Federal de Viçosa.

Ao funcionário do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Sr Joel de Freitas Gomes, pela prestimosa colaboração.

Aos meus queridos irmãos, irmãs e demais familiares, por sempre me apoiarem e me incentivarem durante todos os momentos de minha vida.

À minha querida Rita pelo amor e compreensão em todos os momentos, em especial durante a realização deste Curso.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram neste trabalho.

BIOGRAFIA

PAULO RAIMUNDO PINTO, filho de Maria Onésia Pinto e Antônio Matias Pinto, nasceu em Ouro Preto, Estado de Minas Gerais, em 10 de dezembro de 1961.

Em 1977, iniciou o Curso de Eletrotécnica no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, em Belo Horizonte, graduando-se em 1979.

Em 1980, iniciou suas atividades profissionais atuando na área de manutenção em empresas de transporte ferroviário, automação industrial, indústria siderúrgica, indústria de revestimentos cerâmicos e mineração, em cargos de planejamento, execução e gerenciamento.

Em 1981, iniciou o Curso de Engenharia Elétrica na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), em Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais, graduando-se em dezembro de 1985.

Em março de 1994, iniciou a carreira de Docência no Curso de Instrumentação Eletrônica e Controle de Processo, onde ministra aulas, até o presente momento, de Eletrônica Analógica e Digital, Automação, Controladores e Sensores.

Em agosto de 2003, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola na UFV, na área de Energia, do Departamento de Engenharia Agrícola, defendendo tese em julho de 2005.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE EQUAÇÕES	x
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Sistema <i>1-Wire</i> TM	4
3.1.1. Alimentação	6
3.1.1.1 Alimentação parasita	7
3.1.1.2 Alimentação com fonte externa	8
3.1.2. Memória ROM de 64 bis gravada a laser	8
3.1.3. Verificação de redundância cíclica	9
3.1.4. Protocolo de comunicação	10
3.2. Interface entre <i>1-Wire</i> TM e computador	12
3.3. Conversor analógico-digital	15
3.3.1. Introdução	15
3.3.2. Generalidades – CAD DS2438	16
3.3.2.1 Características elétricas do CAD DS2438	19
3.3.3. Seqüência de transmissão de dados	21
3.3.3.1 Inicialização	21
3.3.3.2 Comandos da função ROM	21
3.3.3.3 Comandos da função Memória	27
3.3.3.4 Mapa da memória	32
3.3.3.5 Transferência de dados	33
3.3.3.6 Seqüência de acesso	35

3.4. Contador	36
3.4.1. Introdução	36
3.4.2. Generalidades – O Contador DS2423	36
3.4.2.1 Características elétricas do Contador DS2423	39
3.4.3. Seqüência de transmissão de dados	40
3.4.3.1 Inicialização	40
3.4.3.2 Comandos da função ROM	40
3.4.3.3 Comandos da função Memória	44
3.4.3.4 Mapa da memória	48
3.4.3.5 Transferência de dados	50
3.4.3.6 Seqüência de acesso	50
4. MATERIAL E MÉTODOS	52
4.1. Introdução	52
4.2. Desenvolvimento do programa computacional	54
4.3. IDE para Medição de Precipitação Pluviométrica	56
4.4. IDE para Medição da Direção do Vento	59
4.5. IDE para Medição da Velocidade do Vento	61
4.6. IDE para Medição da Temperatura Ambiente	63
4.7. IDE para Medição da Umidade Relativa do Ar	63
4.8. IDE para Medição da Radiação Solar	66
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5.1. Sistema de aquisição de dados	68
5.2. Testes experimentais para calibração e ajustes dos IDE	70
5.2.1. Precipitação pluviométrica	70
5.2.2. Direção do vento	71
5.2.3. Velocidade do vento	72
5.2.4. Temperatura ambiente	74
5.2.5. Umidade relativa	76
5.2.6. Radiação solar	78

6. RESUMO E CONCLUSÕES	82
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	84
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
9. APÊNDICE A	87

LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	- Circuito básico do Conector DS1411	4
2	- Código de identificação dos dispositivos	6
3	- Circuito básico do sistema de alimentação parasita	7
4	- Circuito básico do sistema de alimentação com fonte externa	8
5	- Gerador de código de CRC do sistema <i>1-wire</i> TM	10
6	- Níveis lógicos do sistema <i>1-wire</i> TM	11
7	- Seqüência de comunicação entre o mestre e um escravo	11
8	- Esquema de ligação convencional do sistema de barramento <i>1-wire</i> TM	12
9	- Esquema do circuito da interface <i>1-wire</i> TM e computador	13
10	- Terminais do conversor A/D DS243817	17
11	- Diagrama de blocos para o CI DS2438	18
12	- Lógica de execução das funções de memória de apenas leitura (ROM)	22
13	- Lógica de funcionamento dos comandos de função de memória	28
14	- Mapa de memória para o DS 2438	32
15	- Pulsos de escrita e leitura	34
16	- Terminais do contador DS2423	37
17	- Diagrama de blocos para o CI DS2423	38
18	- Lógica de execução das funções de memória de apenas leitura (ROM)	41
19	- Lógica de funcionamento dos comandos da função de memória	45
20	- Mapa de memória para o DS2423	49
21	- Circuito integrado DS2438 montado em placa para testes	53
22	- Circuito integrado DS2423 montado em placa para testes	53
23	- Fluxograma básico para o programa computacional	53
24	- Tela principal do programa com as indicações dos seis IDE	55
25	- Circuito básico de um IDE que incorpora um contador DS2423 com um interruptor magnético	56

26	- Conjunto com reservatório reclinável para medição de precipitação pluviométrica e o coletor de chuva	57
27	- Circuito básico de um IDE com um codificador incremental	59
28	- Detalhes do disco com ímãs e interruptores magnéticos para medição da direção do vento	60
29	- Circuito básico de um IDE que incorpora um CAD DS2438 com um tacômetro	61
30	- Tacômetro utilizado para medição da velocidade do vento	62
31	- Sensor de umidade relativa HIH-3610 – Foto e dimensões	63
32	- Tensão de saída do HIH-3610 em função da umidade relativa do ar	64
33	- Circuito básico de um sensor para medição de umidade relativa com base no DS2438	65
34	- Circuito básico de um sensor para medição de radiação solar com base em uma célula fotovoltaica	66
35	- Vista superior da célula solar fotovoltaica	67
36	- Diagrama esquemático para ligação da rede <i>1-wire™</i>	68
37	- Tela principal do programa computacional de aquisição de dados	69
38	- Medidor de velocidade do ar AVT-55	72
39	- Ponta sensora do medidor de velocidade do ar AVT-55	72
40	- Comparação entre dados experimentais e estimados	74
41	- Comparação entre leituras de um termômetro padrão e o sensor de temperatura do DS2438	76
42	- Comparação entre leituras de um psicrômetro padrão e o sensor de umidade relativa do ar	78
43	- Piranômetro do tipo termopilha com 5% de precisão	79
44	- <i>Data Logger</i> para coleta de dados do piranômetro tipo termopilha	79
45	- Comparação entre dados experimentais e estimados para radiação solar	81

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação	Título	Página
1	- Verificação de redundância cíclica	9
2	- Cálculo do tempo para deduzir um código	26
3	- Precipitação pluviométrica	57
4	- Umidade relativa com temperatura fixa em 25 °C	65
5	- Umidade relativa corrigida em função da temperatura ambiente	65
6	- Velocidade do vento	74
7	- Radiação solar	80

LISTA DE TABELAS

Tabela	Título	Página
1	- Código de identificação de Memória ROM de 64 bits gravada a laser	9
2	- Descrição dos terminais do CI DS 2438	17
3	- Características elétricas para faixa de temperatura de -40°C a 85°C e tensão $2,4V \leq V_{DD} \leq 10,0V$	19
4	- Características do Termômetro digital incorporado ao DS2438	19
5	- Características elétricas dos conversores A/D DS2438	20
6	- Conjunto de comandos de memória do DS2438	27
7	- Seqüência de comandos de conversão de temperatura, tensão e corrente	35
8	- Descrição dos terminais do CI DS 2423	37
9	- Características elétricas (-40 °C a 85 °C; $2,4V \leq V_{BAT} \leq 10,0V$)	39
10	- Conjunto de comandos de memória do DS2423	44
11	- Seqüência de comandos para um DS2423	51
12	- Características técnicas do Pluviômetro de báscula	71
13	- Características técnicas do Medidor de direção do vento	71
14	- Leituras do tacômetro e do Medidor de velocidade do ar AVT-55	73
15	- Leituras do termômetro padrão e do sensor de temperatura do DS2438	75
16	- Leituras do Psicrômetro e do IDE para medir umidade relativa	77
17	- Leituras da termopilha e da Célula fotovoltaica	80

RESUMO

PINTO, Paulo Raimundo, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2005.
Instrumentos Digitais Endereçáveis com Base na Tecnologia 1-Wire™.
Orientador: José Helvécio Martins. Conselheiros: Paulo Marcos de Barros Monteiro e Delly Oliveira Filho

A necessidade de continuar a desenvolver sistemas baseados na tecnologia *1-wire™* da *Dallas Semiconductor* motivou a realização desse trabalho, visto que, em trabalhos anteriores, apenas o sensor de temperatura foi utilizado e já foi comprovada a operação da rede de comunicação de dados com alta confiabilidade e baixo custo. A partir disso, utilizou-se o sistema *1-wire™* da *Dallas Semiconductor* para realizar a aquisição de dados em tempo real através de vários componentes diferentes, chamados escravos, ligados ao computador, chamado de mestre, por apenas três condutores. Esse sistema opera como uma rede de comunicação de dados de baixo custo e alta confiabilidade, com um mestre e múltiplos escravos, saída em dreno aberto e um resistor de polarização (*pull up resistor*) alimentado por uma fonte de corrente contínua de 5V. A *Dallas Semiconductor* disponibiliza no mercado vários sensores em circuitos integrados, e, também, conversores analógico-digitais que ampliam consideravelmente a variedade de dados a serem adquiridos. Para validar o sistema, optou-se por experimentar os dados de uma estação meteorológica: precipitação pluviométrica, direção do vento, velocidade do vento, temperatura do ar ambiente, umidade relativa e radiação solar. A realização dos testes iniciais para validação do sistema foi feita através de montagens mecânicas com material reutilizável, exceto o instrumento para medição de precipitação pluviométrica que foi testado, por enquanto, através de equipamento industrializado. O programa computacional desenvolvido baseou-se em programas exemplo e bibliotecas disponibilizadas pela *Dallas Semiconductor* via rede mundial de computadores, INTERNET, o que contribuiu para a realização da aquisição de dados com segurança e confiabilidade, pois a partir de um único comando são acionadas rotinas de teste para transmissão, decodificação e leitura final do dado.

ABSTRACT

PINTO, Paulo Raimundo, M.S., Universidade Federal de Viçosa, July 2005.
Digital Instruments Addressed with base in the 1-Wire™ Technology.
Advisor: José Helvécio Martins. Committee members: Paulo Marcos de Barros Monteiro and Delly Oliveira Filho.

The motivation of this work is remained in the necessity of developing new systems based on the *1-wire™* technology of the Dallas Semiconductor. Previous studies have shown that sensors of temperature can operate into a data communication network environment and can provide results with high performance and low costs. The system *1-wire™* from Dallas Semiconductor was used in order to acquire real time data from some different components, which were called slaves or masters when connected to the computer or to three conductors, respectively. The system operates with one master and multiple slaves, output in opened channel and a pull up resistor fed by a continuous current supply power of 5V. The Dallas Semiconductor sells sensors in integrated circuits and also analogical to digital converters, which are capable of amplifying the amount of data to be acquired. In order to validate the system, typical parameters from meteorological units were experimentally varied, such as: rainfall, wind direction, wind speed, environment temperature, relative humidity and solar radiation. The achievement of the first tests to validation system was made by mechanical assemblies with reusable materials except the instrument for rainfall measurement that was assayed, for while, through industrialized equipment. The developed software was based on tutorials and libraries available by Dallas Semiconductor, which was downloaded by Internet access. The data acquisition with safety and reliability was facilitated through a sole command, which is responsible by test routines for transmission, decodification and final reading of data.

1- INTRODUÇÃO

Os sistemas de instrumentação, automação e controle têm se apoiado cada vez mais em redes de comunicação com instrumentos endereçáveis, seja pela crescente complexibilidade dos processos, seja pela distribuição geográfica que se tem acentuado nas novas instalações agrícolas. Assim, praticamente, não têm sido implementados sistemas que não incluam alguma forma de comunicação de dados, seja local, através de redes de comunicação, seja remota, por sistemas específicos para aquisição, supervisão e controle de processos.

Embora essa disseminação de aplicação de redes de comunicação seja recente, têm sido desenvolvidos diferentes esquemas de comunicação de dados, buscando sempre estruturas que garantam a segurança na transmissão dos dados, bem como a velocidade de comunicação. Um modelo bastante abrangente para os vários requisitos de comunicação é o de três níveis diferentes:

1. Nível de informação: caracterizado por grandes volumes de troca de dados com constantes de tempo da ordem de grandeza de segundos (tempo não crítico);
2. Nível de automação e controle: caracterizado por volumes moderados de dados com constantes de tempo da ordem de grandeza de centenas de milissegundos. Orientado para integração entre unidades inteligentes, de natureza diversa, aplicações de característica contínua, de baixa velocidade e alta segurança, opera com mensagens complexas, com razoável nível de informações de diferentes propósitos;
3. Nível de dispositivos de campo: caracterizado por volumes menores de dados com constantes de tempo da ordem de grandeza de dezenas de milissegundos (tempos de resposta muito curtos). Orientado a sensores e atuadores tipicamente de natureza discreta. As ações são executadas no nível dos dispositivos, sem necessidade de interação com níveis superiores.

Difícilmente uma única rede de comunicação local poderá atender a todos os três níveis, havendo, em geral, uma implementação de diferentes redes para atender cada característica específica. De forma geral, quando se está analisando o desempenho da rede, é usual colocar-se como primeira questão qual é a taxa de transmissão de *bits*, para, depois, inquirir sobre o protocolo usado e, finalmente, sobre os mecanismos de troca de dados.

A camada de enlace, responsável pelo mecanismo de entrega de pacotes, tem sido implementada tradicionalmente em redes de comunicação com a estrutura origem/destino. Essa implementação agrega a cada mensagem enviada o endereço da estação de destino.

Redes mais recentes usam um modelo diferente para implementar a camada de enlace, chamado mestre/escravo. Esta implementação está baseada no conceito de que alguns dispositivos são produtores de informações e outros são consumidores dessas. Nessa implementação, quando um produtor disponibiliza sua informação, essa é colocada na rede disponível para todos os dispositivos que sejam seus consumidores ao mesmo tempo, reduzindo o número de mensagens a serem emitidas, bem como reduzindo o próprio tamanho da mensagem, uma vez que não será necessário incluir ambos endereços de remetente e destinatário, sendo necessário tão somente identificar a informação a ser transmitida. Logo, o modelo mestre/escravo, empregado nas redes disponíveis no mercado mais recentemente, apresentam um modelo de rede eficiente, quanto à maximização de troca de dados, além de se ter um aumento da flexibilidade da rede.

O número de dispositivos ligados aos computadores para comunicação e instrumentação aumenta continuamente e, normalmente, o fluxo de informações entre o computador e os dispositivos conectados a ele é feito por meio de cabos com múltiplos condutores que ligam e alimentam, individualmente, cada um destes dispositivos. Uma nova tecnologia, desenvolvida pela *Dallas Semiconductor* e conhecida como *1-wireTM*, possibilita uma transferência bidirecional de informação por meio de um único condutor, ao mesmo tempo em que alimenta dispositivos remotos por meio da própria linha de transmissão de dados (AWTREY, 1997).

2- OBJETIVOS

O presente trabalho será desenvolvido com os seguintes objetivos:

- a) Desenvolver e implementar um programa computacional, com base em sub-rotinas disponibilizadas na INTERNET pela *Dallas Semiconductor*, para realizar aquisição de dados em tempo real utilizando dispositivos da série *1-wireTM*.
- b) Com base na tecnologia *1-wireTM*, desenvolver vários instrumentos digitais endereçáveis para aplicações envolvendo medição de variáveis em processos agrícolas.

Para avaliação prática dos instrumentos endereçáveis com base na tecnologia *1-wireTM*, especificamente, esse trabalho visa ao desenvolvimento e implementação de um sistema automático de aquisição de dados para medição das seguintes variáveis:

1. precipitação pluviométrica;
2. direção do vento;
3. velocidade do vento;
4. temperatura do ar ambiente;
5. umidade relativa do ar ambiente;
6. radiação solar.

3- REVISÃO DE LITERATURA

3.1- Sistema 1-wire™

O sistema *1-wire™* é uma tecnologia de rede de comunicação de dados, também conhecida como *MicroLAN*, baseada em um computador ou em um microcontrolador. Trata-se, na realidade, de um sistema mestre-escravo com saída em dreno aberto e arquitetura de múltiplas saídas (multidrop), capaz de interligar, com apenas um condutor de dados e o condutor de referência (GND), dispositivos da série *1-wire™* desenvolvidos pela *Dallas Semiconductor*, tais como sensores de temperatura, dispositivos de entrada e saída digitais, conversores analógico-digitais, interfaces e memórias, dentre outros.

Tal sistema pode ser alimentado por uma fonte de corrente contínua entre 3V e 5V, ligada ao condutor de dados por meio de um resistor de polarização (*pull up resistor*), no modo de alimentação parasita, ou utiliza um terceiro condutor ligado diretamente à alimentação dos dispositivos, constituindo-se o modo de alimentação a três fios. Cada dispositivo possui um código de identificação único de 64 bits (PEREIRA, 2003). Essa tecnologia elimina os gastos com condutores extras e fontes de alimentação remotas (MOTA, 2001).

Por mestre, entende-se o dispositivo que inicia, controla e conclui uma transferência de dados. Por escravo, entende-se o dispositivo endereçado e controlado pelo mestre.

Por saída em dreno aberto, entende-se um circuito com um transistor MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) que apresenta uma baixa impedância de saída, capaz de permitir, efetivamente, a circulação de corrente, fornecendo uma baixa tensão de saída, considerada como nível lógico baixo ou então apresenta uma impedância de saída muito elevada, que impede a circulação de corrente e que corresponde ao nível lógico alto, ou seja, o transistor conduz ou está em corte (MONTEIRO, 2002).

Existem outros sistemas semelhantes, embora não tão versáteis quanto este proposto pela *Dallas Semiconductor*, tais como os denominados de *I²C*, desenvolvido pela Philips (ELETRÔNICA, 2001), e *CANBAN and DeviceNet*, desenvolvidos pela *Invensys Systems* (LAW, 2001).

Nesse trabalho, utiliza-se um computador como mestre enquanto diversos circuitos integrados (CI) como o sensor de temperatura, DS1820, o conversor analógico digital (CAD) de duas entradas analógicas, DS2438 que possui incorporado a ele um DS1820, e ainda o contador duplo, DS2423, da série *1-wire™* da *Dallas Semiconductor*, funcionam como escravos.

Os dispositivos escravos são conectados ao mestre por meio de um circuito integrado DS2480, denominado acionador de linha, instalado em um conector DS1411, como mostrado na Figura 1, ambos da *Dallas Semiconductor*, que faz a alimentação e o interfaceamento do barramento *1-wire™* com a porta serial RS-232C do computador e de onde sai um condutor que, junto com um condutor de referência (GND), interliga todos os dispositivos escravos do sistema (MARTINS et al., 2002).

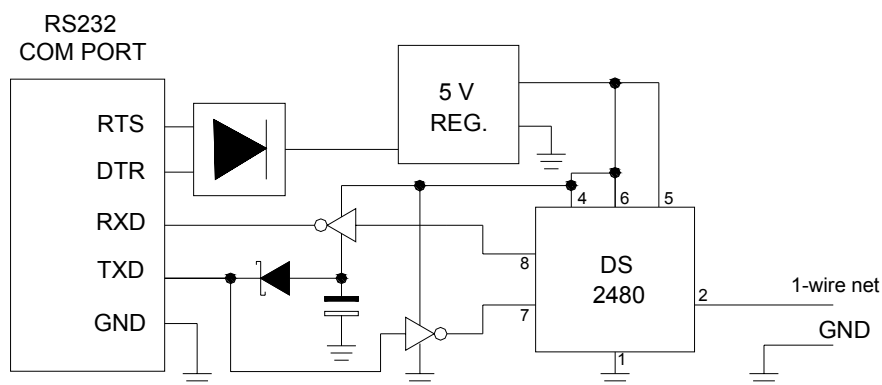


Figura 1- Circuito básico do Conector DS1411.

Cada dispositivo *1-wire™* que trabalha como escravo possui um código único de identificação de 64 bits (8 bytes) gravado a laser em uma memória ROM, definido pela própria Dallas Semiconductor e é auto temporizado por meio de seu próprio oscilador interno. Como cada dispositivo *1-wire™* possui seu próprio código de identificação, é possível conectar diversos dispositivos à mesma linha de transmissão de dados (MONTEIRO et al., 2002).

Neste código, representado na Figura 2, o primeiro byte é o que determina o código de família do dispositivo, os 6 bytes seguintes correspondem ao número de série que caracteriza o dispositivo e o último byte representa a verificação de redundância cíclica (CRC) dos sete primeiros bytes, utilizada para garantir a integridade dos dados.

A obtenção dos códigos dos dispositivos ligados a um barramento *1-wire*TM pode ser feita por um processo recursivo de procura em árvore, por meio de um programa específico, ou então, utilizando-se o programa de identificação de dispositivos WINDIAG, disponibilizado em rede Internet pela *Dallas Semiconductor*.

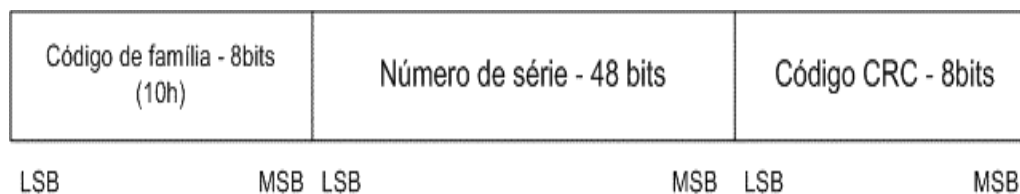


Figura 2- Código de identificação dos dispositivos.

3.1.1- Alimentação

A comunicação entre o mestre (computador) e os escravos (sensores, contadores e conversores analógico digitais) é feita por meio de condutores metálicos com funções específicas, quais sejam: suprimento de energia ao sistema, transmissão de dados e aterramento. Por definição, o sistema *1-wire*TM possui apenas um único condutor no qual são conectados todos os dispositivos da série *1-wire*TM, já que, por convenção, o condutor de referência ou aterramento não é considerado. O sistema *1-wire*TM pode ser alimentado de duas maneiras: alimentação parasita ou alimentação externa (AWTREY, 1997).

3.1.1.1- Alimentação parasita

Os dispositivos *1-wire*TM podem ser alimentados pela própria linha de transmissão de dados, por meio de um capacitor e um retificador de meia onda, embutidos em cada dispositivo, denominada alimentação parasita, conforme mostrado na Figura 3.

Sempre que a linha de transmissão de dados é colocada no nível lógico alto, por meio do resistor de polarização, o diodo do retificador de meia onda conduz e carrega o capacitor interno. Quando a tensão da linha de transmissão de dados cai abaixo da tensão do capacitor, o diodo fica polarizado reversamente, isolando a carga. A carga armazenada no capacitor fornece, então, energia para alimentar o dispositivo escravo durante o intervalo de tempo em que a linha de transmissão de dados encontra-se no estado lógico baixo.

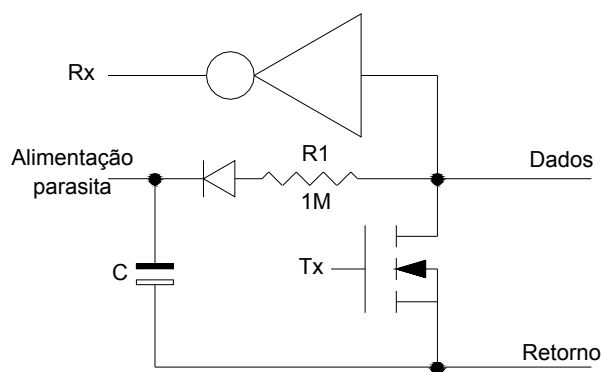


Figura 3- Circuito básico do sistema de alimentação parasita.

As vantagens da alimentação parasita são que, além de não necessitar de fonte no local para medição em pontos remotos, a memória apenas de leitura (*ROM*) pode ser lida sem necessidade de uma fonte convencional.

3.1.1.2- Alimentação com fonte externa

Os dispositivos *1-wire*TM podem, também, ser alimentados por uma fonte externa. Nesse caso, a utilização de mais um condutor (V_{CC}) torna-se necessária, a fim de fornecer alimentação a cada dispositivo. A vantagem da utilização de uma fonte externa é que, como o barramento mestre não ser mais ligado diretamente ao dispositivo, ele pode ser utilizado para transferência de outros dados durante a conversão de temperatura. A Figura 4 ilustra esse tipo de alimentação.

Além disso, quando, por exemplo, diversos DS1820 são ligados ao mesmo barramento *1-wire*TM e todos são alimentados por uma fonte externa, eles podem fazer conversões de temperatura simultaneamente.

