

**Márcio Nazareno de Araujo Moscoso**

**Sistema de Telemetria para Aplicações no Campo  
Agrícola**

Dissertação de Mestrado submetida à Coordenação dos Cursos de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba – Campus II como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento da Informação

**Gurdp Singh Deep**  
**Orientador**

**José Sérgio da Rocha Neto**  
**Orientador**

Campina Grande, Paraíba, Brasil

©Márcio Nazareno de Araújo Moscoso, 2000



M896s      Moscoso, Marcio Nazareno de Araujo  
              Sistema de telemetria para aplicacoes no campo agricola  
              / Marcio Nazareno de Araujo Moscoso. - Campina Grande,  
              2000.  
              87 f.

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

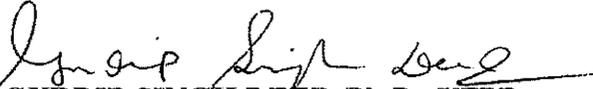
              1. Telemetria 2. Agrofisica de Dados 3. Modulacao FSK 4.  
              Dissertacao I. Deep, Gurdip Singh II. Rocha Neto, Jose  
              Sergio da III. Universidade Federal da Paraiba - Campina  
              Grande (PB)

CDU 621.398:631(043)

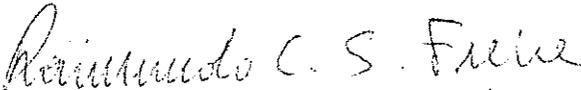
**SISTEMA DE TELEMETRIA PARA APLICAÇÕES NO CAMPO AGRÍCOLA**

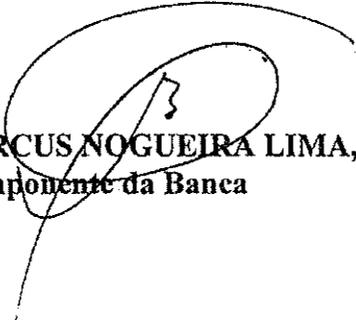
**MÁRCIO NAZARENO DE ARAÚJO MOSCOSO**

Dissertação Aprovada em 30.05.2000

  
**PROF. GURDIP SINGH DEEP, Ph.D., UFPB**  
Orientador

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

  
**PROF. RAIMUNDO CARLOS SILVÉRIO FREIRE, Dr., UFPB**  
Componente da Banca

  
**PROF. ANTONIO MARCUS NOGUEIRA LIMA, Dr., UFPB**  
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE - PB  
Maio - 2000

## **Dedicatória**

A Deus.

À minha esposa Valdenice Barros da S. Moscoso, que sempre acreditou em mim e soube compreender os momentos que estive distante.

Aos meus pais Adolfo G. Moscoso e Marilena de A. Moscoso e a minha irmã Ana Paula de A. Moscoso que sempre me apoiaram mesmo distantes.

## **Agradecimentos**

Aos professores Gurdip Singh Deep e José Sergio da Rocha Neto, pela orientação e apoio dedicados ao longo deste trabalho.

Ao professor Raimundo Carlos Silvério Freire, por sua ajuda e esclarecimentos.

Ao professor Antônio Marcus N. Lima, pelas sugestões que enriqueceram este trabalho.

Aos meus amigos: Luiz Alberto, Rômulo Pires, Cleumar Moreira, Lúcio Magno, Adolfo Sena e Agesandro pela ajuda e sugestões.

Aos colegas do laboratório LIEC, pela amizade.

À CAPES que financiou a realização deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema de telemetria para aquisição de dados em agricultura de precisão. A topologia deste sistema é baseada em uma estrutura estrela com uma unidade central e diversas unidades remotas. O *link* de comunicação entre a unidade central e as unidades remotas utiliza uma portadora modulada em frequência (FM). A informação digital é transportada sobre o canal de comunicação usando modulação FSK (*Frequency Shift Keying*).

A unidade remota é responsável pela aquisição dos dados dos sensores. Nesta unidade, um microcontrolador embarcado (Motorola 68HC11) é responsável pelo gerenciamento da aquisição de dados, do controle e pelo protocolo de comunicação. Um transceptor de FM foi desenvolvido para realizar a comunicação nos modos *simplex*, *half-duplex* e *full-duplex*. Os circuitos da unidade remota foram projetados para apresentarem um baixo consumo de energia e serem alimentados por um painel solar em conjunto com baterias recarregáveis.

A unidade central utiliza um PC no modo DOS como ambiente de desenvolvimento. Um *software* de supervisão foi escrito para mostrar os dados do campo, tomar decisões e enviar comandos para o campo. O mesmo transceptor de FM e o *modem* FSK foram também empregados na unidade central para a comunicação com as unidades remotas. Um protocolo de dados, baseado na comunicação por rádio, é usado para a sincronização e detecção de erros.

O sistema foi experimentalmente implementado para provar o conceito do projeto e resultados satisfatórios foram obtidos nestas características funcionais, incluindo comunicação, protocolo, aquisição de dados e painel solar.

## ABSTRACT

This work describes the development of a telemetry system for data acquisition in Precision Agriculture. The topology of this system is based on a star structure with a central unit and several remote units. The communication link between the central unit and remote units uses a wireless frequency modulated (FM) carrier. The digital information is carried over the communication channel using a frequency shift keying (FSK) modem.

The remote unit is responsible for data acquisition from field sensors. In its core, an embedded microcontroller (Motorola 68HC11) is responsible for managing data acquisition, control and communication protocol. A FM transceiver was developed to allow simplex, half-duplex or full-duplex communication. The remote unit circuitry was designed for low power consumption, and is powered by a solar panel in combination with a rechargeable battery.

The central unit utilizes a PC, under DOS environment. A supervision software was written to display field data, make decisions, and to send commands to the field. The same FM transceiver and FSK modem were also employed by the central unit to communicate with the remote units. A data protocol, based on broadcast communication, is used for synchronization and error detection.

The system was experimentally implemented in a proof-of-concept design, and satisfactory results were obtained in its functional characteristic, including communication, protocol, data acquisition, and solar power.

## Lista de Símbolos e Abreviaturas

|                 |   |
|-----------------|---|
| A/D             | Analógico digital                         |
| ASK             | Amplitude Shift Keying                    |
| C               | Capacidade em ampére-hora da bateria      |
| CI              | Circuito Integrado                        |
| FEC             | Forward Error Correction                  |
| FM              | Frequency Modulation                      |
| FSK             | Frequency Shift Keying                    |
| GaAs            | Arcenato de Gálio                         |
| GPS             | Global Positioning System                 |
| Gru             | Grupo                                     |
| I               | Corrente fornecida pelo painel solar      |
| Mod             | Módulo                                    |
| Ni-Cd           | Níquel-Cádmio                             |
| RF              | Rádio Frequência                          |