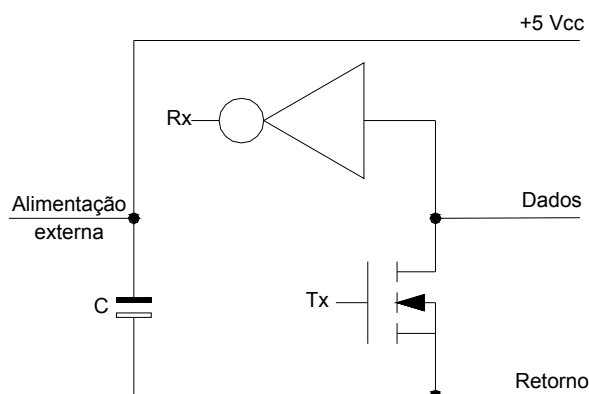


Figura 4- Circuito básico do sistema de alimentação com fonte externa.

3.1.2- Memória ROM de 64 bits gravada a laser

Cada dispositivo contém um código de identificação único com comprimento de 64 bits, gravados a laser em uma memória apenas de leitura (*ROM*). Os primeiros oito bits representam o código da família *1-wire*TM a que pertence o dispositivo. Os próximos 48 bits correspondem ao código de identificação (*serial number*) específico para cada dispositivo. Os últimos 8 bits referem-se ao verificador de redundância cíclica (*CRC*) dos primeiros 56 bits e servem para garantir a integridade dos dados transmitidos, conforme mostrado na Tabela 1.

A memória de apenas leitura (*ROM*) de 64 bits e os controles da função *ROM* permitem ao circuito integrado operar como um dispositivo *1-wire*TM e seguir os protocolos descritos no capítulo sobre o sistema *1-wire*TM.

Tabela 1- Código de identificação de Memória ROM de 64 bits gravada a laser

CRC - 8 bits		Identificação – 48 bits		Família – 8 bits	
msb	lsb	msb	lsb	msb	lsb

3.1.3- Verificação de redundância cíclica - CRC

O controle de redundância cíclica (CRC) é um número decorrente de um conjunto de dados a serem transmitidos. Depois da transmissão, este valor deve ser recalculado e comparado com o valor original a fim de detectar se houve algum tipo de erro na transmissão. Cada dispositivo *1-wire*[™] tem um CRC de 8 bits armazenado no byte mais significativo da ROM de 64 bits gravada a laser.

O barramento mestre pode calcular um valor CRC a partir dos 56 primeiros bits da ROM de 64 bits e compará-lo com o valor armazenado no dispositivo *1-wire*[™] para determinar se o conteúdo desta foi recebido livre de erros. A função polinomial equivalente desse controle de redundância cíclica é:

$$\text{CRC} = X^8 + X^5 + X^4 + 1 \quad (1)$$

Cada dispositivo *1-wire*[™] também gera um valor de CRC de 8 bits usando a mesma função polinomial da Equação (1) e fornece esse valor ao barramento mestre para validar a transferência de dados. Quando o CRC é usado para validação de transferência de dados, o barramento mestre deve calcular um valor de CRC, utilizando a Equação (1) e comparar esse valor ao valor de CRC de 8 bits armazenado no byte mais significativo da ROM de 64 bits do dispositivo *1-wire*[™], ou com o valor de CRC de 8 bits interno do dispositivo *1-wire*[™], que é lido como o nono byte quando se lê o conteúdo da memória de rascunho (*scratchpad*). A comparação dos valores de CRC e a decisão de continuar ou não a operação é determinada pelo barramento mestre. Não há circuito interno ao dispositivo *1-wire*[™] que evite uma seqüência de prosseguir se o valor de CRC calculado ou armazenado no dispositivo *1-wire*[™] não coincidir com o valor gerado pelo barramento mestre.

O controle de redundância cíclica (CRC) do sistema *1-wire*[™] pode ser gerado utilizando-se um gerador polinomial constituído por um registrador de deslocamento e portas OU exclusivo (XOR), conforme mostrado na Figura 5.

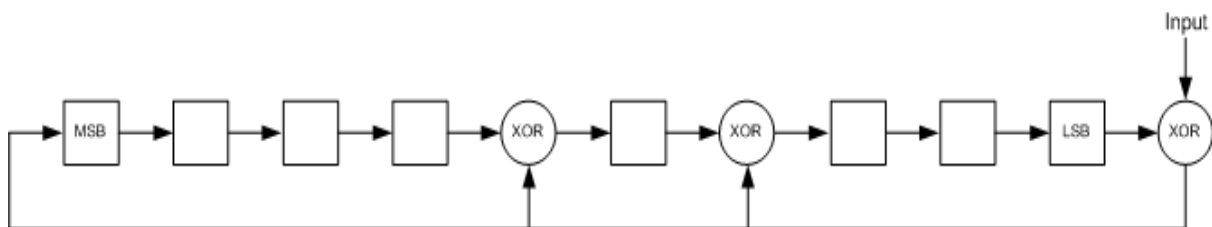


Figura 5- Gerador de código de CRC do sistema *1-wire*TM.

Os bits do registrador de deslocamento são inicializados com zeros. Então, iniciando-se pelo *bit* menos significativo do código de família, um *bit* é deslocado de cada vez. Após o oitavo bit do código de família ter entrado, os 48 bits referentes ao código de identificação do dispositivo são transferidos. Então, o registrador de deslocamento contém o valor de CRC. O deslocamento dos 8 bits de CRC deve retornar todos os elementos do registrador de deslocamento para zero.

3.1.4- Protocolo de comunicação

O sistema *1-wire*TM é composto, basicamente, por três elementos:

1. O mestre e seu programa de controle;
2. Os condutores e os conectores;
3. Os dispositivos *1-wire*TM conectados a eles.

O protocolo da rede *1-wire*TM utiliza níveis lógicos CMOS/TTL convencionais, em que uma tensão igual ou inferior a 0,8V corresponde ao nível lógico baixo e tensões iguais ou superiores a 2,2V correspondem ao nível lógico alto. Tanto o mestre como os escravos são configurados como transceptores, isto é, permitem o fluxo de dados em ambas as direções, porém em uma direção de cada vez. Portanto, a transferência de dados é em via única e seqüencial a partir do bit menos significativo.

No sistema *1-wire*TM, os dados são transmitidos em função da duração do intervalo de tempo em que a linha fica no nível lógico baixo. Para se escrever um “1” lógico, o barramento é mantido no nível lógico baixo (GND) por no máximo 15µs. Para escrever um 0 lógico, o barramento é mantido no nível lógico baixo por um tempo igual ou superior a 60µs. O nível lógico baixo é definido pelo transistor MOSFET, ao passo que o nível lógico alto é obtido pelo resistor de polarização (Figura 6).

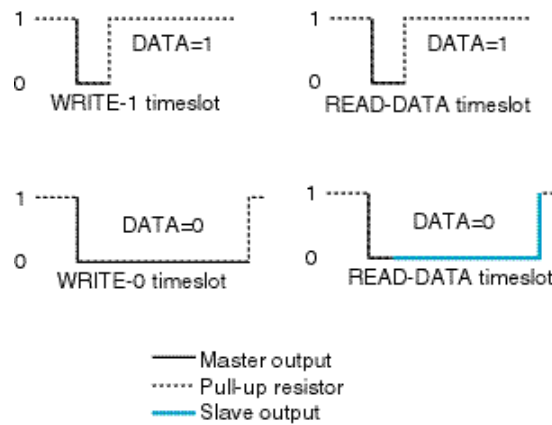


Figura 6- Níveis lógicos do sistema *1-wire*TM.

Quando em operação, o mestre inicializa a rede com um pulso de inicialização, colocando o barramento no nível lógico baixo por, pelo menos, 480 μ s. Os escravos respondem ao pulso de inicialização com pulsos de presença, com duração entre 15 μ s e 60 μ s. A seguir, o mestre acessa um determinado escravo chamando seu endereço e enviando, em seguida, um comando específico exigido pelo dispositivo. Finalmente, ocorre a transferência de dados entre eles. A Figura 7 mostra a seqüência de comunicação entre o mestre e o escravo.

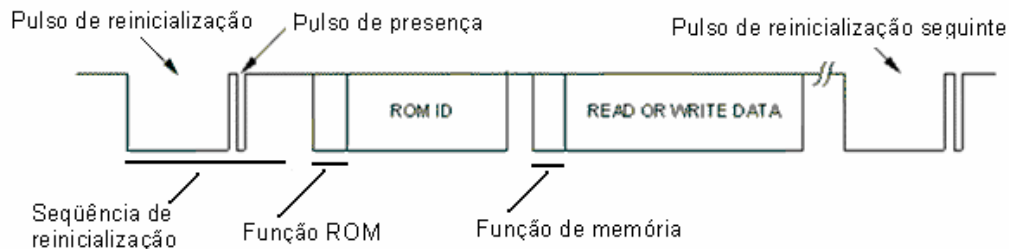


Figura 7- Seqüência de comunicação entre o mestre e um escravo.

Para funcionar, o barramento *1-wire*TM deve ser alimentado por meio de um resistor de polarização de, aproximadamente, 5k Ω , ligado ao terminal positivo da fonte de alimentação, com a finalidade de manter, durante o período de repouso, a tensão do barramento em estado de nível lógico alto, conforme mostrado no circuito equivalente da Figura 8, na qual o dispositivo *1-wire*TM, neste caso, é um medidor de temperatura DS1820, funcionando como um dispositivo escravo, com saída em dreno aberto, disponível no pino de entrada e saída (I/O).

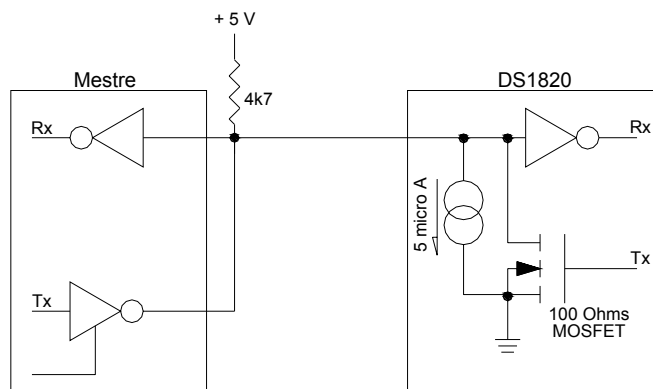


Figura 8- Esquema de ligação convencional do sistema de barramento 1-wireTM.

3.2- Interface entre o barramento 1-wireTM e o computador

O trabalho de ligar o barramento 1-wireTM a um computador (mestre) por meio da sua porta serial é possível uma vez que existem circuitos integrados projetados pela *Dallas Semiconductor* específicos para esse fim. A *Dallas Semiconductor* também possui outros circuitos integrados para, por exemplo, a comunicação com a porta USB do computador.

A Figura 9 mostra o circuito de interface entre a porta serial do computador e o barramento 1-wireTM onde se destaca o CI DS2480 que é o responsável principal pela conversão do protocolo 1-wireTM e o protocolo RS232, utilizado pela porta serial do computador.

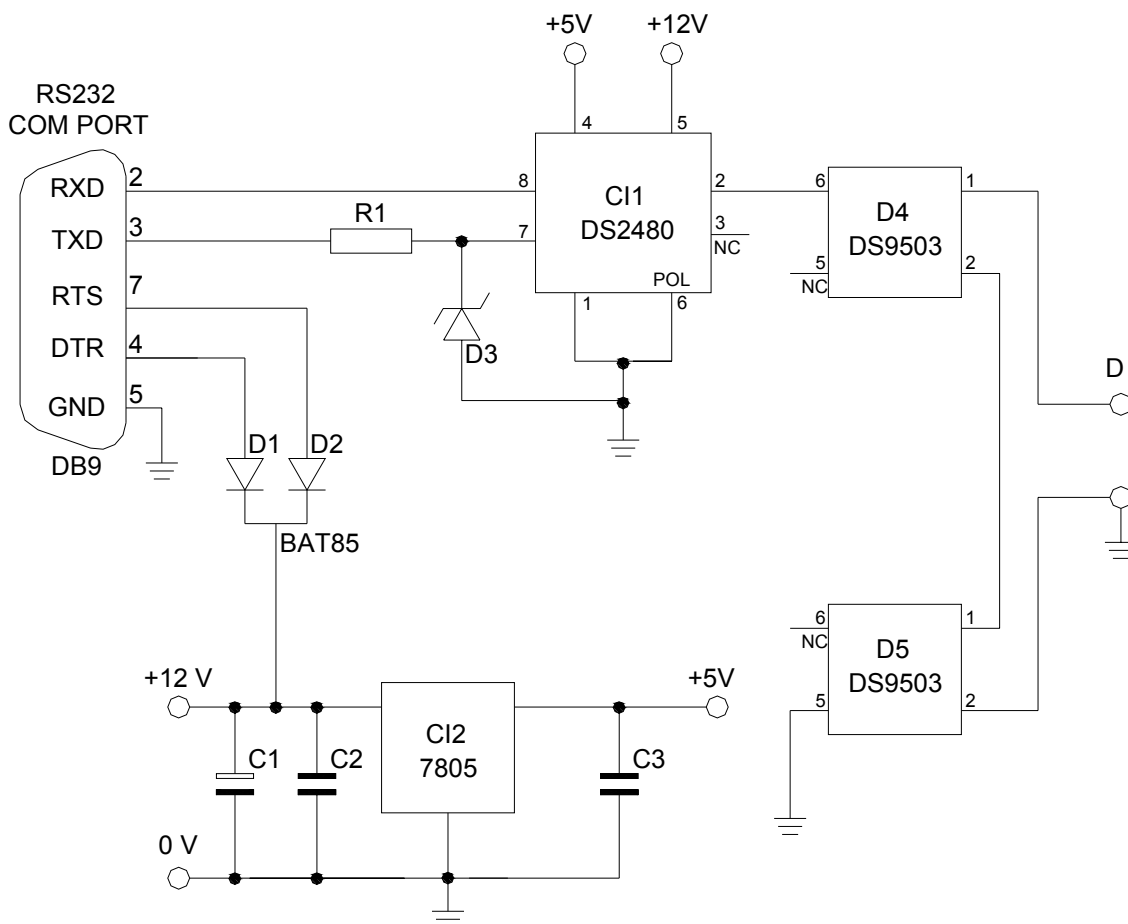


Figura 9- Esquema do circuito da interface 1-wireTM e computador.

O circuito se comunica por meio das linhas RxD e TxD da porta serial do computador. Segundo o protocolo de comunicação RS232, os níveis lógicos altos nas linhas da porta série devem ser representados por uma amplitude de -12V e os níveis baixos por +12V, enquanto que o protocolo série para os microprocessadores do computador define amplitudes de +5V e 0V, respectivamente. Nota-se que, se o pino 6 do CI1 (POL – polaridade) estiver ligado ao terminal terra, os sinais recebidos são invertidos no interior do circuito integrado. A rede R1-D3 garante que os sinais aplicados no pino 7 do CI1 possuam uma amplitude de 0V a 4,7V. Os circuitos integrados D4 e D5 (DS9503) protegem o circuito de interface contra descargas eletrostáticas provenientes do barramento por meio de diodos zeners ultra-rápidos com tensão de descarga da ordem de 7,5V. Nesses, os resistores série da ordem de 0,5Ω, provocam um efeito desprezível durante a comunicação normal, mas apresentam uma grande impedância se no barramento ocorrer uma descarga eletrostática. Assim, a corrente da descarga é curto-circuitada pelo diodo zener e não atinge o pino 2 do CI1.

A tensão de alimentação é obtida na porta serial do computador pelas linhas DTR e RTS e, em circunstâncias normais, fornecem a tensão de 5V estabilizada pelo CI2. Quando uma dessas linhas está em nível alto, em princípio superior a +8V, na entrada do regulador (CI2) existe tensão suficiente para ele fornecer +5V estabilizados.

A interface entre o computador e os condutores que interligam os dispositivos *1-wire™* também pode ser realizada por meio de um adaptador universal (DS9097U-009), também da série *1-wire™*. Esse adaptador apresenta uma entrada (DB-9) para conexão na porta serial do computador e uma entrada (RJ-11) para os condutores da rede. A alimentação do DS9097U-009 deriva da fonte interna do computador a partir da porta serial. O circuito integrado DS2480B, inserido no interior do adaptador, realiza a conversão da porta serial do computador para a rede *1-wire™*. É no DS2480B que está localizado o circuito de polarização do sistema *1-wire™* (DALLAS SEMICONDUCTOR, 2002).

3.3- Conversor analógico-digital

3.3.1- Introdução

Vários tipos de conversores analógico-digital (CAD) têm sido introduzidos no mercado. No caso de dispositivos CAD escravos *1-wireTM* é possível medir-se de várias propriedades ou grandezas, utilizando-se apenas um simples par de condutores trançados, do tipo empregado em linhas telefônicas comuns, e abrem os caminhos para uma nova geração de transdutores denominados instrumentos digitais endereçáveis (IDE).

Um IDE consiste de um ou mais elementos sensores, uma pastilha (chip), que convertem o sinal de entrada para um formato digital e alguns componentes de proteção e periféricos.

Uma vantagem distinta de IDE's é que a interface de todos eles é feita ao dispositivo mestre da mesma maneira, independentemente da propriedade que está sendo medida. Tanto o mestre quanto os escravos são configurados como transceptores (transmissor-receptor), permitindo que os dados fluam, de maneira seqüencial, em ambas as direções, porém em apenas uma direção a cada vez (*half-duplex*) (AWTREY, 1997).

Essa característica contrasta com os métodos que incorporam uma variedade de circuitos de condicionamento de sinal, tais como amplificadores de instrumentação e conversores de tensão em freqüência, cujo desenho torna suas saídas diferentes e freqüentemente requer um cabo separado e fonte de alimentação para cada sensor.

O endereço de identificação único (ID) ou número serial de cada sensor é a chave para o barramento mestre interpretar qual parâmetro que um IDE está medindo. O ID permite também que múltiplos IDE's sejam colocados no mesmo cabo, reduzindo-se os custos de instalação e manutenção.

3.3.2- Generalidades - CAD DS2438

Projetado originalmente para medir a condição de um conjunto de baterias, o DS2438 contém dois conversores analógico-digital (CAD) e um sensor de temperatura similar ao DS18B20. O CAD principal executa a conversão de 10 *bits* de uma entrada de 0 a +10 V, ou a conversão de 9 bits de um sinal de tensão de 0 a +5 V com um multiplexador interno que permite ler a tensão aplicada ao seu pino da fonte de potência. O outro CAD tem o objetivo de medir a tensão desenvolvida por grandes correntes de bateria que circulam através de um resistor externo de 0,05 Ω com uma precisão assinalada de 10 bits de $\pm 250\text{mV}$ na leitura máxima da escala. Dentre outras características, tais como relógio de tempo real, este circuito integrado (CI) fornece 40 bytes de memória não-volátil, o que é útil para armazenar informação sobre calibração, localização e função (AWTEY, 2002). Como o DS2438 foi projetado para o monitoramento de carga em baterias, contendo conversores A/D (analógico-digital) para temperatura e tensão, é utilizado, por exemplo, para a obtenção da umidade relativa.

O DS2438 realiza as medidas de temperatura, fornecendo valores digitais de 13 bits para cada dado medido. O tempo de conversão da temperatura na forma digital é de, aproximadamente, 10 ms. A faixa de medição de temperatura do dispositivo DS2438 varia de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ com resolução de $0,03125\text{ }^{\circ}\text{C}$ para temperaturas compreendidas entre -40 e $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ (DALLAS SEMICONDUCTOR, 2003c).

A faixa de medição de tensão do DS2438 varia de 0 a 10 V com resolução de 0,01 V. Os dados medidos são fornecidos na forma digital em valores de 10 bits, sendo que o tempo de conversão é de, aproximadamente 10 ms. Para tensões (VDD) na faixa de 2,4V a 10 V, as medidas realizadas pelo DS2438 apresentam exatidão de $\pm 0,01\text{ V}$ para os dados obtidos pelo pino VDD e exatidão de $\pm 0,025\text{ V}$ para os dados obtidos pelo pino VAD. Para o DS2438, o código de família é 00100110, que corresponde a 26 em hexadecimal ou 38 na base 10.

Uma vez que cada dispositivo DS2438 possui um número de série próprio (*silicon serial number*), que o identifica, diversos dispositivos DS2438 podem ser ligados ao mesmo barramento *1-wire*TM permitindo, assim, endereçá-los individualmente e monitorar diversas grandezas ao mesmo tempo.

Os CI DS2438 estão disponíveis no mercado com encapsulamento SOIC, de 8 terminais, conforme mostrado na Figura 10. Na Tabela 2, tem-se a descrição de cada um dos terminais para cada tipo de encapsulamento.

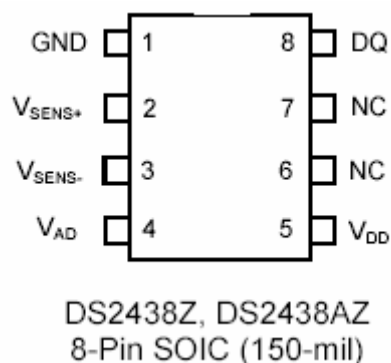


Figura 10- Terminais do conversor A/D DS2438.

Tabela 2- Descrição dos terminais do CI DS 2438

Terminal	Símbolo	Descrição
1	GND	Terminal de Referência
2	V_{SENS+}	Terminal de entrada para conversão A/D + corrente
3	V_{SENS-}	Terminal de entrada para conversão A/D – corrente
4	V_{AD}	Terminal de entrada para conversão A/D – tensão
5	V_{DD}	Terminal para alimentação externa do sensor
6	NC	Terminal
7	NC	Terminal
8	DQ	Terminal de entrada e saída de dados

As principais características desses dispositivos são:

- (a) a interface *1-wire*TM requer somente um condutor para comunicação de dados;
- (b) diversos sensores ligados ao mesmo condutor de dados são utilizados;
- (c) componentes externos não são necessários;
- (d) a própria linha de transmissão de dados os alimenta;
- (e) uma ligação à tensão de referência (0 V) é requerida;
- (f) 40 bytes de memória não volátil são disponíveis;

- (g) a conversão de temperatura em palavra digital é feita em $200 \mu\text{s}$;
- (h) a temperatura é medida na faixa de $-55 \text{ }^\circ\text{C}$ a $125 \text{ }^\circ\text{C}$, com precisão de $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$;
- (i) o comando *alarm search* identifica os sensores cuja temperatura está fora dos limites especificados;
- (j) utilização em qualquer sistema termicamente sensível.

O diagrama de blocos (Figura 11) mostra a constituição interna do CI DS2438 alimentado por tensão parasita. Esse circuito é alimentado pelo próprio barramento de dados (DQ) em qualquer momento em que estiver em nível alto, suprindo carga, também, a um capacitor interno que, quando DQ estiver em nível baixo, continua fornecendo energia ao DS2438.

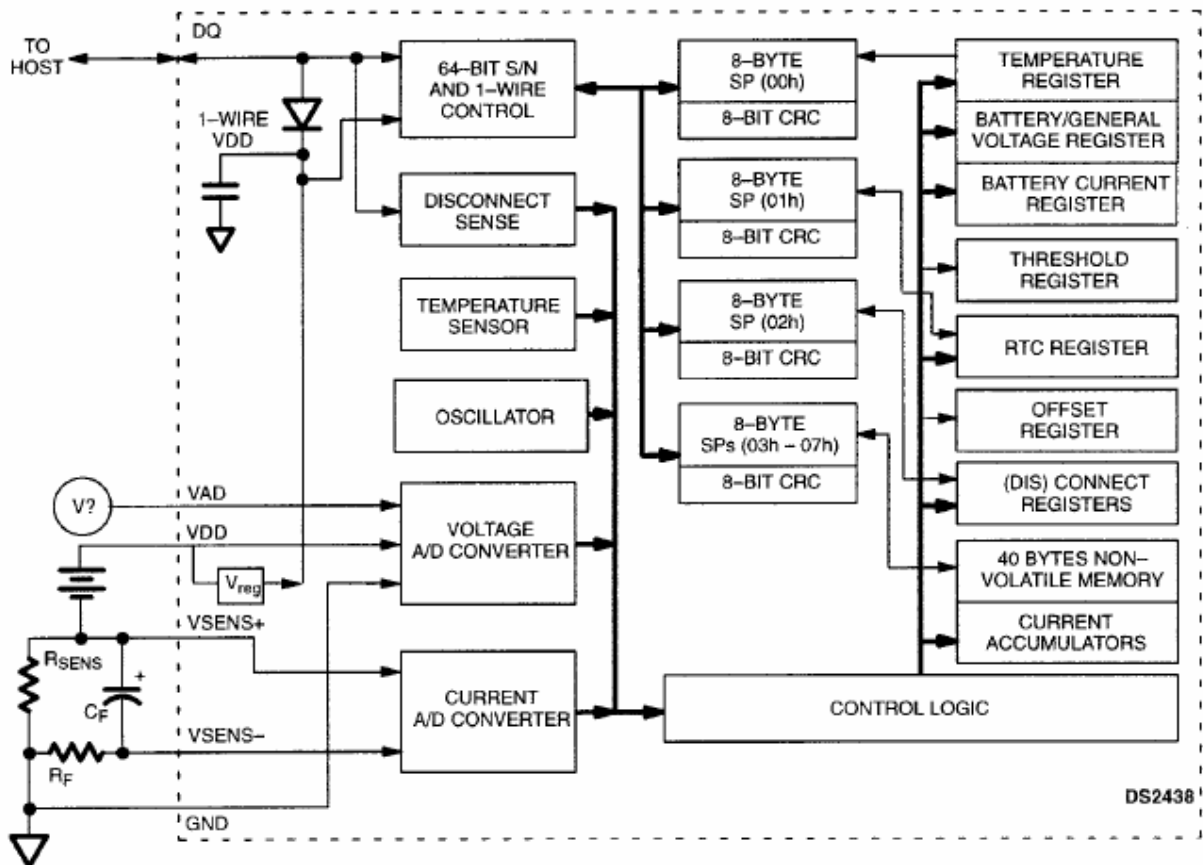


Figura 11- Diagrama de blocos para o CI DS2438.

3.3.2.1- Características elétricas do CAD DS2438

As Tabelas de 3 a 5 resumem as principais características fundamentais para o projeto de circuitos com o DS2438. Todos os valores apresentados nas tabelas para tensões (V) são referenciados ao terminal terra (GND).

Tabela 3- Características elétricas para faixa de temperatura de -40°C a 85°C e tensão $2,4\text{V} \leq V_{\text{DD}} \leq 10,0\text{V}$

Parâmetro	Símbolo	Condição	Min	Típico	Max	Unid	Nota
Nível lógico alto	V_{IH}		2,0			V	
Nível lógico baixo	V_{IL}		-0,3		0,5	V	
Corrente desativado	I_{DDI}	DQ = 0		25		μA	
Corrente ativado	I_{DD}	DQ = 1, AD Volt ou AD Amper ou Temp ativo		50	100	μA	
Resistência de entrada	R1	DQ		500		$\text{k}\Omega$	

Tabela 4- Características do Termômetro digital incorporado ao DS2438

Parâmetro	Símbolo	Condição	Min	Típico	Max	Unid	Nota
Erro	T_{ERR}				± 2	$^{\circ}\text{C}$	
Tempo de conversão	T_{CONVT}			3	10	ms	

Tabela 5- Características elétricas dos conversores A/D DS2438

Parâmetro	Símbolo	Condição	Min	Típico	Max	Unid	Nota
Erro de conversão 1	VDD_{ERR}	VDD entr.		± 10	± 50	mV	
	VAD_{ERR}	VAD entr.		± 25	± 75	mV	
Erro de conversão 2	IAD_{ERR}	$V_{SENS+} - V_{SENS-}$			± 2	LSB	
		≤ 125 mV			1	%	
Faixa de ent V_{AD}	V_{ADR}		1,5		10,0	V	
Faixa de entrada V_{DD}	V_{DDR}		2,4		10,0	V	
Faixa de entrada $V_{SENS+} - V_{SENS-}$	IAD_{RANGE}				250	mV	
Tempo de conversão	t_{CONV}		3		10	ms	

3.3.3- Seqüência de transmissão de dados

O protocolo para acessar os dispositivos DS2438 conectados à linha, por meio do barramento *1-wire*TM e a porta serial RS232, é o seguinte:

- Inicialização;
- Comando de função ROM;
- Comando de função Memória;
- Transferência de dados.

3.3.3.1- Inicialização

Toda transmissão de dados através do barramento *1-wire*TM começa com uma seqüência de inicialização. A seqüência inicia-se com um pulso de reinicialização (*reset pulse*), transmitido pelo barramento mestre, que consiste em colocar o barramento *1-wire*TM em nível lógico baixo, por meio do transistor de efeito de campo (MOSFET), por pelo menos 480µs. O pulso de reinicialização é respondido por pulsos de presença, transmitidos pelos dispositivos escravos ligados ao barramento. O pulso de presença informa ao barramento mestre a presença desses dispositivos escravos (DS2438) e indica que eles estão prontos para operar.

3.3.3.2- Comandos da função ROM

Uma vez que o barramento mestre detectou a presença de um ou mais dispositivos conectados à linha, ele pode acessar qualquer um deles, enviando um dos cinco comandos de função ROM. Todos esses comandos de função ROM têm comprimento de 8 bits e instruem o dispositivo escravo a executar uma determinada tarefa especificada pelo mestre. A relação dos comandos é apresentada a seguir e refere-se ao fluxograma da Figura 12.

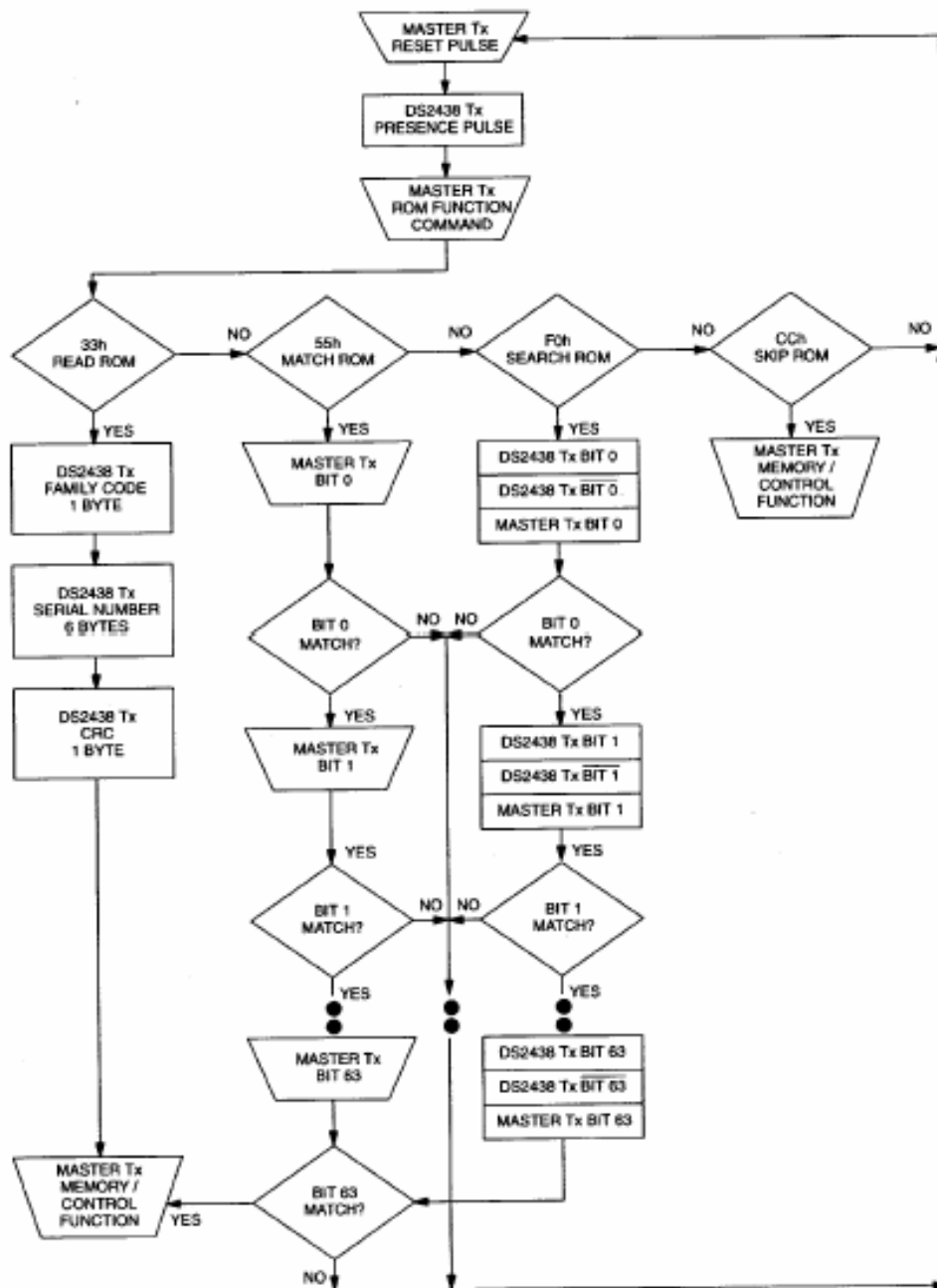


Figura 12- Lógica de execução das funções de memória de apenas leitura (ROM).

a) Comando ReadROM (33h)

Esse comando é utilizado quando há um único dispositivo escravo ligado ao barramento e serve para identificá-lo. Ele habilita o barramento mestre a ler o código de família, de oito bits, do dispositivo, o número serial de identificação de 48 bits e o controle de redundância cíclica (CRC), de 8 bits. Caso mais de um escravo esteja conectado ao barramento, o comando provocará uma colisão de dados quando todos eles tentarem transmitir seu código ao mesmo tempo. Nesse caso, as ligações em dreno aberto dos diversos dispositivos funcionarão como uma ligação lógica E (AND).

b) MatchROM (55h)

Em um barramento com diversos escravos ligados, esse comando, seguido de uma seqüência ROM de 64 bits, permite ao barramento mestre acessar o dispositivo especificado pela seqüência. Somente o dispositivo que se identificar perfeitamente com aquela seqüência de 64 bits responderá ao comando de função de memória que vier em seguida. Todos os demais dispositivos ligados ao barramento esperarão por um pulso de reinicialização para poder operar. Esse comando também pode ser utilizado caso haja um único dispositivo escravo ligado ao barramento.

c) SkipROM (CCh)

Esse comando diminui o tempo de operação quando um único dispositivo escravo é ligado ao barramento, pois possibilita ao mestre acessar as funções de memória sem necessidade de fornecer o código de 64 bits que especifica o dispositivo. Caso haja mais de um dispositivo escravo ligado ao barramento e um comando de leitura for expedido após o comando SKIP, haverá uma colisão de dados, pois, novamente, as ligações em dreno aberto dos dispositivos escravos produzirão como resultado uma ligação lógica E (AND).

d) SearchROM (F0h)

Quando um sistema *1-wire*TM é inicialmente energizado, o barramento mestre nem sempre conhece o código de identificação de 64 bits dos dispositivos escravos ligados a ele e nem sua quantidade. Este comando, por um processo de eliminação, permite ao barramento mestre determinar a quantidade e identificar o código de 64 bits de cada um destes dispositivos escravos.

O processo de procura da ROM consiste na repetição de uma simples rotina de três passos: ler um bit, ler o complemento desse bit e, em seguida, escrever seu valor desejado. O barramento mestre executa tal rotina para cada bit da ROM de um dispositivo. Ao concluí-la, determina o conteúdo da ROM, que corresponde ao código de identificação do dispositivo. O número de dispositivos restantes e seus códigos ROM podem ser identificados repetindo-se o processo para cada um deles.

e) Identificação de dispositivos *1-Wire*TM com o comando *ROM Search*

Apresenta-se, em seguida, um exemplo de identificação de dispositivos *1-Wire*TM supondo quatro dispositivos distintos ligados ao mesmo barramento mestre com os seguintes dados gravados na ROM:

ROM1	00110101
ROM2	10101010
ROM3	11110101
ROM4	00010001

Nesse caso, o procedimento será o seguinte:

- (a) O barramento mestre começa a seqüência de inicialização, enviando um pulso de reinicialização. Os dispositivos escravos respondem, enviando pulsos de presença.
- (b) Em seguida, o barramento mestre envia o comando *Search ROM* através da linha *1-wire*TM.
- (c) O barramento mestre lê um bit do barramento *1-wire*TM. Cada dispositivo escravo acoplado responderá, colocando o valor do primeiro bit de seu respectivo conteúdo gravado na ROM na linha *1-wire*TM. ROM1 e ROM4 colocarão um 0 (zero) no barramento *1-wire*TM, fazendo com que a linha fique no nível lógico baixo e ROM2 e ROM3 colocarão um 1 (um), fazendo com que a linha fique no nível lógico alto. O resultado é o E (AND) lógico de todos os dispositivos acoplados à linha. Então o barramento mestre detecta um 0 (zero) e, em seguida,

o barramento mestre lê um outro *bit*. Uma vez que o comando *Search ROM* está sendo executado, todos os dispositivos acoplados respondem a esta segunda leitura colocando o complemento do primeiro *bit* de suas respectivas memórias ROM no barramento *1-wire™*. ROM1 e ROM4 colocarão um “1”, enquanto ROM2 e ROM3 colocarão um “0”. O barramento mestre novamente detecta um “0” para o complemento do primeiro *ROM DATA bit*. O barramento mestre determinou, então, que há alguns dispositivos ligados ao barramento que têm um “0” na primeira posição e outros que têm um “1”. Os dados obtidos das duas leituras da rotina de três passos permitem a seguinte interpretação:

00 ⇒ ainda há dispositivos acoplados que têm bits conflitantes nesta posição.

01 ⇒ todos os dispositivos ainda ligados têm um bit 0 nesta posição.

10 ⇒ todos os dispositivos ainda ligados têm um bit 1 nesta posição.

11 ⇒ Não há dispositivos ligados ao barramento *1-wire™*.

- (d) O barramento mestre escreve um 0. Isso desabilita ROM2 e ROM3 para o restante desse passo da investigação, deixando apenas ROM1 e ROM4 conectados ao barramento.
- (e) O barramento mestre executa mais duas leituras e recebe um bit 0 (zero), seguido de um bit 1 (um). Isso indica que o segundo *ROM DATA bit* de todos os dispositivos ainda acoplados ao barramento é 1 (um).
- (f) O barramento mestre, então, escreve um 0 (zero), a fim de manter ROM1 e ROM4 acoplados.
- (g) O barramento mestre executa duas leituras e recebe dois bits 0 (zero). Isto indica que no terceiro bit do *ROM DATA* dos dispositivos acoplados existem 0's e 1's (zeros e uns).
- (h) O barramento mestre escreve um bit 0 (zero). Isso desacopla ROM1, ficando ROM4 como o único dispositivo ainda acoplado.
- (i) O barramento mestre lê os bits restantes dos *ROM bits* de ROM4 e continua a acessar a parte que for requisitada. Isso completa o primeiro passo e identifica de modo único uma parte do barramento *1-wire™*.
- (j) O barramento mestre inicia uma nova seqüência de comandos *ROM Search*, repetindo as etapas de (a) a (g).
- (k) O barramento mestre escreve um bit 1 (um). Isso desacopla ROM4 e deixa ROM1 acoplado.

- (l) O barramento mestre lê os bits restantes da memória apenas de leitura de ROM1 e comunica à lógica de base se for solicitado. Isso completa o segundo passo do comando *ROM Search*, no qual uma outra das memórias ROM foi determinada.
- (m) O barramento mestre inicia uma nova busca, repetindo os passos de (a) a (d).
- (n) O barramento mestre escreve um bit “1”. Isto desacopla ROM1 e ROM4 e deixa somente ROM1 e ROM2 acoplados ao sistema.
- (o) O barramento mestre executa mais duas leituras e recebe dois “0”.
- (p) O barramento mestre escreve um bit 0 (zero). Isso desacopla ROM3 e deixa unicamente ROM2 acoplado.
- (q) O barramento mestre lê os bits restantes da memória apenas de leitura de ROM2 e comunica à lógica de base se for solicitado. Isso completa o terceiro passo do comando *ROM Search*, no qual uma outra das memórias ROM foi determinada.
- (r) O barramento mestre inicia uma nova busca, repetindo os passos de (m) a (o).
- (s) O barramento mestre escreve um bit 1 (um). Isso desacopla ROM2 e deixa unicamente ROM 3 acoplado.
- (t) O barramento mestre lê os bits restantes da memória apenas de leitura de ROM3 e comunica à lógica de base se for solicitado. Isso completa o quarto passo do comando *ROM Search*, no qual uma outra das memórias ROM foi determinada.

Verifica-se que o barramento mestre identifica um único dispositivo em cada operação do comando *ROM Search*, por meio do código identificador único. O tempo necessário para deduzir um código é:

$$t_{\text{cod}} = 960\mu\text{s} + (8 + 3 \times 64) 61\mu\text{s} = 13.160\mu\text{s} = 13,16\text{ms} \quad (2)$$

Portanto, o barramento mestre é capaz de identificar 75 dispositivos diferentes por segundo.

3.3.3.3- Comandos da função Memória

Os protocolos de comando a seguir, resumidos na Tabela 6 e no fluxograma da Figura 13, são denominados comandos de função de memória e instruem o dispositivo escravo a executar uma tarefa determinada pelo elemento mestre.

Tabela 6 – Conjunto de comandos de memória do DS2438

Instrução	Descrição	Protocolo	Barramento 1-Wire depois de expedir o protocolo
Comandos de memória			
Read Scratchpad	Lê bytes do <i>scratchpad</i>	BEh	Lê dados de até 9 bytes
Write scratchpad	Escreve bytes no <i>scratchpad</i> nos endereços xxh	4Eh	Escreve até 8 bytes de dados
Copy scratchpad	Copia todo <i>scratchpad</i> nas memórias não voláteis (endereços xxh)	48h	Bit Memória =1 até cópia completa
Recall Memory	Copia todo <i>scratchpad</i> nas memórias não voláteis (endereços xxh)	B8h	Bit Memória =1 até cópia completa
Comandos de registro			
Convert T	Inicializa a conversão de temperatura	44h	Bit Temperatura = 1 até conversão completa
Convert V	Inicializa a conversão de tensão A/D	B4h	Bit Coversor AD =1 até conversão completa

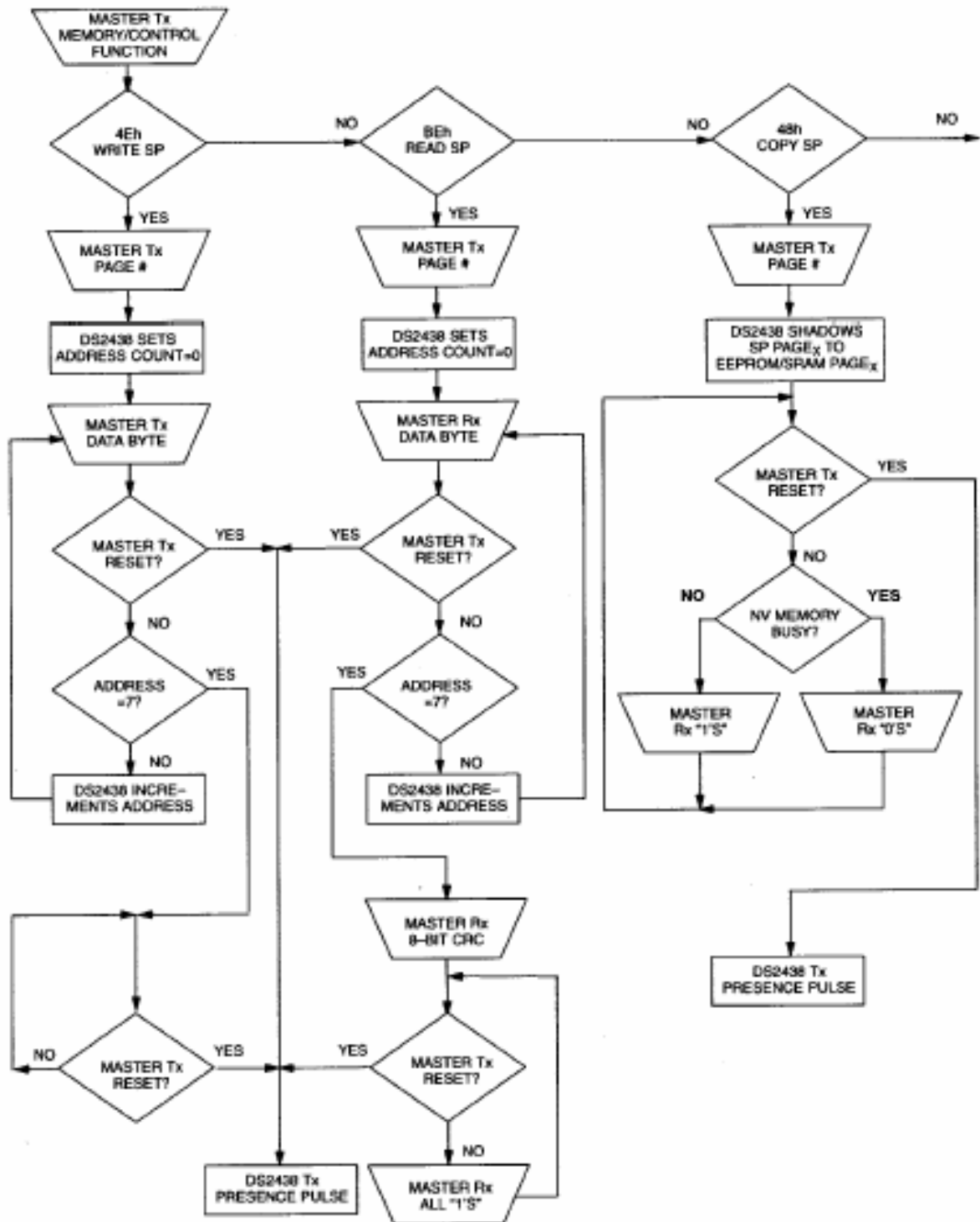


Figura 13- Lógica de funcionamento dos comandos de função de memória.

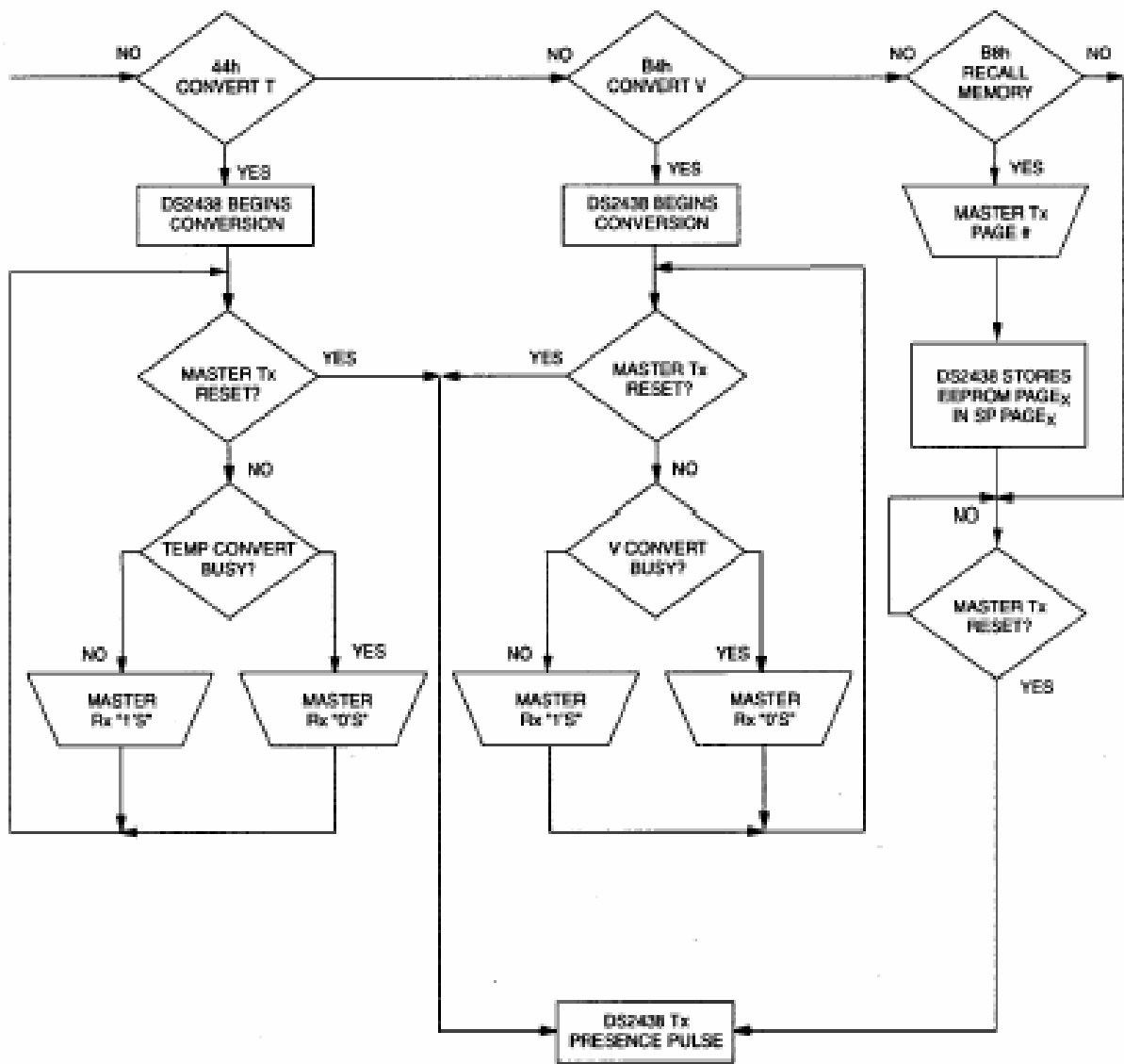


Figura 13- Lógica de funcionamento dos comandos de função de memória (continuação).

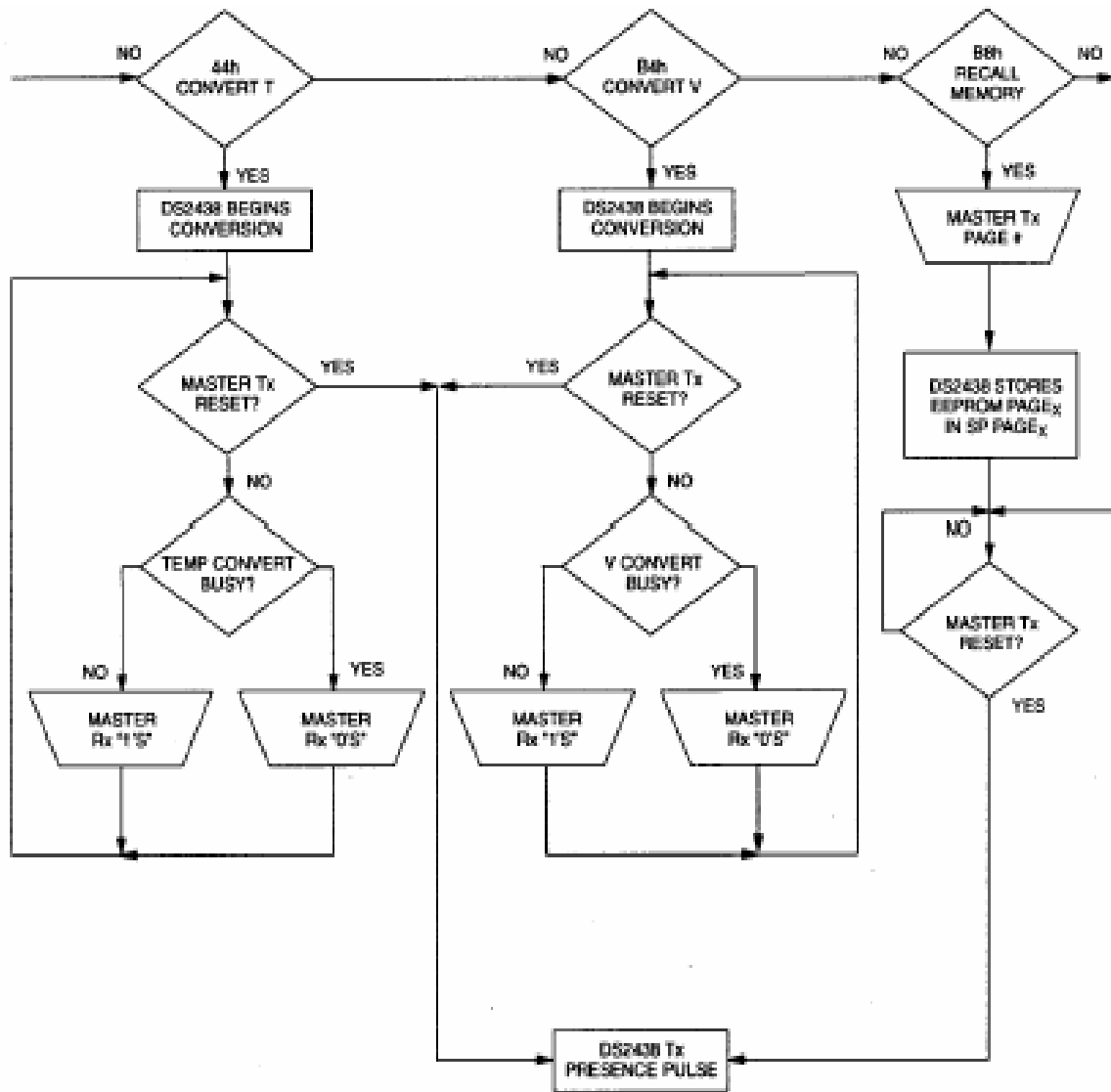


Figura 13- Lógica de funcionamento dos comandos de função de memória (continuação).

a) Write Scratchpad (4Eh)

Esse comando escreve na memória de rascunho (*scratchpad*) do dispositivo escravo uma informação de dois bytes.

b) Read Scratchpad (BEh)

Esse comando lê o conteúdo da memória de rascunho (*scratchpad*). A leitura começa pelo byte 0 (zero) e continuará até que o último byte, que é o CRC, seja lido. Caso nem todas as locações precisarem ser lidas, o mestre pode enviar um pulso de reinicialização e interromper a leitura a qualquer instante.

c) Copy Scratchpad (48h)

Esse comando copia o conteúdo da memória de rascunho (*scratchpad*) em uma memória apagável eletricamente (EEPROM) do DS2438. No caso de alimentação parasita, o mestre deve providenciar uma alimentação positiva no barramento até 10µs depois da emissão desse comando, de forma a garantir o fornecimento de corrente suficiente para completar o ciclo de programação da memória.

d) ConvertT (44h)

Esse comando instrui o sensor DS2438 para executar uma conversão de temperatura. O DS2438 executa, simplesmente, a conversão de temperatura e permanece em repouso. Se o barramento mestre enviar o comando *read time slots* em seguida a este comando, o sensor enviará um 0 (zero) em resposta enquanto ele estiver executando a conversão de temperatura. Ele retornará 1 (um) quando o processo de conversão estiver terminado.

e) ConvertV (B4h)

Esse comando instrui o sensor DS2438 para iniciar o ciclo de conversão analógico-digital do sinal de tensão. Quando a conversão estiver terminada, o bit de conversão será zerado e o resultado armazenado no endereço 00h do DS2438.

3.3.3.4- Mapa da memória

A memória do DS2438 é organizada conforme mostra a Figura 14. Ela consiste em uma memória temporária de acesso aleatório (*scratchpad RAM*) e uma memória de acesso aleatório não volátil (*SRAM/EEPROM*). A memória temporária ajuda garantir a integridade dos dados durante as transferências através do barramento *1-wire™*.

Os dados são, primeiramente, escritos na memória temporária, de onde podem ser lidos (*read back*). Depois de terem sido verificados, um comando *copy scratchpad* transferirá os dados para a memória de acesso aleatório não volátil, garantindo, assim, a integridade dos dados quando se modifica o conteúdo da memória.

A memória temporária (*scratchpad*) do DS2438 é organizada em sessenta e quatro bytes, numerados em oito espaços de 8 bytes.

PAGE	BYTE	CONTENTS	R/W	NV	PAGE	BYTE	CONTENTS	R/W	NV
0	0	STATUS/ CONFIGURATION	R/W	YES	3	0	USER BYTE	R/W	YES
	1	TEMPERATURE LSB	R	NO		1	USER BYTE	R/W	YES
	2	TEMPERATURE MSB	R	NO		2	USER BYTE	R/W	YES
	3	VOLTAGE LSB	R	NO		3	USER BYTE	R/W	YES
	4	VOLTAGE MSB	R	NO		4	USER BYTE	R/W	YES
	5	CURRENT LSB	R	NO		5	USER BYTE	R/W	YES
	6	CURRENT MSB	R	NO		6	USER BYTE	R/W	YES
	7	THRESHOLD	R/W	YES		7	USER BYTE	R/W	YES
1	0	ETM BYTE 0	R/W	NO	4	0	USER BYTE	R/W	YES
	1	ETM BYTE 1	R/W	NO		1	USER BYTE	R/W	YES
	2	ETM BYTE 2	R/W	NO		2	USER BYTE	R/W	YES
	3	ETM BYTE 3	R/W	NO		3	USER BYTE	R/W	YES
	4	ICA	R/W	NO		4	USER BYTE	R/W	YES
	5	OFFSET LSB	R/W	YES		5	USER BYTE	R/W	YES
	6	OFFSET MSB	R/W	YES		6	USER BYTE	R/W	YES
	7	RESERVED	R/W	NO		7	USER BYTE	R/W	YES
2	0	DISCONNECT BYTE 0	R/W	NO	•	•	•	•	•
	1	DISCONNECT BYTE 1	R/W	NO	•	•	•	•	•
	2	DISCONNECT BYTE 2	R/W	NO	•	•	•	•	•
	3	DISCONNECT BYTE 3	R/W	NO	7	0	USER BYTE	R/W	YES
	4	END OF CHARGE BYTE 0	R/W	NO		1	USER BYTE	R/W	YES
	5	END OF CHARGE BYTE 1	R/W	NO		2	USER BYTE	R/W	YES
	6	END OF CHARGE BYTE 2	R/W	NO		3	USER BYTE	R/W	YES
	7	END OF CHARGE BYTE 3	R/W	NO		4	USER BYTE/ CCA LSB	R/W	YES
						5	USER BYTE/ CCA MSB	R/W	YES
						6	USER BYTE/ DCA LSB	R/W	YES
						7	USER BYTE/ DCA MSB	R/W	YES

Figura 14- Mapa de memória para o DS 2438.

3.3.3.5- Transferência de dados

Os dados do DS2438 são lidos e escritos em função da duração dos intervalos de tempo (*time slots*) utilizados para manipular bits e da função de comando que especifica a operação a ser executada. Um intervalo de tempo é predeterminado e se inicia quando a linha de transmissão de dados, que se encontra inicialmente em repouso, é colocada no estado ativo.

Existem dois tipos de pulsos de intervalo de tempo (*time slots*): pulso de reinicialização (*reset*) e pulso de transferência de dados (*data*). O pulso de reinicialização tem duração de, pelo menos, 480 μ s e um tempo de resposta inferior a 300 μ s. Os pulsos de transferência de dados não são superiores a 120 μ s.

a) Write Time Slots

A operação de escrever ou gravar um pulso (*write time slots*) é inicializada quando o computador passa a linha de transmissão de dados do nível lógico alto (estado de repouso) para o nível lógico baixo. Existem dois tipos de comando *write time slots*: escrever um pulso equivalente a um 1 (um) lógico (*write one time slot*) e escrever um pulso equivalente a um 0 (zero) lógico (*write zero time slot*). Ambos devem ter duração mínima de 60 μ s, com um tempo de recuperação mínimo de 1 μ s entre ciclos de escritas individuais.

O DS2438 analisa a linha de entrada e saída (I/O) em um intervalo de 15 μ s a 60 μ s depois que a linha I/O tiver sido colocada em nível lógico baixo. Se a linha estiver no nível lógico alto, significa escrever um 1 (um) lógico (*write one*), caso encontre-se no nível lógico baixo, significa escrever um 0 (zero) lógico (*write zero*).

Para o computador escrever um 1 (um) lógico (*write one time slot*) a linha de dados deve ser levada para o nível lógico baixo e, então, liberada, permitindo que ela passe para o nível lógico alto dentro de 15 μ s depois do início do pulso (*time slot*). Para o computador gerar um 0 (zero) lógico (*write zero time slot*), a linha de dados deve ser colocada no nível lógico baixo e permanecer assim durante 60 μ s.

b) Read time slots

O computador envia um comando de leitura de um pulso (*read time slots*) quando os dados armazenados no dispositivo escravo, DS2438, devem ser lidos. De maneira análoga ao comando *write time slot*, um *read time slot* é inicializado quando o mestre leva a linha de transmissão de dados do nível lógico alto para o nível lógico baixo. A linha de dados deve ser mantida no nível lógico baixo durante um tempo mínimo de $1\mu\text{s}$. Os dados de saída do DS2438 são considerados válidos até $15\mu\text{s}$ depois do término do pulso.

Como o dispositivo escravo não é capaz de iniciar uma transferência de dados, para ler um pulso, o dispositivo mestre deve colocar a linha de transferência de dados no nível lógico baixo. Para ler um 1 (um) lógico, o mestre coloca a linha no nível lógico baixo durante $15\mu\text{s}$ e, quando o mestre a libera, ela volta para a posição de repouso. Para ler um 0 (zero) lógico, quando o mestre libera a linha, o dispositivo escravo mantém a linha no nível lógico baixo até completar o pulso.

Verifica-se, portanto, que ao escrever um dado, o mestre controla a linha e, ao ler um dado, é o escravo que a controla (Figura 15).

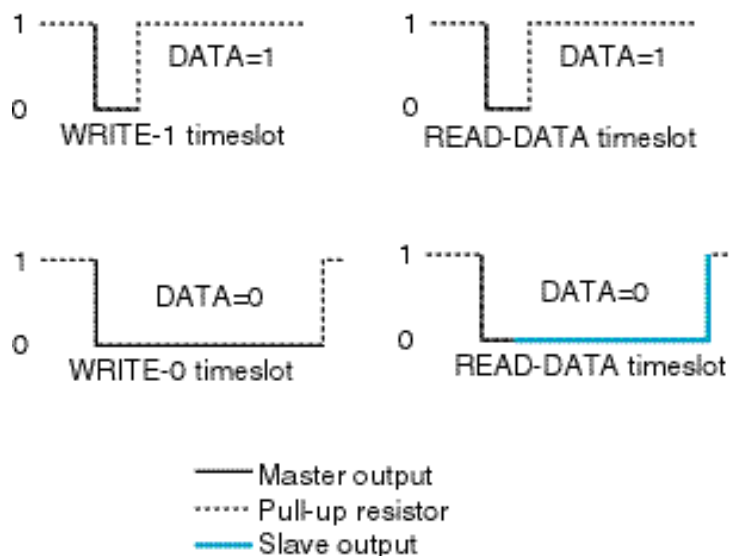


Figura 15- Pulsos de escrita e leitura.

3.3.3.6- Seqüência de acesso

Apresentam-se algumas seqüências de dados referentes à transferência de dados entre um dispositivo DS2438 e um computador com interface entre a porta serial e uma rede *1-wire*TM efetuada com base em um circuito DS2480.

A Tabela 7 apresenta a seqüência de comandos necessários para que o dispositivo mestre inicie uma conversão de temperatura, tensão e corrente, tudo isso em um único DS2438 e, em seguida, leia a temperatura medida, a tensão no terminal V_{AD} e a corrente que circula por V_{SENS+} e V_{SENS-} .

Considera-se que o DS2438 esteja alimentado pela própria linha de dados.

Tabela 7- Seqüência de comandos de conversão de temperatura, tensão e corrente

Modo do mestre	Dado transmitido	Comentários
TX	Reset	Pulso de reinicialização
RX	Presença	Pulso de presença
TX	CCh	Comando Skip ROM
TX	44h	Instrui a conversão de temperatura
TX	Reinicialização	Pulso de reinicialização
RX	Presença	Pulso de presença
TX	CCh	Comando Skip ROM
TX	B4h	Instrui a conversão de tensão
TX	Reset	Pulso de reinicialização
RX	Presença	Pulso de presença
TX	CCh	Comando Skip ROM
TX	B8h00h	Comando p/ memória em 00h
TX	Reset	Pulso de reinicialização
RX	Presença	Pulso de presença
TX	CCh	Comando Skip ROM
TX	BEh00h	Comando p/ ler mem. Rascunho 00h
RX	<Dado 9 bytes>	Lê memória de rascunho e CRC. Contém temperatura, tensão e corrente medidas
TX	Reset	Pulso de reinicialização
RX	Presença	Pulso de presença, final

Na tabela 7, TX representa um caractere ou byte enviado pelo mestre e RX um caractere ou byte recebido por ele.

3.4- Contador

3.4.1- Introdução

Com um contador escravo *1-wireTM* é possível a medição de várias propriedades ou grandezas, não apenas pela contagem simples de eventos, mas também, pela relação entre a totalização e o tempo decorrido para tal, caracterizando, dessa maneira, uma medição de frequência ou velocidade ou taxa de ocorrência, por exemplo. O contador em um sistema *1-wireTM*, também pode se constituir em importante instrumento digital endereçável (IDE).

3.4.2- O Contador DS2423

O DS2423 é um contador totalmente a estado sólido, isto é, sem peças móveis, que possui uma memória de acesso aleatório (RAM) para leitura e escrita. A memória é organizada em dezesseis páginas com 256 bits cada. Além disso, possui quatro contadores, dois deles com acesso externo por entradas chamadas de A e B, estando cada um desses contadores associado a uma página de memória. Os outros dois contadores, sem acesso externo, incrementam-se a cada transição de tempo que está associada ao contador de ciclo de escrita interno. Os contadores acionados pelas entradas A e B, respectivamente, incrementam-se a cada transição do pulso para nível baixo nessas entradas. Todos os contadores são somente para leitura.

Inicialmente, os dados são escritos em sua memória de rascunho (*scratchpad*) para serem lidos posteriormente e depois, com o comando *copy scratchpad*, os dados são, finalmente, transferidos para a memória. Quando a alimentação é desconectada, todos os contadores têm sua totalização zerada.

Para o DS2423, o código de família é 00011101, que corresponde a 1D em hexadecimal ou 29 na base 10.

Uma vez que cada dispositivo DS2423 possui um número de série próprio (*silicon serial number*), que o identifica, diversos dispositivos DS2423 podem ser ligados ao mesmo barramento *1-wireTM*, inclusive junto a outros de outra família, por exemplo, o DS2438, permitindo, assim, endereçá-los individualmente e monitorar diversas grandezas e eventos ao mesmo tempo.

Esses circuitos integrados estão disponíveis no mercado com encapsulamento TSOC, de 6 terminais, conforme mostrado na Figura 16. Na tabela 8, tem-se a descrição de cada um destes terminais para cada tipo de encapsulamento.

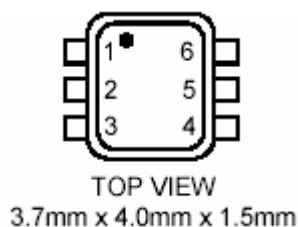


Figura 16- Terminais do contador DS2423.

Tabela 8- Descrição dos terminais do CI DS 2423

Terminal	Símbolo	Descrição
1	GND	Terminal de referência
2	Data	Terminal de entrada e saída de dados
3	V _{BAT}	Terminal para alimentação externa do sensor
4	NC	Terminal
5	A	Terminal de entrada do canal A
6	B	Terminal de entrada do canal B

As principais características desses dispositivos são:

- (a) a interface *1-wire*TM requer somente um condutor para comunicação de dados;
- (b) utilização de diversos sensores ligados ao mesmo condutor de dados;
- (c) pode ser alimentado pela própria linha de transmissão de dados;
- (d) necessidade de uma ligação à tensão de referência (0 V);
- (e) 4096 bits de SRAM;
- (f) entradas externas compatíveis com chaves de contato mecânico;
- (g) conexão direta a um microprocessador e comunicação até a 16,3 *kbits* por segundo.

O diagrama de blocos (Figura 17) mostra a relação interna entre o comando principal e as seções de memória do CI DS2423. O DS2423 possui quatro meios de

dados: ROM gravada a laser com 64 *bits*; memória de rascunho (*scratchpad*), com 256 *bits*; SRAM de 4096 *bits*; e quatro contadores de 32 *bits*, somente para leitura. Os conteúdos dos contadores são lidos juntos com os dados na memória, usando comando específico.

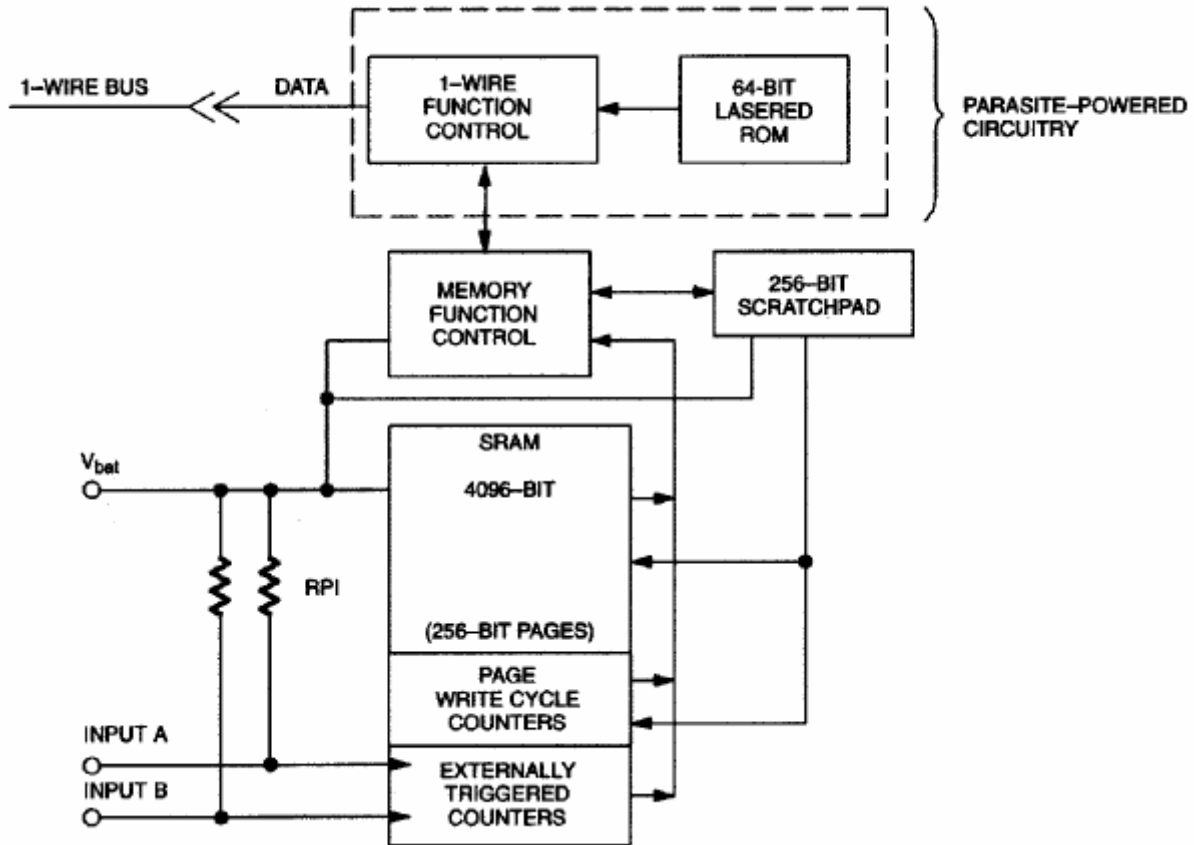


Figura 17- Diagrama de blocos para o CI DS2423.

3.4.2.1- Características elétricas do Contador DS2423

A Tabela 9 resume as principais características elétricas fundamentais para o projeto de circuitos com o DS2423. Todos os valores apresentados na tabela para tensões (V) são referenciados ao terminal terra (GND).

Tabela 9- Características elétricas (-40 °C a 85 °C; $2,4V \leq V_{BAT} \leq 10,0V$)

Parâmetro	Símbolo	Condição	Min	Típico	Máx	Unid	Nota
Nível lógico alto	V_{IH}		2,2			V	
Nível lógico baixo	V_{IL}		-0,3		0,8	V	
Corrente de entrada carga	I_L			5		μA	
Corrente de consumo com tensão externa	I_{BATS}				200	nA	

3.4.3- Seqüência de transmissão de dados

O protocolo para acessar os dispositivos DS2423 conectados à linha, por meio do barramento *1-wire*TM e a porta serial RS232, é o seguinte:

- Inicialização;
- Comando de função ROM;
- Comando de função Memória;
- Transferência de dados.

3.4.3.1- Inicialização

Toda transmissão de dados através do barramento *1-wire*TM começa com uma seqüência de inicialização. A seqüência inicia-se com um pulso de reinicialização (*reset pulse*), transmitido pelo barramento mestre, que consiste em colocar o barramento *1-wire*TM em nível lógico baixo, por meio do transistor de efeito de campo (MOSFET), por pelo menos 480µs. O pulso de reinicialização é respondido por pulsos de presença, transmitidos pelos dispositivos escravos ligados ao barramento. O pulso de presença informa ao barramento mestre a presença desses dispositivos escravos (DS2423) e indica que eles estão prontos para operar.

3.4.3.2- Comandos da função ROM

Uma vez que o barramento mestre detectou a presença de um ou mais dispositivos conectados à linha, ele pode acessar qualquer um deles, enviando um dos cinco comandos de função ROM. Todos os comandos de função ROM têm comprimento de 8 bits e instruem o dispositivo escravo a executar uma determinada tarefa especificada pelo mestre. A relação desses comandos é apresentada a seguir e refere-se ao fluxograma da Figura 18.

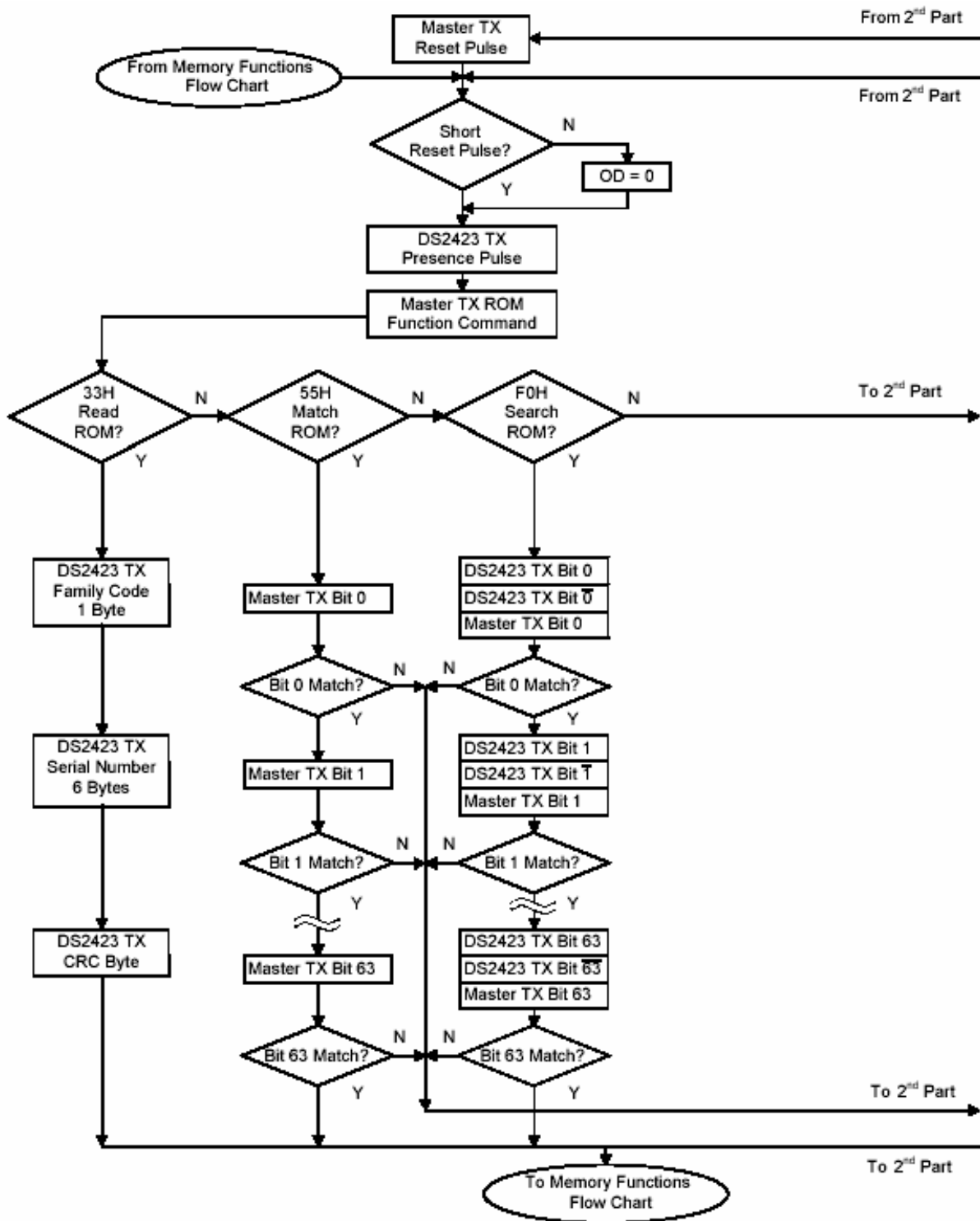


Figura 18- Lógica de execução das funções de memória de apenas leitura (ROM) – 1ª parte.

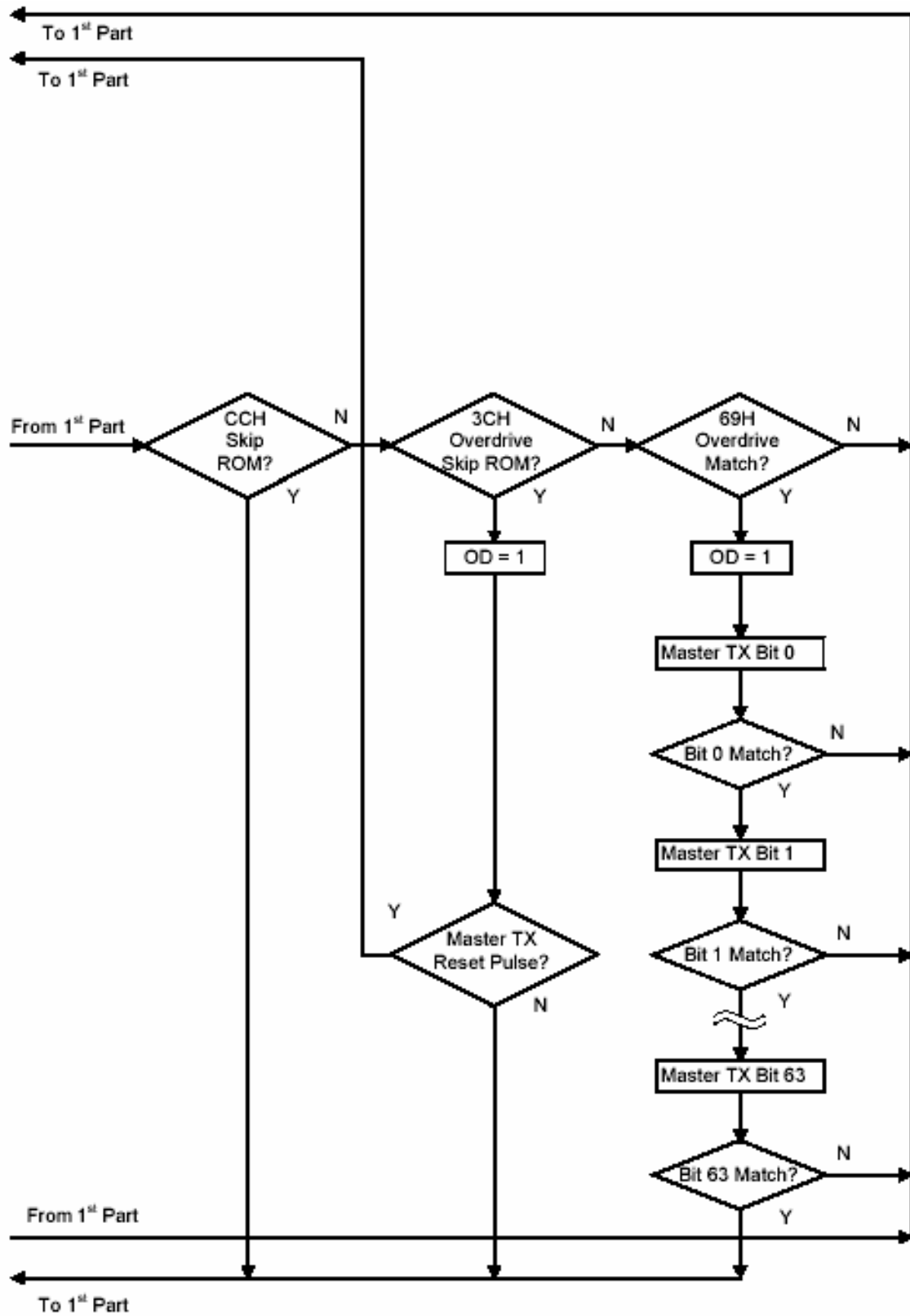


Figura 18- Lógica de execução das funções de memória de apenas leitura (ROM) – 2ª parte.

a) Overdrive Skip ROM (3Ch)

Esse comando, ao contrário do comando *Skip ROM* normal, coloca o DS2423 em modo de alta velocidade (OD=1), podendo operar com velocidades de 142 kbits por segundo. Toda a comunicação seguinte a esse comando ocorrerá a alta velocidade até que um novo pulso, com duração mínima de 480 μ s, retorne os dispositivos DS2423 à velocidade regular de 16,3 kbits por segundo (OD=0).

b) Overdrive Match ROM (69h)

O comando *Overdrive Match ROM*, seguido por um endereço de um DS2423 qualquer (ID), permite ao mestre acionar a alta velocidade apenas neste último. Escravos que já se encontram em modo alta velocidade ou em modo normal, permanecerão como estão. Vários dispositivos escravos, com os respectivos endereços internos, podem ser comandados dessa maneira.

Todos os outros “comandos de função ROM” são similares aos do circuito integrado DS2438, descritos no item 3.3.3.2.

3.4.3.3- Comandos da função Memória

Os protocolos de comando necessários para acesso à memória estão no fluxograma da Figura 19. A comunicação entre o mestre e DS2423 será em velocidade normal (OD=0) se não for especificada a alta velocidade (OD=1).

A Tabela 10 apresenta o conjunto de comandos para leitura e escrita de dados na memória volátil do DS 2423.

Tabela 10– Conjunto de comandos de memória do DS2423

Instrução	Descrição	Protocolo	Barramento 1-Wire depois de expedir o protocolo
Comandos de memória			
Read Scratchpad	Lê bytes do <i>scratchpad</i>	BEh	Lê dados de até 9 bytes
Write scratchpad	Escreve bytes no <i>scratchpad</i> nos endereços xxh	4Eh	Escreve até 8 bytes de dados
Copy scratchpad	Cópia todo <i>scratchpad</i> nas memórias não voláteis (endereços xxh)	48h	Bit Memória =1 até cópia completa
Recall Memory	Cópia todo <i>scratchpad</i> nas memórias não voláteis (endereços xxh)	B8h	Bit Memória =1 até cópia completa

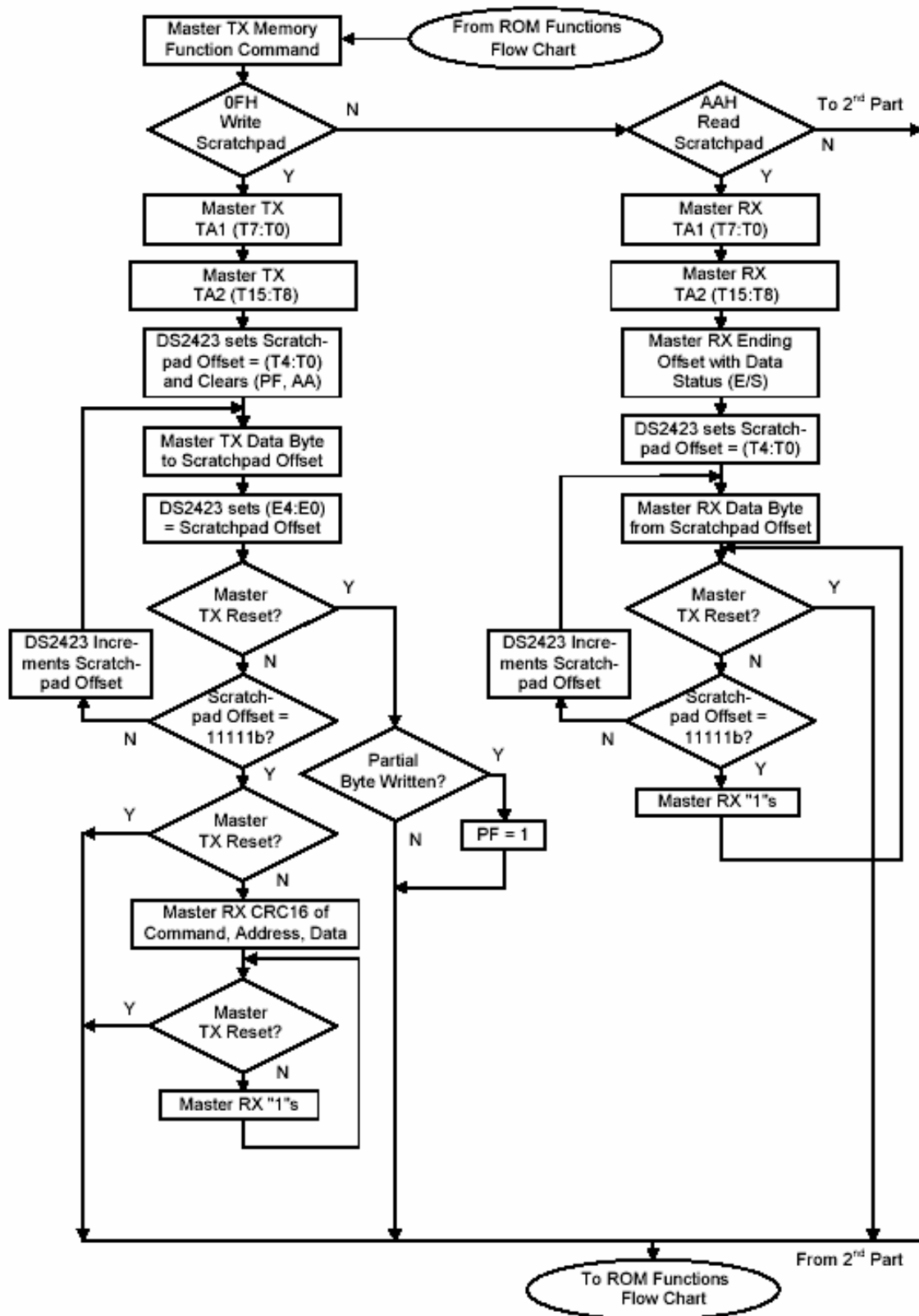


Figura 19- Lógica de funcionamento dos comandos da função de memória – 1ª parte.

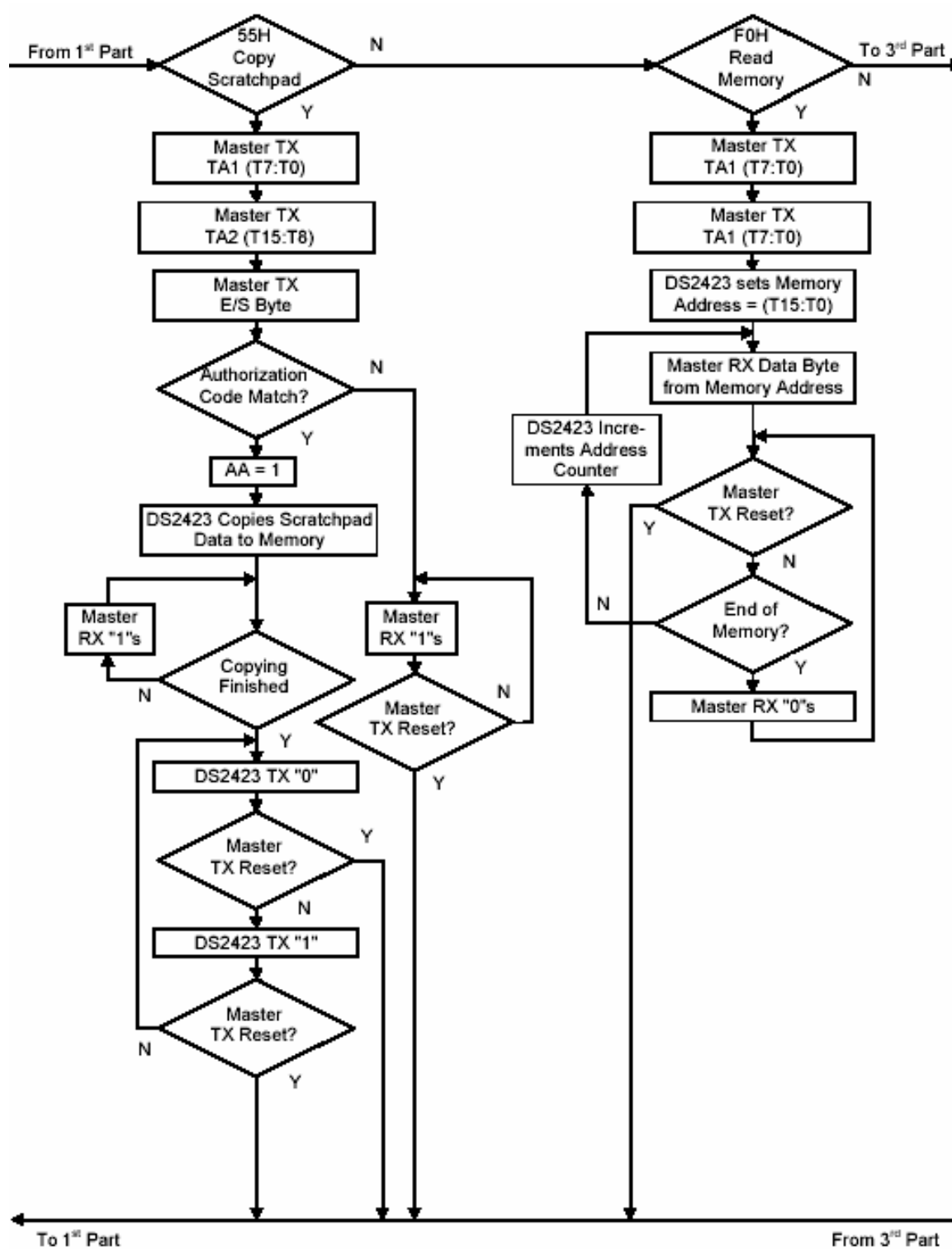


Figura 19- Lógica de funcionamento dos comandos da função de memória – 2ª parte.

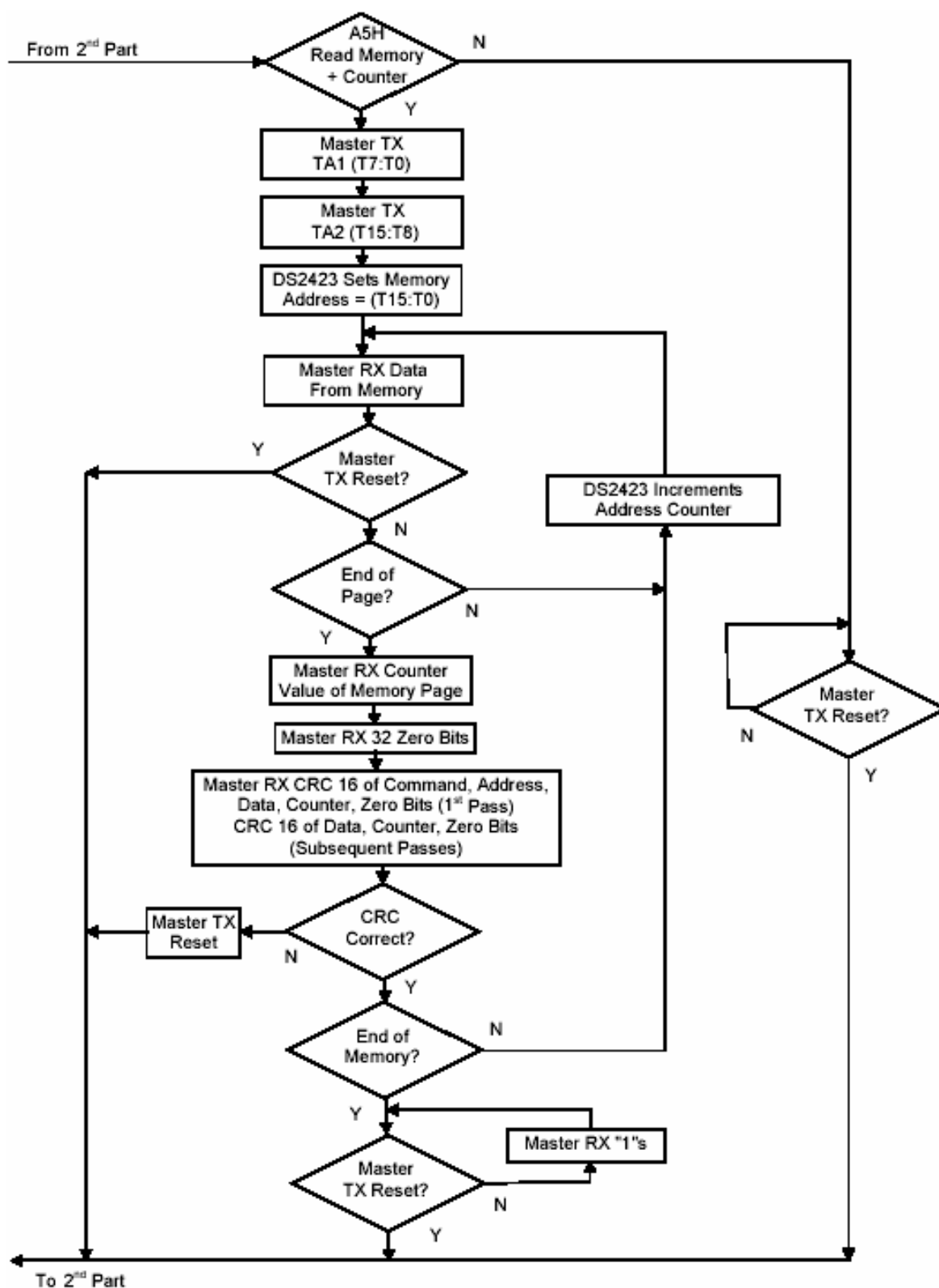


Figura 19- Lógica de funcionamento dos comandos da função de memória – 3ª parte.

a) Write Scratchpad (0Fh)

Depois de emitido o comando *Write Scratchpad*, o mestre tem que prover, primeiramente, 2 bytes no endereço designado, seguidos pelo dado a ser escrito na memória *Scratchpad*.

b) Read Scratchpad (AAh)

Esse comando lê o conteúdo da memória de rascunho (*scratchpad*) e endereço alvo. Os primeiros 2 bytes serão lidos como o endereço alvo, o próximo byte será lido como os dados da memória (*scratchpad*).

c) Copy Scratchpad (5Ah)

Esse comando copia o conteúdo da memória de rascunho (*scratchpad*) em uma memória do DS2423. O dado a ser copiado é definido por três registros de endereço, TA1, TA2 e E/S, levando em torno de 30 μ s para acontecer todo o processo de cópia.

3.4.3.4- Mapa da memória

A memória do DS2423 é organizada conforme mostra a Figura 18. A memória consiste em uma memória temporária de acesso aleatório (*scratchpad RAM*) e uma memória de acesso aleatório não volátil (*NVRAM*). A memória temporária ajuda garantir a integridade dos dados durante as transferências através do barramento *1-wire*[™].

Os dados são, primeiramente, escritos na memória temporária, de onde podem ser lidos (*read back*). Depois de terem sido verificados, um comando *copy scratchpad* transferirá os dados para a memória de acesso aleatório não volátil, garantindo, assim, a integridade dos dados quando se modifica o conteúdo da memória.

ADDRESS		
	32-BYTE INTERMEDIATE STORAGE SCRATCHPAD	
0000H TO 001FH	32-BYTE FINAL STORAGE NV RAM	page 0
0020H TO 003FH	32-BYTE FINAL STORAGE NV RAM	page 1
0040H TO 005FH	32-BYTE FINAL STORAGE NV RAM	page 2
0060H TO 007FH	32-BYTE FINAL STORAGE NV RAM	page 3
0080H TO 017FH	FINAL STORAGE NV RAM	page 4 to page 11
0180H TO 019FH	32-BYTE FINAL STORAGE NV RAM	page 12
01A0H TO 01BFH	32-BYTE FINAL STORAGE NV RAM	page 13
01C0H TO 01DFH	32-BYTE FINAL STORAGE NV RAM	page 14
01E0H TO 01FFH	32-BYTE FINAL STORAGE NV RAM	page 15

Figura 20- Mapa de memória para o DS2423.

3.4.3.5- Transferência de dados

Os dados do DS2423 são lidos e escritos em função da duração dos intervalos de tempo (*time slots*), utilizados para manipular bits e da função de comando que especifica a operação a ser executada.

Os demais comandos são similares aos apresentados para DS2438 no item 3.3.3.5

3.4.3.6- Seqüência de acesso

Apresentam-se algumas seqüências de dados referentes à transferência de dados entre um dispositivo DS2423 e um computador com interface entre a porta serial e uma rede *1-wireTM* efetuada com base em um circuito DS2480.

A Tabela 11 apresenta a seqüência de comandos necessários para que o dispositivo mestre leia a página de memória 14, realize a contagem de pulso na entrada A, escreva na memória *Scratchpad* e copie o dado para memória *Scratchpad* do DS2423.

Na Tabela 11 TX representa um caractere ou *byte* enviado pelo mestre e RX um caractere ou *byte* recebido por ele.

Tabela 11- Sequência de comandos para um DS2423

Modo do mestre	Dado transmitido	Comentários
TX	<i>Reset</i>	Pulso de reinicialização (480 a 960µs)
RX	Presença	Pulso de presença
TX	CCh	Comando Skip ROM
TX	A5h	Leitura de memória + contador
TX	C0h	TA1, iniciando offset=C0h
TX	01h	TA2, address= <u>01</u> C0h
RX	<32 bytes dados>	Lê 32 bytes de dados
RX	<4 bytes dados>	Lê contagem pela entrada A
RX	<4 bytes dados>	Lê 32 zero bits
RX	<2 bytes dados>	Lê CRC invertido (CRC16)
TX	<i>Reset</i>	Pulso de reinicialização
RX	Presença	Pulso de presença
TX	CCh	Comando Skip ROM
TX	0Fh	Comando <i>write scratchpad</i>
TX	C0h	TA1, iniciando offset=C0h
TX	01h	TA2, address= <u>01</u> C0h
RX	<32 bytes dados>	Lê 32 bytes de dados para <i>scratchpad</i>
RX	<2 bytes dados>	Lê CRC invertido (CRC16)
TX	<i>Reset</i>	Pulso de reinicialização
RX	Presença	Pulso de presença
TX	CCh	Comando Skip ROM
TX	5Ah	Comando <i>copy scratchpad</i>
TX	C0h	TA1
TX	01h	TA2
TX	1Fh	E/S
RX	<1 bytes dados>	Lê resposta de <i>copy scratchpad</i>
TX	<i>Reset</i>	Pulso de reinicialização
RX	Presença	Pulso de presença, final.

4- MATERIAL E MÉTODOS

4.1- Introdução

Esse trabalho foi desenvolvido no Setor de Energia na Agricultura do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV e nos Laboratórios do curso de Instrumentação Eletrônica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Ouro Preto - CEFET/Ouro Preto.

Considerando-se que todas as medições das variáveis foram validadas tomando-se como referência equipamentos de laboratório de alta precisão e específicos para cada variável, uma tabela final de dados foi elaborada para se obter a relação entre a leitura em tempo real de cada Instrumento Digital Endereçável (IDE) e a leitura correspondente obtida pelo equipamento de laboratório. Uma dispersão entre esses valores deverá ser constatada, visto que quatro dos IDE utilizados (medidores de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar) utilizam conversores analógicos digitais, DS2438, que apresentam em sua saída um valor em de tensão em volts não exatamente linear em função da grandeza final a ser determinada e, posteriormente, registrada. Para obtenção da relação das variáveis medidas em função da variável independente padrão, foi utilizado o método dos mínimos quadrados. Com as sub-rotinas disponibilizadas na INTERNET pela *Dallas Semiconductor*, filtragens digitais e taxas de amostragem foram, também, construídas dentro do programa computacional (LINDEN, 1997).

Foram avaliadas as médias e variâncias conforme referências convencionais da estatística (VUOLO, 1996), nas medições físicas dos IDE.

Os outros dois IDE (medição de precipitação pluviométrica e direção do vento) utilizam contadores DS2423, registram os eventos que são tratados pelo programa computacional a fim de gerar as grandezas esperadas.

As Figuras 21 e 22 mostram o circuito integrado DS2438 e o circuito integrado DS2423 em placa de circuito impresso para testes iniciais.

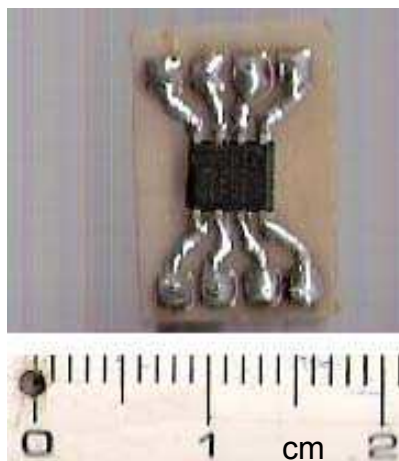


Figura 21- Circuito integrado DS2438 montado em placa para testes.



Figura 22- Circuito integrado DS2423 montado em placa para testes.

4.2- Desenvolvimento do programa computacional

O programa computacional utilizado nesse trabalho foi desenvolvido em linguagem de programação Java, baseado em sub-rotinas disponibilizadas na INTERNET pela *Dallas Semiconductor*. A linguagem de programação Java foi escolhida em função do excelente nível em que foram disponibilizados os exemplos para o sistema *1-Wire™*, com código fonte, detalhamento técnico e, também, pelo grande número de possibilidades que a linguagem Java coloca para a evolução desse trabalho e outros relacionados (LOPES, 2005).

O programa computacional, inicialmente, indica as sub-rotinas que são necessárias para o reconhecimento da interface entre computador e sistema *1-Wire™* (circuito adaptador), o reconhecimento das famílias dos dispositivos *1-Wire™* e o acionamento do controle de redundância cíclica (CRC). Depois define a formatação de data/horário (*SimpleDateFormat("dd/MM/yyyy HH:mm:ss")*) e número de casas decimais para variáveis (*decimalFormat("##0.00,DSF")*), procura pelo circuito adaptador (*getDefaulAdapter*) e a porta de comunicação do computador utilizada (*getAdapterAddress*). Se o adaptador for encontrado, ele procura por dispositivos conectados à rede (*findFirstDevice*), se for identificada a presença de algum dispositivo, define quais famílias estão conectadas à rede, que nesse trabalho são os códigos 1Dh para o DS2423 (*OneWireContainer1D*) e 26h para o DS2423 (*OneWireContainer26*), e disponibiliza os dados conforme o dispositivo e seu endereço gravado internamente.

A Figura 23 mostra o fluxograma básico para o programa computacional.

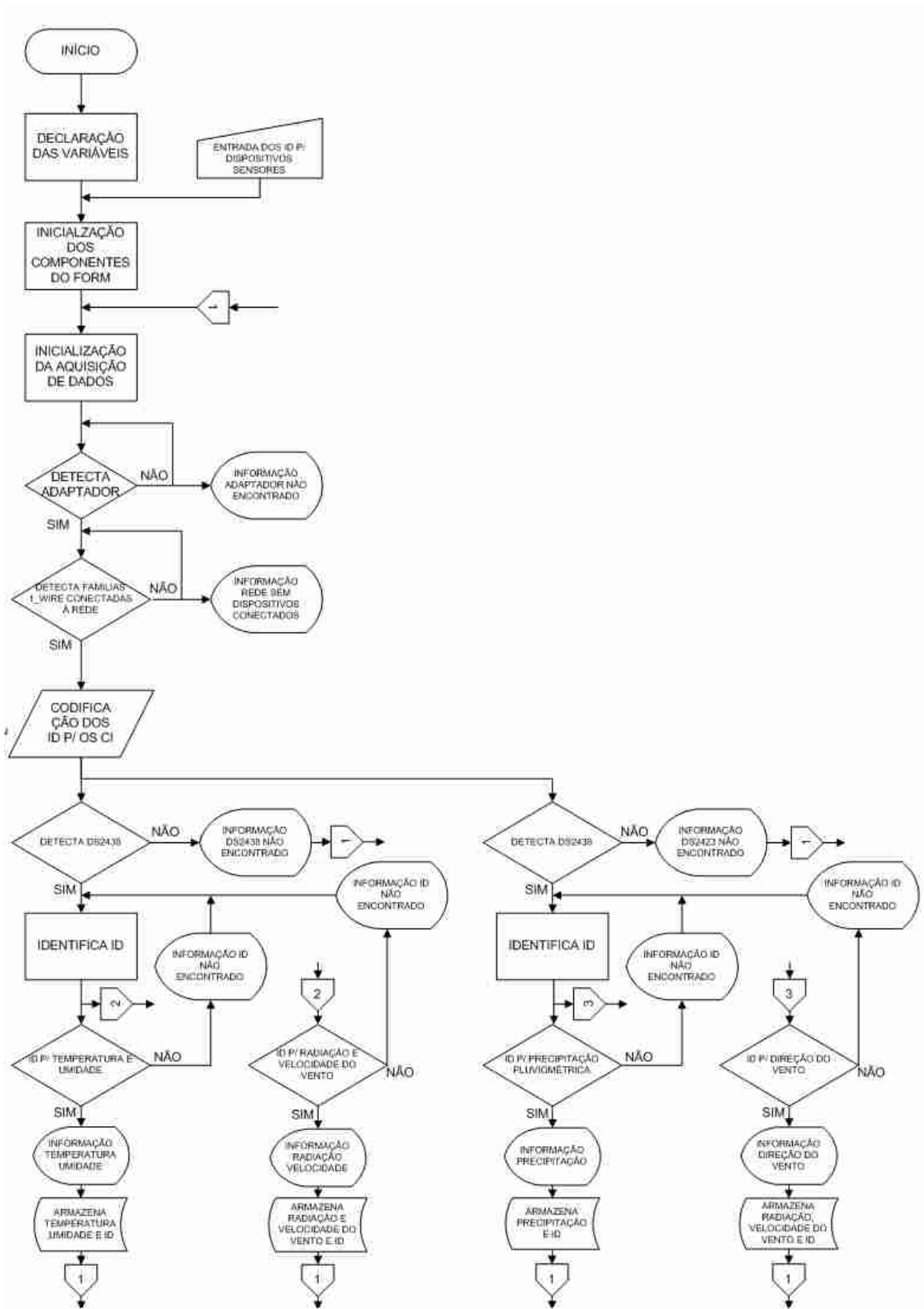


Figura 23- Fluxograma básico para o programa computacional.

A Figura 24 mostra a tela principal do programa computacional.



Figura 24- Tela principal do programa com as indicações dos seis IDE.

Os valores do endereço interno do IDE (ID) e respectiva leitura, a data e o horário são armazenados em arquivo texto (txt) podendo ser enviados a uma planilha eletrônica para serem acumulados por dia, mês e por ano para registro e consultas posteriores, por exemplo.

Com a estrutura básica desse programa disponibilizada na Internet pela *Dallas Semiconductor* para identificação e leitura da rede *1-Wire™*, juntamente com seus circuitos integrados (CI), para esse trabalho os CI DS2438 e DS2423, o programa foi estruturado de modo a tratar as variáveis lidas conforme a particularidade de cada um dos seis IDE descritos a seguir.

4.3- Instrumento Digital Endereçável para Medição de Precipitação Pluviométrica

Muitos eventos requerem a medição tanto do total como de uma quantidade por unidade de tempo (taxa), incluindo-se, nesses eventos, a precipitação de chuvas.

Na medição de precipitação pluviométrica, cada vez que um pequeno reservatório reclinável enche-se e esvazia-se pelo acúmulo de chuva, um pequeno ímã permanente move-se junto com o reservatório, acionando o interruptor magnético. Esse procedimento fecha a chave momentaneamente e incrementa o contador, indicando que precipitou 0,25 mm (0,01 polegada) de chuva, conforme definido pelo volume de chuva que enche o reservatório e o faz reclinár.

Esse interruptor acionado magneticamente (*Reed switch*), usado como entrada para um contador DS2423, o DS2423-1, permite facilmente a medição desses eventos. O circuito com um interruptor magnético para uso em um medidor de precipitação pluviométrica é mostrado na Figura 25. Diodos BAT54S são usados internamente para proteger o circuito de sinais com valores abaixo do sinal de referência, e, com um capacitor, formam uma fonte local de potência.

Embora o DS2423-1 possua um resistor de polarização ascendente (pull-up) interno, para evitar flutuações no sinal de entrada, seu alto valor ($\approx 22\text{M}\Omega$) pode torná-lo susceptível a ruídos. Para evitar a geração de contagens espúrias durante o acionamento e minimizar o aparecimento de ruídos, um resistor de polarização descendente (pull-down), R1, de $1\text{M}\Omega$ é utilizado (AWTREY, 1999).

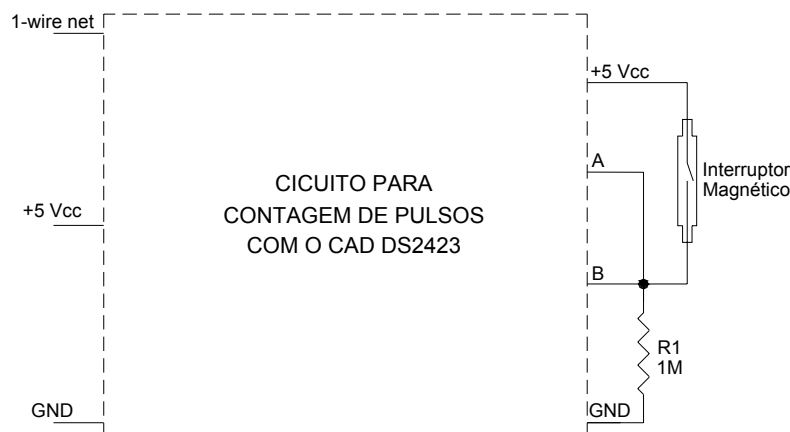


Figura 25- Circuito básico de um IDE que incorpora um contador DS2423 com um interruptor magnético.

A Figura 26 ilustra esse reservatório reclinável e o coletor de chuva.



Figura 26- Conjunto com reservatório reclinável para medição de precipitação pluviométrica e o coletor de chuva.

No programa computacional, quando detectada a família do DS2423-1 com sucesso, o seu endereço interno é lido (`getAddressAs`) e a contagem obtida pelo acionamento liga-desliga do interruptor magnético na entrada “A” do DS2423-1 é lida pelo comando `acum=cont.readCounter(15)`. Assim, encontra-se o total de precipitação de chuva acumulado até o horário do registro, conforme equação 3.

$$P = \text{acum} \times 0,25 \quad (3)$$

em que

P = total de precipitação acumulada, mm;

acum = número de contagens realizadas pelo contador em frações de 0,25 mm.

4.4- Instrumento Digital Endereçável (IDE) para Medição de Direção do Vento

Além de conhecer a velocidade do vento, a direção na qual ele está soprando é de particular interesse e pode ser medida com um IDE. A medição da direção do vento pode ser calculada pelo programa computacional, tomando a relação entre a defasagem da chegada dos pulsos na entrada “A” e na entrada “B” de um outro contador DS2423, o DS2423-2, utilizando-se um dispositivo do tipo codificador (*encoder*) incremental.

O codificador incremental é um dispositivo capaz de medir deslocamentos angulares ou lineares, muito utilizado pelo *mouse* de um computador pessoal. A Figura 27 ilustra sua utilização como medidor da direção do vento.

Na medida em que o vento gira o eixo em função do leme, gira-se, também, um disco com ímãs e esses, fixados em ângulo de 45° (Figura 27), acionam em seqüência os dois interruptores magnéticos, fixados a $22,5^\circ$ que geram pulsos defasados no tempo que possibilitam ao programa computacional calcular, pelo número de pulsos e sua seqüência, a posição angular e, também, em qual sentido houve o deslocamento. Nesse IDE que utiliza o codificador incremental, existe a necessidade de se referenciar o sistema sempre que houver desligamentos de energia elétrica.

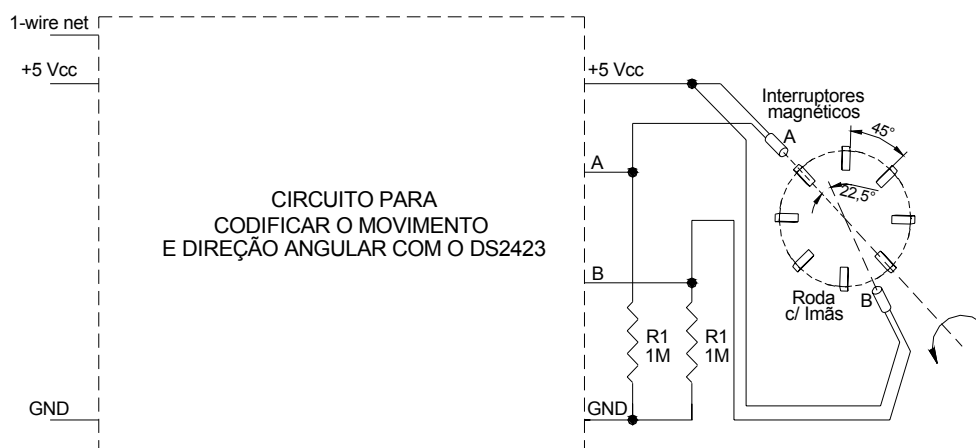


Figura 27- Circuito básico de um IDE com um codificador incremental.

A Figura 28 mostra detalhes da montagem do leme, que direciona o disco com os ímãs e os interruptores magnéticos.

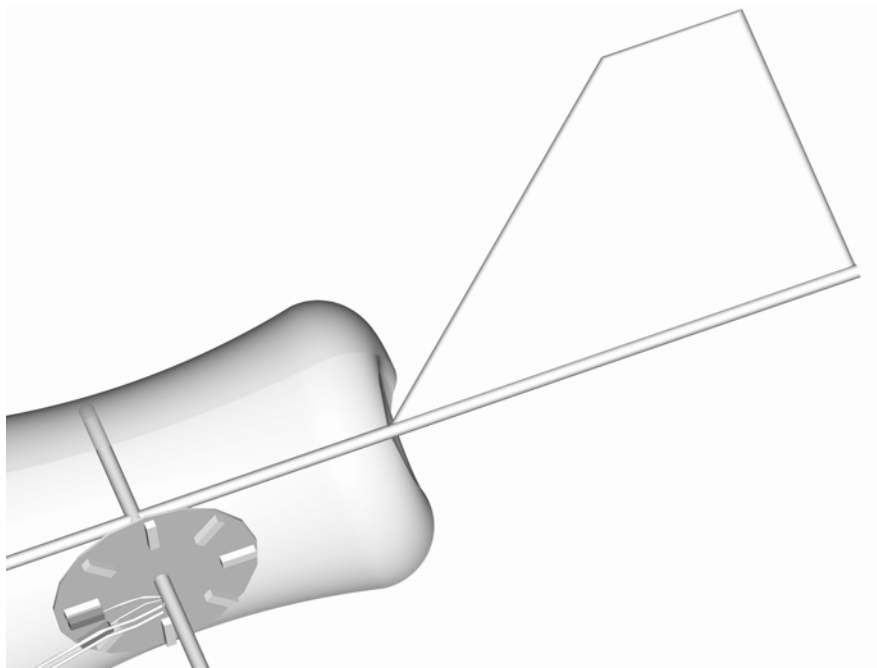


Figura 28- Detalhes do disco com ímãs e interruptores magnéticos para medição da direção do vento.

Feita a leitura da contagem na entrada “A” (*readCounter(15)*) e na entrada “B” (*readCounter(14)*), os valores são comparados ($\text{contA} < \text{ou} > \text{contB}$) e subtraídos ($\text{contA} - \text{contB}$). Em função dos resultados das comparações e subtrações, o programa determina a direção, em graus, do vento em relação ao norte (zero graus).

A direção do vento e a leitura do horário (*format(horario)*) em que ocorreu são mostrados na tela de apresentação do programa conforme o intervalo definido no comando *Timer*, como ilustrado na Figura 24.

4.5- Instrumento Digital Endereçável (IDE) para Medição da Velocidade do Vento

Para medição da velocidade do vento, foi utilizado um transdutor de velocidade (tacômetro) que converte as rotações em seu rotor em um sinal de tensão elétrica proporcional à velocidade. As rotações proporcionais à velocidade do vento são obtidas pela passagem do vento pelas hélices do tacômetro. O sinal de saída em volts do tacômetro pode, finalmente, ser aplicado a uma das entradas de um conversor analógico digital (CAD) DS2438, o DS2438-1, constituindo-se, então, em um IDE para medição da velocidade do vento, conforme ilustra a Figura 29.

A rede RC na saída do tacômetro é um filtro passa-baixa que elimina ruídos de baixo nível, introduzidos no circuito de condicionamento de sinal.

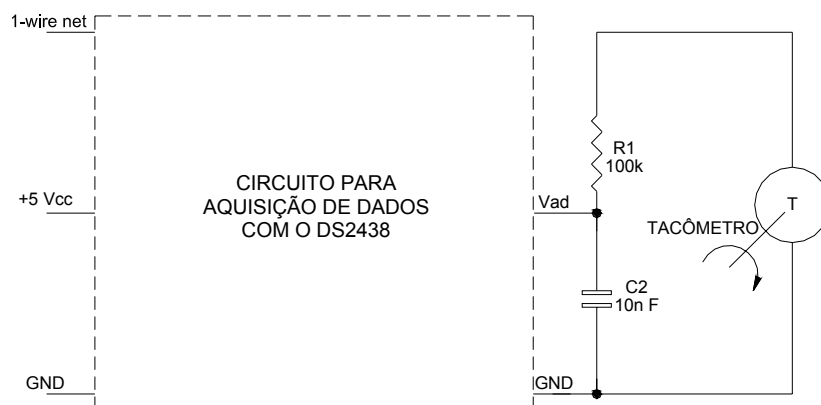


Figura 29- Circuito básico de um IDE que incorpora um CAD DS2438 com um tacômetro.

A Figura 30 mostra detalhes da montagem do tacômetro.

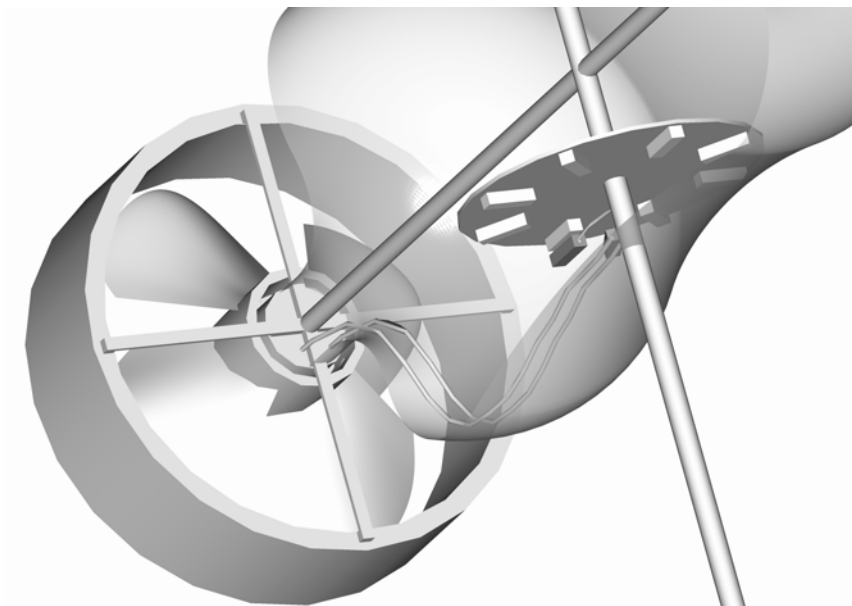


Figura 30- Tacômetro utilizado para medição da velocidade do vento

No programa computacional, quando detectada a família do DS2438-1 com sucesso, o seu endereço interno é lido (*getAddressAs*), é feita a conversão analógico-digital para a entrada de tensão (*uc.doADConvert(uc.CHANNEL_VAD,estado)*) e o valor resultante da conversão A/D (*VAD=uc.getADVoltage(uc.CHANNEL_VAD,estado)*) é armazenado. Assim, com o valor da leitura, associado à variável VAD, encontra-se o valor da velocidade, em km/h, em função dessa leitura em volts.

4.6- Instrumento Digital Endereçável (IDE) para Medição da Temperatura Ambiente

Para medição da temperatura ambiente, foi utilizado o sensor de temperatura que vem incorporado em todo DS2438 e já calibrado pelo fabricante. Como o valor da temperatura ambiente também é utilizado para o cálculo do valor da umidade relativa, em um outro DS2438, os DS2438-2 que também são utilizados para a determinação da umidade, é feita, então, a leitura da temperatura.

No programa de computador, detectada a família do DS2438-2 com sucesso, o seu endereço interno é lido (*getAddressAs*), é feita a conversão para a temperatura em °C (*uc.doTemperatureConvert(estado)*), depois de definida a resolução para o sensor de temperatura ambiente em 0,1 °C (*uc.setTemperatureResolution(0.1,estado)*) e feita a sua leitura, associando-a à variável TEMP (*TEMP = uc.getTemperature(estado)*).

4.7- Instrumento Digital Endereçável para Medição de Umidade Relativa do Ar

A umidade relativa é convertida, primeiramente, em um valor proporcional em volts por meio de um sensor de umidade relativa. O sensor utilizado é o HIH-3610 fabricado pela *Honeywell* e recomendado pela própria *Dallas Semiconductor*. O sensor de umidade HIH-3610 (Figura 31) é fornecido com a equação para determinação da umidade relativa do ar.

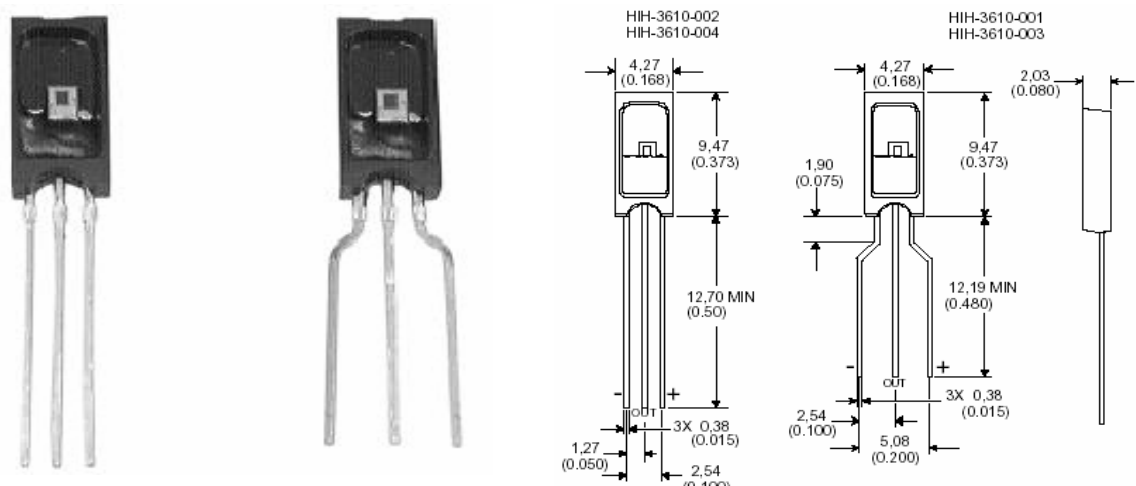


Figura 31- Sensor de umidade relativa HIH-3610 – Foto e dimensões.

A Figura 32 apresenta a linearidade do sensor, relacionando a tensão de saída com a umidade relativa.

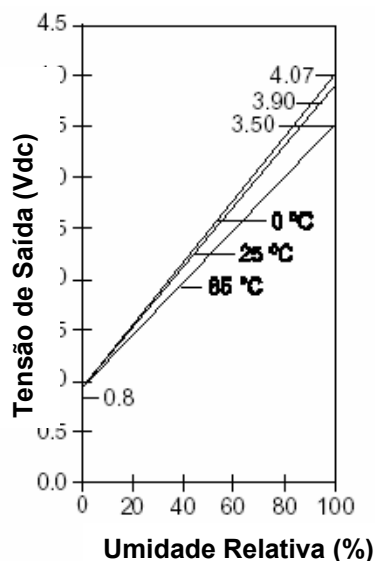


Figura 32- Tensão de saída do HIH-3610 em função da umidade relativa do ar. (Fonte *Honeywell*)

O elemento sensor capacitivo da *Honeywell*, especificado aqui, produz uma tensão linear em função da umidade relativa (UR) que é diretamente proporcional à tensão de alimentação. Isso torna necessário medir tanto a tensão no elemento sensor como sua tensão de saída. Além disso, o cálculo da UR real requer o conhecimento da temperatura no elemento sensor. Uma vez que ele possui todas as funções de medição necessárias para realizar os cálculos, o DS2438-2 é usado para compor um IDE para medição da umidade relativa. A Figura 33 ilustra a ligação do DS2438-2 com o sensor de umidade relativa HIH-3610.

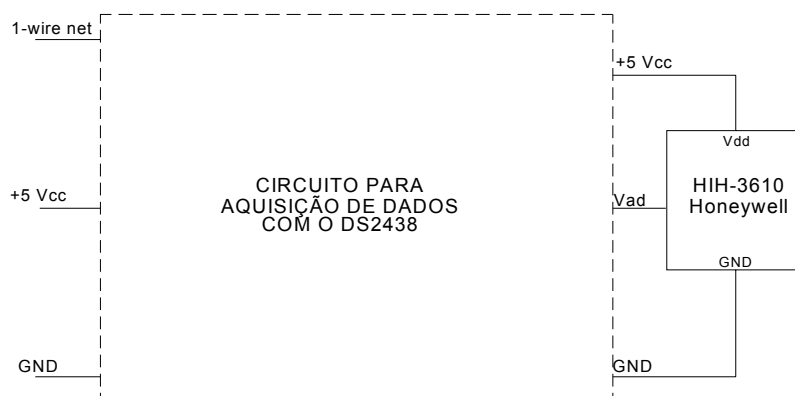


Figura 33- Circuito básico de um sensor para medição de umidade relativa.

No programa computacional, quando detectada a família do DS2438-2 com sucesso, o seu endereço interno é lido (*getAddressAs*), é feita a conversão analógico-digital para a tensão de alimentação (*uc.doADConvert(uc.CHANNEL_VDD,estado)*), depois a conversão A/D para a tensão (*uc.doADConvert(uc.CHANNEL_VAD,estado)*) e, finalmente, é feita a leitura de VDD (*VDD=uc.getADVoltage(uc.CHANNEL_VDD,estado)*) e VAD (*VAD=uc.getADVoltage(uc.CHANNEL_VAD,estado)*). Assim, com o valor da variável TEMP já obtido na medição da temperatura ambiente, encontra-se o valor da umidade relativa, conforme as equações 4 e 5.

$$UR = ((VAD/VDD)-0,16)/0,0062; \quad (4)$$

$$UMID = UR/(1.0546-0.00216*TEMP); \quad (5)$$

em que

UR = umidade relativa para temperatura fixa em 25 °C, %;

VAD = tensão na saída do sensor de umidade relativa, V;

VDD = tensão de alimentação, V;

UMID = umidade relativa corrigida em função da temperatura ambiente, %;

TEMP = temperatura ambiente, °C.

4.8- Instrumento Digital Endereçável (IDE) para Medição de Radiação Solar

A quantidade de radiação solar e sua duração são parâmetros adicionais que os meteorologistas estão interessados em medir. A duração está relacionada ao comprimento do dia. Em sensores comerciais, filtros óticos são normalmente adicionados para casar o comprimento de onda e a banda de passagem à resposta do olho humano. Unidades mais sofisticadas adicionam outras características desejáveis, tais como um hemisfério translúcido, que coleta luz para capacitar o sensor a varrer o céu de um horizonte ao outro (BUTLER, 1999).

O sensor de radiação solar é baseado em células fotovoltaicas. Como mostrado na Figura 34, uma célula solar apropriada é conectada à entrada de corrente do conversor DS2438-1 por meio do divisor de tensão, R1 e R2. A entrada de tensão do DS2438-1 já foi usada para o IDE de medição da velocidade do vento.

O divisor é necessário para limitar o valor típico de tensão de 450 mV, gerado pela célula solar, ao valor máximo absoluto de 300 mV, permitido ao DS2438.

Valores de resistores para o divisor são escolhidos de forma a evitar carregar indevidamente a célula com sua capacidade máxima. Uma vantagem desse procedimento é que várias células podem ser montadas para facear diferentes setores do céu, para cobertura de horizonte-a-horizonte.

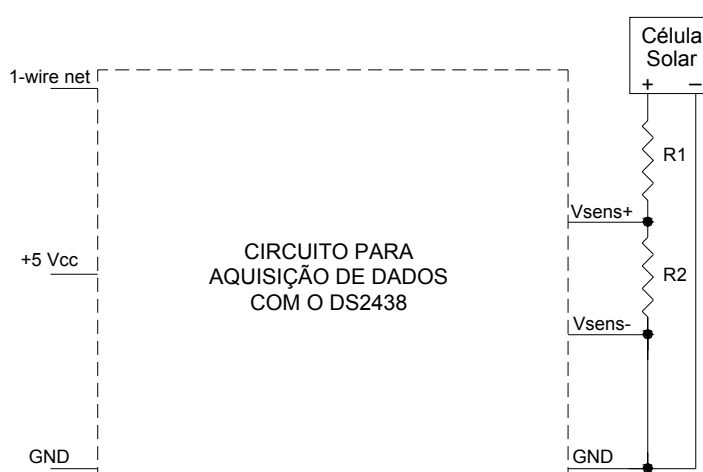


Figura 34- Circuito básico de um sensor para medição de radiação solar com base em uma célula fotovoltaica.

A Figura 35 mostra a célula solar fotovoltaica montada.

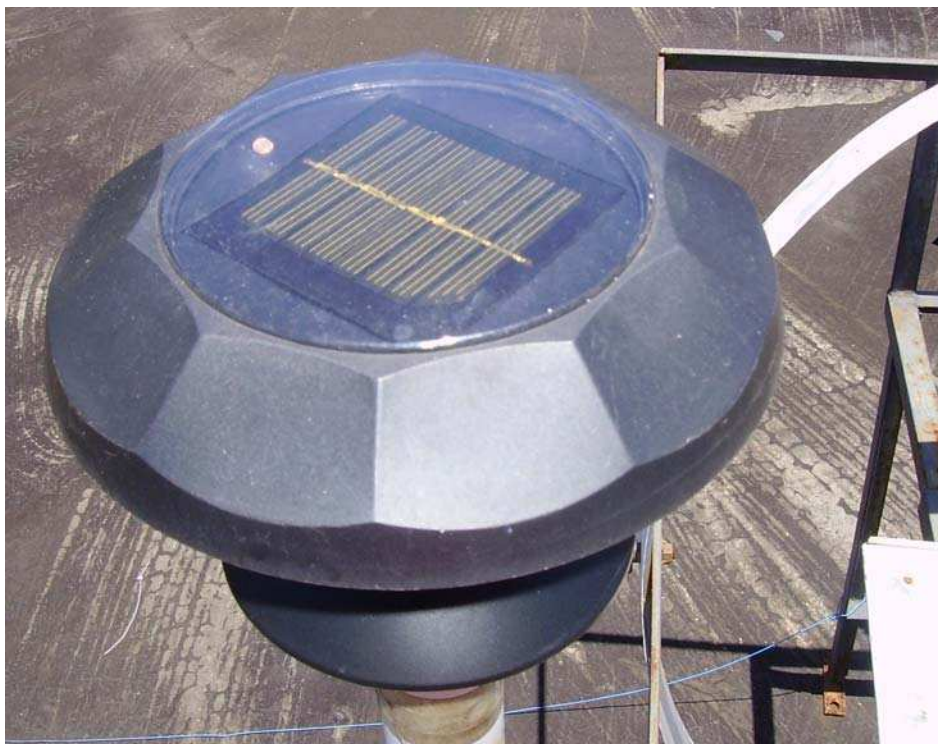


Figura 35- Vista superior da célula solar fotovoltaica.

No programa computacional, quando detectada a família do DS2438-1 com sucesso, o seu endereço interno é lido (*getAddressAs*), é feita a conversão analógico-digital para a entrada de corrente (*uc.doADConvert(uc.CHANNEL_IAD,estado)*), e o valor resultante é lido (*IAD=uc.getCurrent(uc.CHANNEL_IAD,estado)*). Assim, com o valor da leitura associado à variável IAD, encontra-se o valor da radiação solar em W/m^2 em função dessa leitura.

5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1- Sistema de aquisição de dados

O sistema de aquisição de dados está estruturado em um micro computador, que funciona como mestre, conectado fisicamente aos Instrumentos Digitais Endereçáveis (IDE), os escravos, por meio de uma rede *1-wire*TM composta por três fios, sendo alimentada por +5V, terra e dados. A Figura 36 esquematiza a conexão entre o mestre e a rede *1-wire*TM, e essa aos escravos.

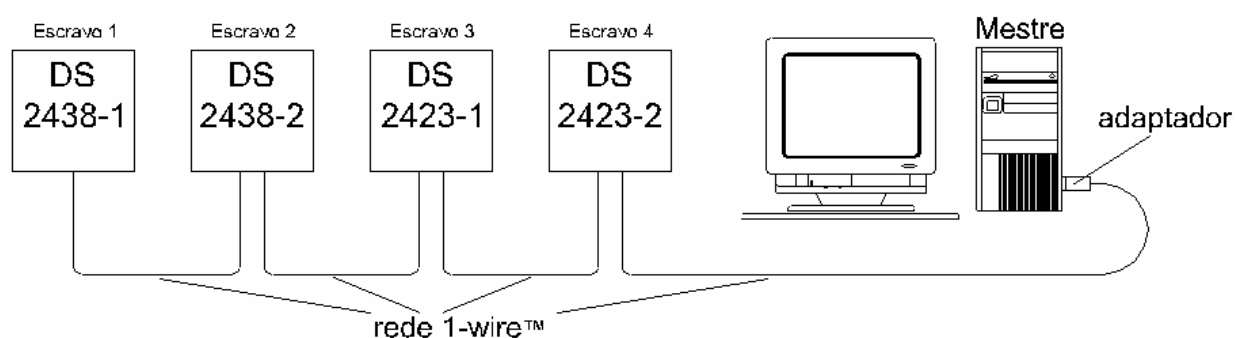
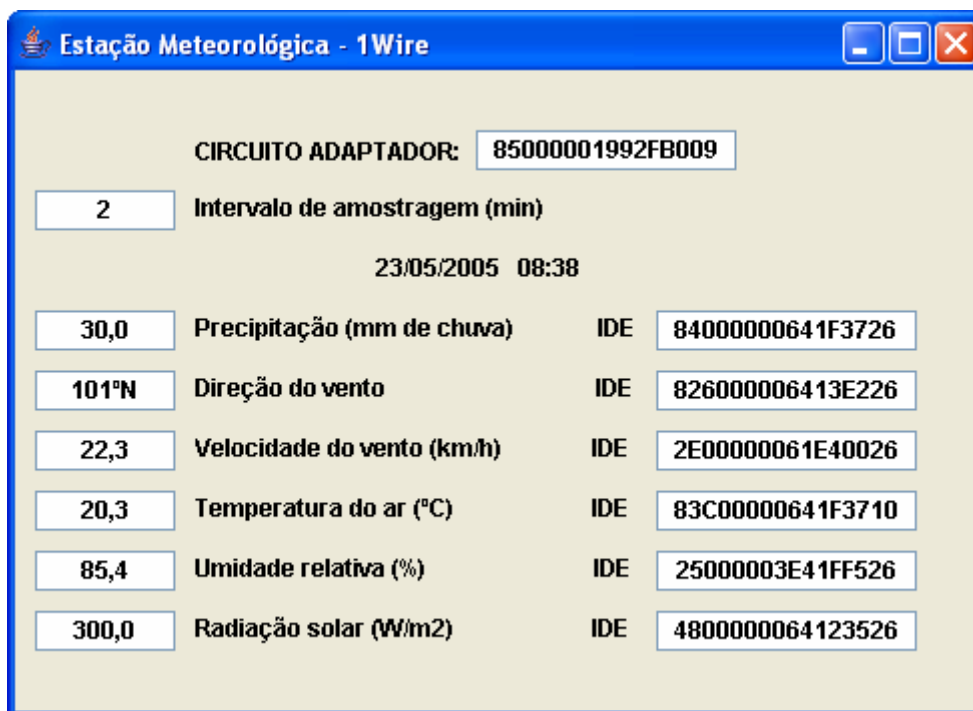


Figura 36- Diagrama esquemático para ligação da rede *1-wire*TM.

A tela principal do sistema (Figura 37) mostra a leitura em tempo real dos dados amostrados, os endereços dos IDE e do circuito adaptador, além de permitir a entrada do intervalo de amostragem de dados para todos os IDE. Nesse intervalo de tempo são feitas dez leituras e a média aritmética apresentada na tela principal.

Todos os dados constantes da tela principal são armazenados em arquivos eletrônicos, do tipo texto, para registro histórico e, também, para serem utilizados em planilhas eletrônicas, possibilitando a construção de gráficos, curvas de comportamento e o uso em fórmulas matemáticas, por exemplo.



Valor	Descrição	IDE
CIRCUITO ADAPTADOR: 85000001992FB009		
2	Intervalo de amostragem (min)	
23/05/2005 08:38		
30,0	Precipitação (mm de chuva)	84000000641F3726
101°N	Direção do vento	826000006413E226
22,3	Velocidade do vento (km/h)	2E00000061E40026
20,3	Temperatura do ar (°C)	83C00000641F3710
85,4	Umidade relativa (%)	25000003E41FF526
300,0	Radiação solar (W/m ²)	4800000064123526

Figura 37- Tela principal do programa computacional de aquisição de dados.

5.2- Testes experimentais para calibração e ajustes dos IDE

No Brasil, o Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO) publica o Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (VIM) que busca a padronização da terminologia, adequado ao vocabulário internacional. No VIM (2ª edição de 2000) calibração de um instrumento se refere ao conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões e ajuste de um instrumento à operação destinada a fazer com que um instrumento de medição tenha desempenho compatível com seu uso. Desse modo, os IDE foram calibrados a partir de instrumentos de laboratório específicos para cada aplicação e, posteriormente, ajustados diretamente no programa computacional que estrutura a apresentação final dos dados.

5.2.1- Precipitação pluviométrica

No IDE para medição da precipitação pluviométrica, como se resume em registro de eventos, isto é, incrementa um contador sempre que o reservatório reclinável enche-se e esvazia-se pelo acúmulo de chuva, a calibração se limita em comprovar o volume de chuva que, efetivamente, é capaz de reclinar o reservatório e acionar o interruptor magnético. O fabricante do reservatório reclinável utilizado garante que, a cada movimento, precipitou 0,25 mm de chuva. O valor da precipitação na tela principal do sistema indica o valor acumulado de chuva até o horário presente. A Tabela 12 mostra as especificações do pluviômetro utilizado neste trabalho.

Tabela 12- Características técnicas do Pluviômetro de balança

Especificações	Dado	Comentários
Diâmetro do funil	152 mm	
Área de coleta	181,5 cm ²	
Erro	1%	Até 20 mm/h
Resolução	0,25 mm	
Transdutor	Interruptor magnético	Contato NA
Nivelamento	Nível de bolha	Ajuste por três parafusos

5.2.2- Direção do vento

Na medição da direção do vento a disposição física dos dois interruptores magnéticos em relação ao disco com ímãs e a sua posição anterior registrada define a direção do vento, e, para a calibração das medições de direção, foi comparada a indicação na tela principal do sistema de aquisição de dados com a posição física do disco com ímãs conforme desenho mostrado na Figura 28, da seção referente à metodologia. A Tabela 13 apresenta as especificações do medidor de direção do vento.

Tabela 13- Características técnicas do Medidor de direção do vento

Especificações	Dado	Comentários
Diâmetro do disco	12 cm	
Resolução	22,5 graus	
Transdutor	Interruptor magnético	Contato NA

5.2.3- Velocidade do vento

A calibração do IDE para medição da velocidade do vento foi feita tomando-se como padrão o transdutor fabricado pela *Alnor Company* (AVT-55 Figura 38), tendo como princípio básico de funcionamento o aquecimento de uma ponta sensora (Figura 39) que altera sua temperatura em função da velocidade da corrente de ar, que a atravessa.



Figura 38- Medidor de velocidade do ar AVT-55.

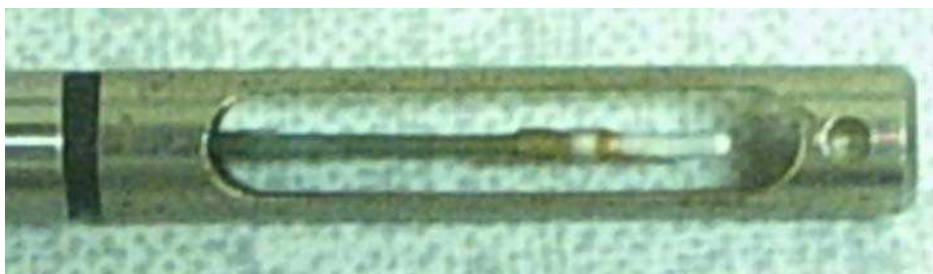


Figura 39 - Ponta sensora do medidor de velocidade do ar AVT-55.

As tensões geradas (volts) em função da velocidade do vento no IDE são registradas juntamente com a velocidade (m/s) obtida no AVT-55 (Tabela 14). O modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi obtido por meio do método dos mínimos quadrados (HANSELMAN e LITTLEFIELD, 1999). Para simular a variação da velocidade do vento foi utilizado um ventilador comum e instalado um controlador de velocidade eletrônico.

Tabela 14- Leituras do tacômetro e do Medidor de velocidade do ar AVT-55

AVT-55 (m/s)	Tacômetro (V)	Comentários
1,36	0,054	Menor indicação no tacômetro (mV)
1,40	0,054	
1,45	0,054	
1,78	0,255	
1,80	0,257	
1,85	0,350	
2,35	0,495	
2,42	0,522	
2,45	0,517	
3,25	0,644	
3,95	0,728	
4,58	0,979	
4,80	1,192	
4,90	1,192	
5,48	1,274	
5,58	1,277	
5,66	1,293	
6,23	1,348	
6,38	1,494	
7,10	1,572	
6,65	1,591	Velocidade máxima do ventilador

A equação que melhor se ajustou aos dados experimentais foi a reta, definida na Equação 6, com inclinação significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo “teste t”. Adotado esse modelo, obteve-se um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9748, demonstrando uma excelente correlação entre o Instrumento Digital Endereçável (IDE) e o instrumento padrão utilizado, mesmo assim, o resultado é apenas um indicativo de precisão da equação ajustada. o intervalo de confiança foi $P(3,4843 \leq \beta \leq 4,0493) = 95\%$.

$$VEL = (3,7668 \times VAD + 0,7659) \times 0,36 \quad (6)$$

em que

VEL = velocidade do vento, km.h^{-1} ;

VAD = tensão na saída no tacômetro, V.

A Figura 40 mostra a comparação dos dados experimentais e os estimados pela equação ajustada.

Observa-se que a equação de primeiro grau pode ser utilizada para estimar com precisão satisfatória a velocidade do vento, proporcionando fácil implementação computacional.

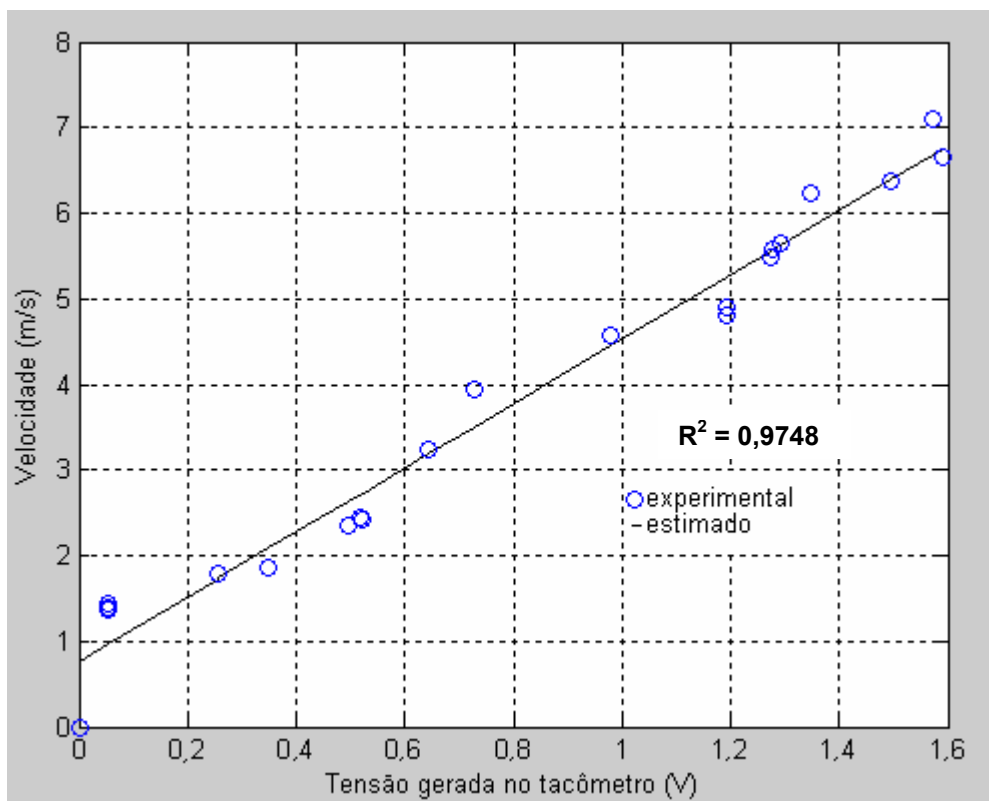


Figura 40- Comparação entre dados experimentais e estimados.

5.2.4- Temperatura ambiente

Para medição da temperatura ambiente foi a utilizado o sensor de temperatura DS1820 que vem incorporado em todo DS2438. A leitura de temperatura desse sensor é obtida, dentro do programa computacional, por meio da equação de ajuste fornecida pelo fabricante.

De acordo com a *DALLAS SEMICONDUCTOR* (2001), o sensor de temperatura DS1820, que está incorporado ao DS2438, apresenta uma variação máxima de temperatura de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ em torno do valor verdadeiro, quando opera dentro da faixa de temperatura compreendida entre 0°C e 70°C . A Tabela 15 mostra as leituras de temperatura feitas por um termômetro padrão digital junto ao DS2438 em uma estufa de laboratório com temperatura controlada.

Tabela 15- Leituras do termômetro padrão e do sensor de temperatura do DS2438

Termômetro padrão ($^{\circ}\text{C}$)	Sensor de temperatura do DS2438 ($^{\circ}\text{C}$)
19,5	20,0
21,5	21,6
23,5	23,2
25,5	25,9
27,5	27,5
29,5	29,3
31,5	31,0
33,5	33,1
35,5	35,7
37,5	37,5
39,5	40,0
41,5	41,2
43,5	43,6
45,5	45,9
47,5	47,5
49,5	48,4
51,5	51,7
53,5	53,7
55,5	55,9
57,5	57,5
59,5	59,6

A Figura 41 mostra a comparação dos dados experimentais e os estimados pela equação ajustada, podendo-se notar o alto valor encontrado para o coeficiente de determinação R^2 .

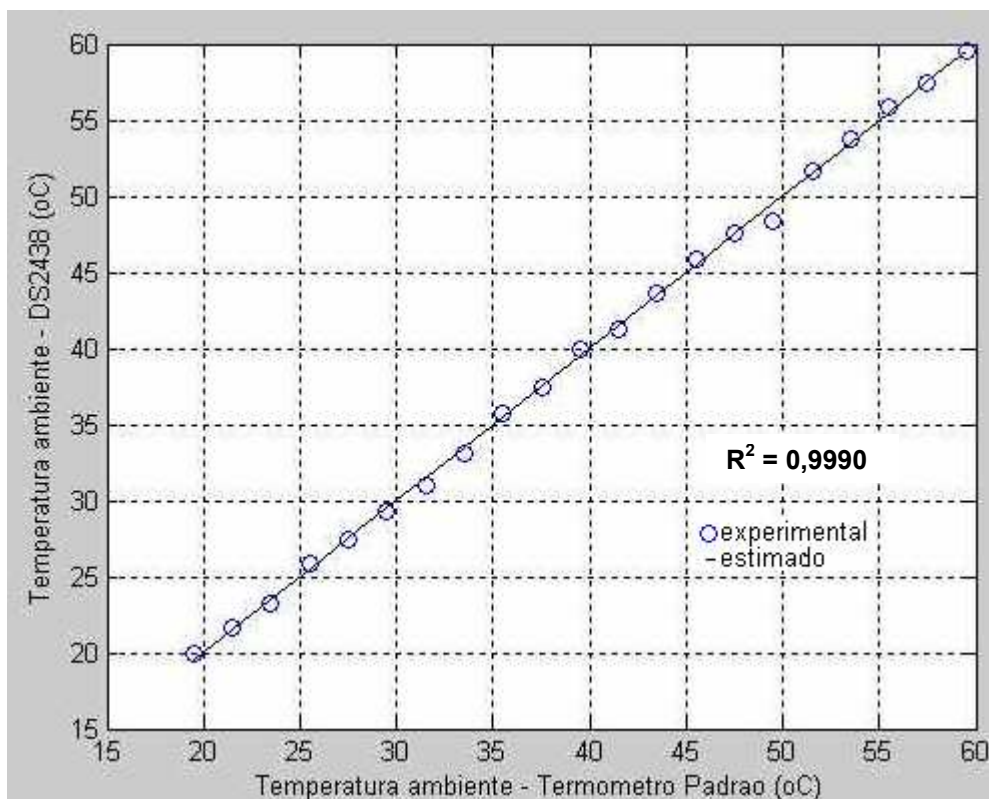


Figura 41- Comparação entre leituras de um termômetro padrão e o sensor de temperatura do DS2438.

A partir dos resultados obtidos na comparação do sensor de temperatura incorporado no DS2438, verificou-se que as temperaturas, medidas por esse sensor, apresentaram faixa de variação em torno do valor padrão, inferior à mencionada pelo fabricante.

5.2.5- Umidade relativa

A calibração do IDE para medição da umidade relativa do ar se resumiu em comparar os resultados obtidos pela equação de ajuste, fornecida pelo fabricante do sensor de umidade, e as leituras de um psicrômetro padrão (Tabela 16) que, com as leituras de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido, calculou-se a umidade relativa.

Com um consumo típico de corrente de $200\mu\text{A}$ a 5Vcc , o sensor HIH-3610 é ideal para aplicações em sistemas de baixo consumo. Sua faixa térmica é de $-40\text{ }^\circ\text{C}$ a $+85\text{ }^\circ\text{C}$ e apresenta 2% de precisão até 90% de umidade relativa.

Tabela 16-. Leituras do Psicrômetro e do IDE para medir umidade relativa

UR - Psicrômetro (%)	IDE com HIH-3610 (%)	Comentários
65	64,8375	Início 14h dia 17/09/04
64	63,8400	
66	65,8350	
65	64,8375	
64	63,8400	
64	63,8400	
64	63,8400	
63	62,8425	
62	61,8450	
63	62,8425	
63	62,8425	
63	62,8425	
62	61,8450	
62	61,4250	
62	61,8450	Final 18h dia 17/09/04

Analisando a Figura 42, pode-se observar a coerência entre os valores obtidos por meio do psicrômetro e do IDE para medição de umidade relativa. Um erro sistemático pode ser observado nas leituras, mas essa diferença pode ser compensada na equação de ajuste, não comprometendo a exatidão dos resultados obtidos com o sensor de umidade relativa HIH-3610 nessa faixa de medição.

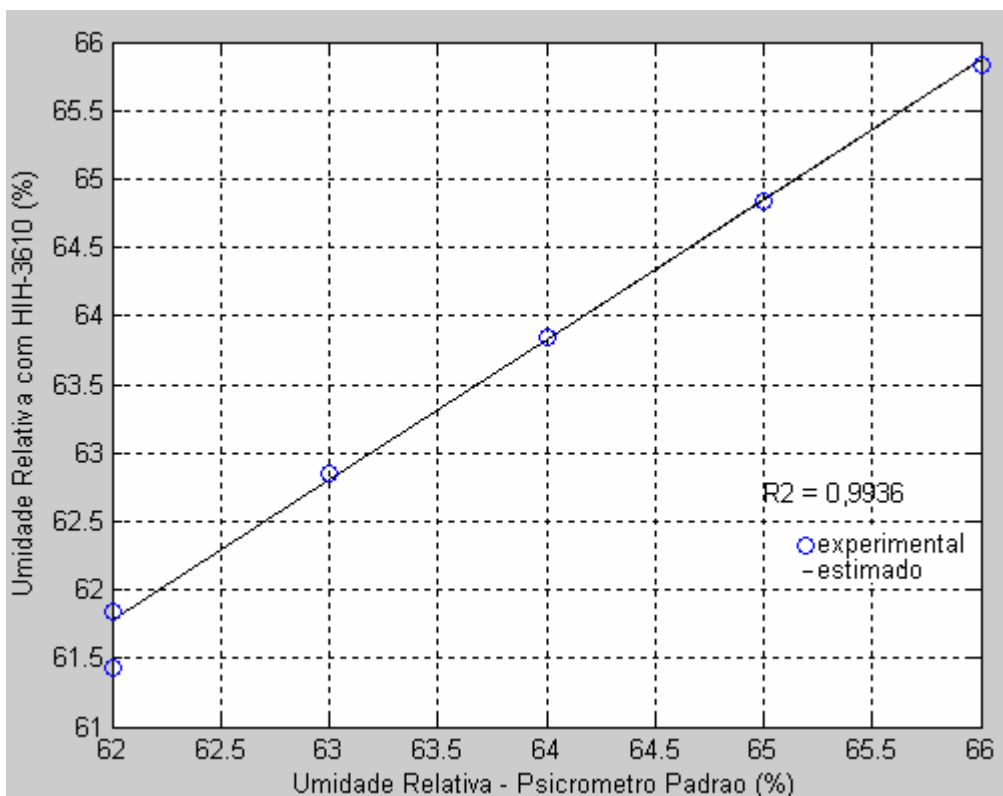


Figura 42- Comparação entre leituras de um psicrômetro padrão e o sensor de umidade relativa do ar.

5.2.6- Radiação solar

Nesse IDE para medição da radiação solar o sistema padrão utilizado foi composto por piranômetros que medem a radiação global fabricados pela *Kipp&Zonen*. Este instrumento caracteriza-se pelo uso de uma termopilha (Figura 43) que mede a diferença de temperatura entre duas superfícies, uma pintada de preto e outra pintada de branco igualmente iluminadas. A expansão sofrida pelas superfícies provoca um diferencial de potencial que, ao ser medido, mostra o valor instantâneo da radiação solar.

Nesse trabalho utilizou-se um piranômetro que utiliza uma célula fotovoltaica de silício monocristalino para coletar medidas solarimétricas. Este piranômetro é largamente utilizado, pois apresenta custo bem menor do que os equipamentos tradicionais. Pelas características da célula fotovoltaica, este aparelho apresenta limitações por apresentar sensibilidade em apenas 60% do espectro de radiação solar incidente.



Figura 43- Piranômetro do tipo termopilha montado junto à célula fotovoltaica.

Para coletar os valores da diferença de potencial gerada na termopilha e enviá-la a um microcomputador foi utilizado o *Data Logger* fabricado pela *Campbell Scientific Inc* (Figura 44).

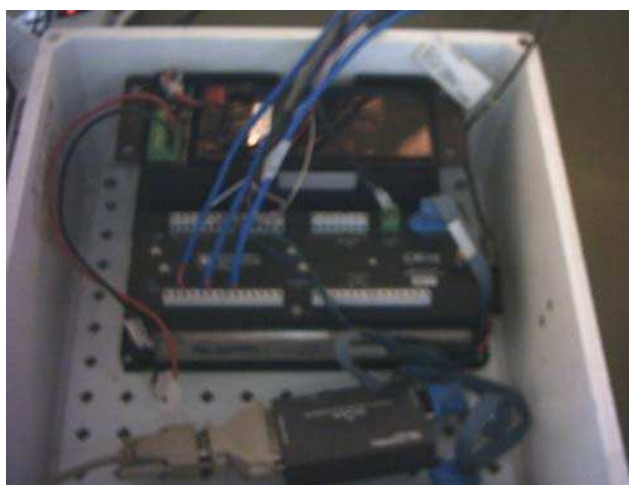


Figura 44- *Data Logger* para coleta de dados do piranômetro tipo termopilha

As tensões (volts) geradas em função da radiação solar no coletor fotovoltaico do IDE são registrados juntamente com a radiação solar (W/m^2) obtida pelo sistema padrão (Tabela 17).

Embora haja variações, aparentemente não lineares, na radiação solar em função da tensão gerada na célula solar, não foi possível estabelecer claramente um modelo matemático não-linear para estimar esse parâmetro. Por esta razão, adotou-se o modelo linear, que apresentou um ajuste razoável ($R^2 = 0,8977$) aos dados experimentais, permitindo fácil implementação computacional por meio da Equação 7.

Tabela 17- Leituras da termopilha e da Célula fotovoltaica

Termopilha (W/m ²)	Célula Fotovoltaica (V)	Comentários
50,5986	3,19	Início 11:26h dia 27/05/05
80,7088	3,56	
134,2275	3,58	
175,5393	3,61	
207,7558	3,62	
218,9574	3,63	
241,3127	3,72	
264,2424	3,76	
277,8375	3,77	
292,4857	3,90	
313,2613	3,91	
316,1814	3,92	
361,4185	3,95	
435,1383	4,09	Término 16:50 dia 27/05/05

$$\text{RAD} = 447,7448 \times \text{Vsol} - 1429,1 \quad (7)$$

em que

RAD = radiação solar, W.m⁻²;

Vsol = tensão gerada na célula solar, V.

A Figura 45 mostra a comparação entre os dados experimentais e os estimados.

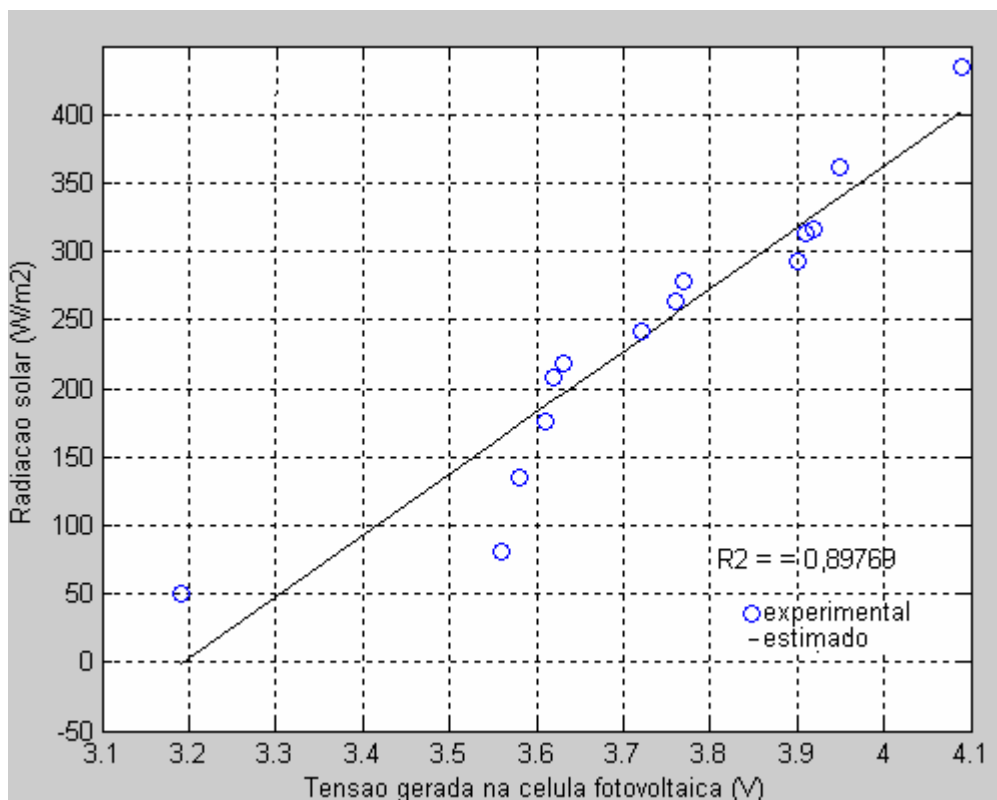


Figura 45- Comparação entre dados experimentais e estimados para radiação solar

Observa-se uma dispersão maior entre os valores experimentais e os estimados quando a radiação é menor, ou seja, entre 3,19 W/m² e 3,57 W/m², o que torna esse modelo linear adotado ainda pouco expressivo, considerando, também, que as quatro estações do ano não foram abrangidas dentro dessa comparação.

6- RESUMO E CONCLUSÕES

A necessidade de continuar a desenvolver sistemas baseados na tecnologia *1-wire™* da *Dallas Semiconductor* motivou a realização desse trabalho, visto que, em trabalhos anteriores, apenas o sensor de temperatura foi utilizado e já foi comprovada a operação da rede de comunicação de dados com alta confiabilidade e baixo custo.

A partir disso, utilizou-se o sistema *1-wire™* da *Dallas Semiconductor* para realizar a aquisição de dados em tempo real por meio de vários componentes diferentes, chamados escravos, ligados ao computador, chamado de mestre, por apenas três condutores. Esse sistema opera como uma rede de comunicação de dados de baixo custo e alta confiabilidade, com um mestre e múltiplos escravos, saída em dreno aberto e um resistor de polarização (*pull up resistor*) alimentado por uma fonte de corrente contínua de 5V. A *Dallas Semiconductor* disponibiliza no mercado vários sensores em circuitos integrados e, também, conversores analógicos digitais que ampliam consideravelmente a variedade de dados a serem manipulados.

Para validar o sistema, optou-se por experimentar seis variáveis que podem fazer parte de uma estação meteorológica: precipitação pluviométrica, direção do vento, velocidade do vento, temperatura do ar ambiente, umidade relativa e radiação solar. A realização dos testes iniciais para validação do sistema foi feita por meio de montagens mecânicas com material reutilizável, exceto o instrumento para medição de precipitação pluviométrica que foi testado, por enquanto, utilizando um equipamento industrializado.

O programa computacional desenvolvido baseou-se em programas exemplo e bibliotecas disponibilizadas pela *Dallas Semiconductor* via rede mundial de computadores, Internet, o que contribuiu para a realização da aquisição de dados com segurança e confiabilidade, pois por meio de um único comando são acionadas rotinas de teste para transmissão, decodificação do dado e leitura final do dado.

Com os testes realizados, foi possível apresentar, na tela principal do programa computacional, as leituras dos seis instrumentos com taxa de amostragem de 0,5 segundos.

A partir dos resultados obtidos e analisando-se as possibilidades de utilização do sistema em diferentes situações, conclui-se que a rede de comunicação a três fios apresentou desempenho satisfatório, considerando-se que, para instrumentos de meteorologia, a taxa de amostragem normalmente é bem maior que a obtida nos testes realizados.

O alto grau de exatidão apresentado pelos sensores de temperatura e umidade relativa utilizados junto aos componentes *1-wire*TM faz desses instrumentos excelentes opções para sistemas agrícolas, podendo ser aplicados em controle e monitoramento de ambientes.

Para o instrumento de medição da radiação solar é necessário um período maior de leituras, abrangendo as quatro estações climáticas, pois a equação adotada para ajuste não reflete totalmente o comportamento da radiação em função da tensão gerada pela célula fotovoltaica.

Quanto aos outros instrumentos, o grau de exatidão está intimamente relacionado à qualidade na montagem mecânica e resistência de seus componentes à incidência de chuva, variação de umidade e temperatura.

A utilização eficiente de conversores analógico-digitais, comunicando-se em rede com o computador mestre, possibilita seu uso para aquisição de dados de qualquer tipo de sensor, desde que eles não possuam, em sua saída, tensões superiores às permitidas por esses conversores.

7- SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A versatilidade dos sistemas de aquisição e controle de dados da tecnologia *1-wire*TM permite a implementação contínua de outros sistemas baseados na mesma rede, favorecendo a expansão de sistemas existentes, sem alterar significativamente a estrutura do sistema apresentada nesse trabalho.

Em sistemas agrícolas, nem sempre é possível ou viável dispor de um micro computador para funcionar como mestre. Em função disso, sugere-se a implantação de microcontrolador, encapsulado em circuito integrado, a fim de que ele funcione como mestre de um sistema *1-wire*TM. Nessa situação, opções de visualização dos dados podem ser feitas via mostradores de cristal líquido compatíveis com os microcontroladores, assim como teclados para entrada de dados para o programa computacional. O sistema *1-wire*TM, apesar de necessitar de um pequeno número de fios para transmissão de dados, permite também a utilização de transmissão de dados sem fio, via rádio frequência (RF), com a utilização de transmissores e receptores de RF comandados pelo microcontrolador.

Uma outra aplicação interessante pode ser construída para possibilitar o acesso, em tempo real, aos dados coletados pelos instrumentos endereçáveis, via rede mundial de computadores (INTERNET).

Não foi objetivo desse trabalho desenvolver uma estação meteorológica de baixo custo, mas os testes iniciais indicam ser um desenvolvimento interessante a ser continuado.

8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Autrey, D. **Transmitting Data and Power over a One Wire Bar**. Sensors Magazine, February 1997. <http://www.sensorsmag.com/articles0297/onewire/main.shtml>.

Awtrey, D. **1-Wire Addressable Digital Instruments for Environmental Monitoring**. Sensors, Magazine, 2002. <http://www.sensorsmag.com/articles0297/onewire/main.shtml>

Awtrey, D. **1-Wire Humidity Sensor**. Sensors Magazine, August 2000.. <http://www.sensorsmag.com/articles0297/onewire/main.shtml>.

Awtrey, D. **A 1-Wire Rain Gauge**. Sensors Magazine, December 1999. <http://www.sensorsmag.com/articles0297/onewire/main.shtml>.

Awtrey, D. **The 1-Wire Weather Station**. Sensors Magazine, June 1998. <http://www.sensorsmag.com/articles0297/onewire/main.shtml>.

Butler, W. **Integrated Optical Sensing of Changing Environmental Illumination**. Sensors Magazine, June 1999. <http://www.sensorsmag.com/articles0297/onewire/main.shtml>.

HANSELMAN, D.; LITTLEFIELD, B. **Matlab 5 Versão do Estudante - Guia do usuário**. São Paulo, Makron Books, 1999

LINDEN, P., **Just Java**. São Paulo: Makron Books, 1997.

MARTINS, J.H., MONTEIRO, P.M.B., Mota, A.M.M.N., Oliveira Filho, D. **Temperature and Humidity Measurement based on 1-Wire™ Technology**. 5th Portuguese Conference on Automatic Control – CONTROLO 2002, Aveiro, Portugal, 2002.

MONTEIRO, P.M.B. **Tecnologia 1-Wire™ Aplicada ao Controle em Tempo Real de Sistemas de Aeração de Grãos**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002a, Tese de Doutorado.

MONTEIRO, P.M.B., MARTINS, J.H., MOTA, A.M.M.N., Corrêa, P.C. **Real Time Control System Applied to Aeration Process of Stored Grains**. 5th Portuguese Conference on Automatic Control – CONTROLO 2002, Aveiro, Portugal, 2002b.

MOTA, A.M.M. **Sistemas de Aquisição de Dados e Controle Baseado no Barramento 1-Wire™**. Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2001.

PEREIRA, Fábio, **Microcontroladores PIC: Programação em C**. São Paulo: Érica, 2003.

STEIDLE NETO, A. J. N. **Avaliação do Sistema 1-Wire™ para Aquisição de Dados de Temperatura em Instalações Agrícolas**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003. Tese de mestrado

VUOLO, J. H. **Fundamentos da teoria de erros**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1996.

LOPES, D.C. **Programação de Sistemas com base em dispositivos da série 1-Wire™**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005. (Trabalho final, Doutorado em Engenharia Agrícola).

9- APÊNDICE



Figura 1A - Placa de circuito impresso para o contador DS2423.
Vista do lado dos componentes.

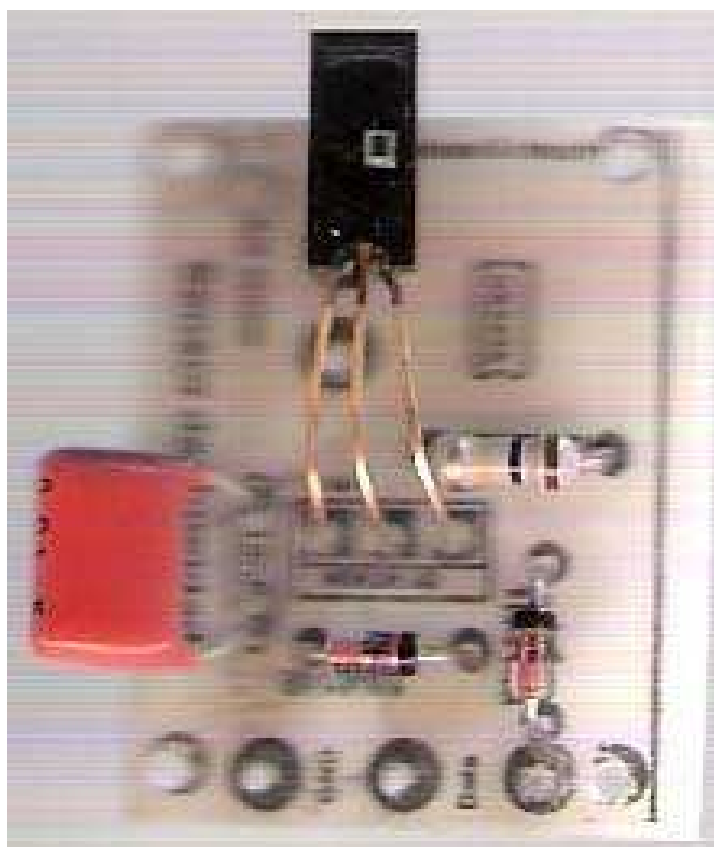


Figura 2A - Placa de circuito impresso para medição de umidade relativa. Vista do lado dos componentes.



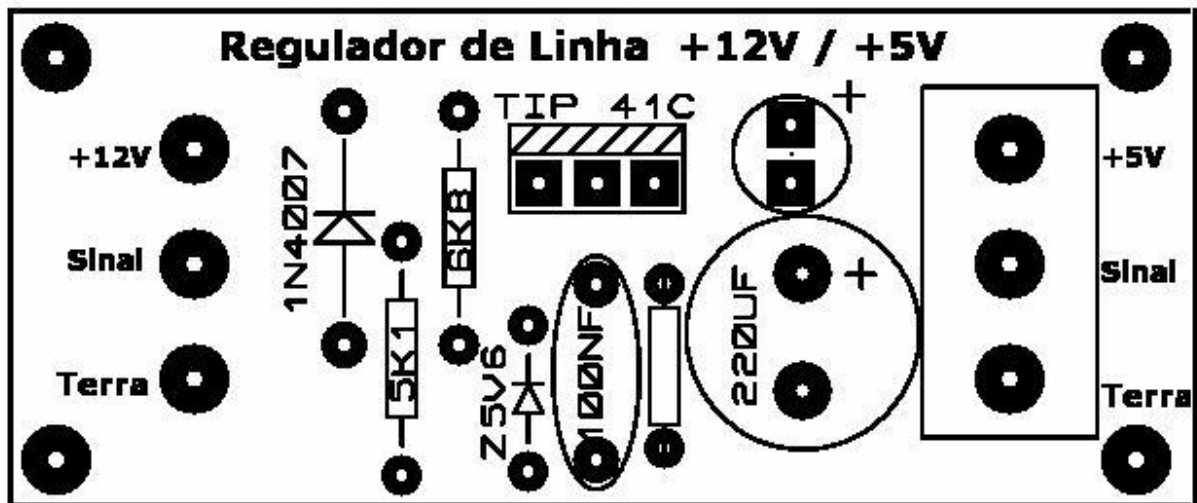
Figura 3A - Montagem dos ímãs em disco para o sensor de direção do vento.



Figura 4A - Montagem para aquisição de dados de radiação solar.

Regulador de linha usando Zener 5v6

Lado dos componentes



Lado da solda

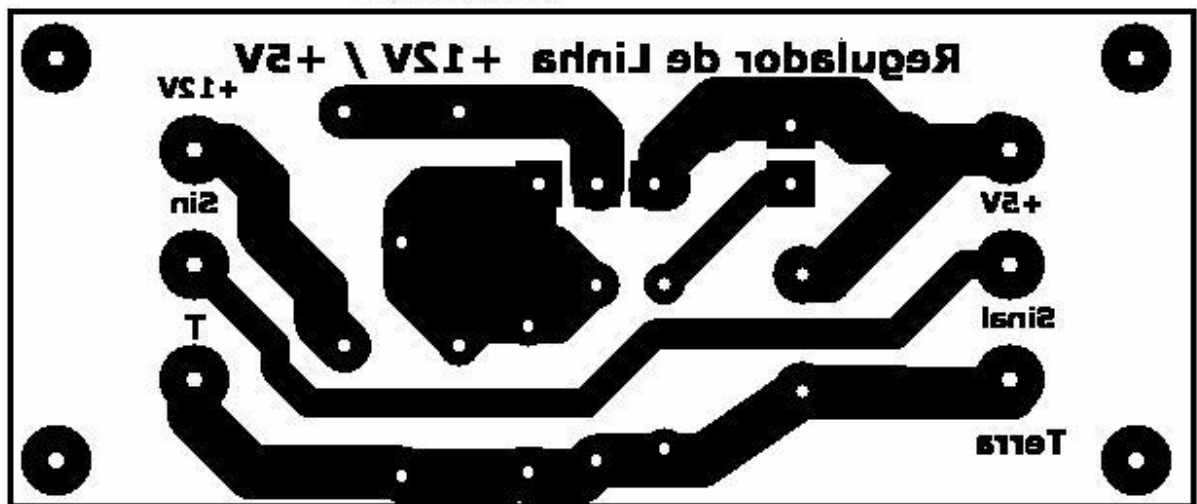


Figura 5A - Projeto para placa de circuito impresso da fonte de tensão.

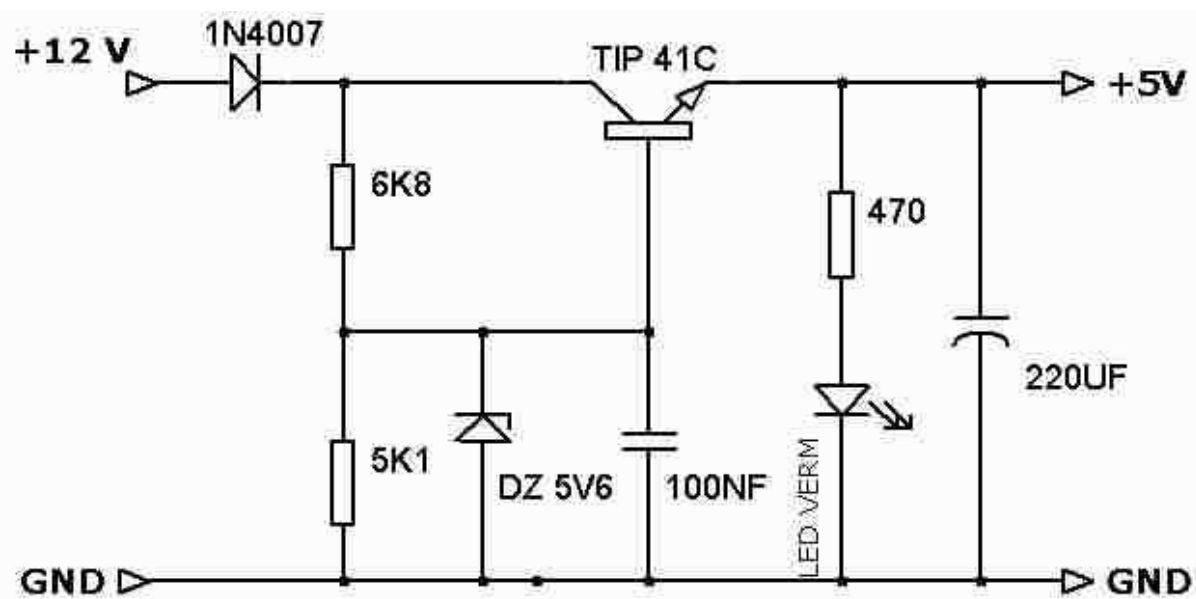


Figura 6A - Circuito básico da fonte de alimentação utilizada no trabalho.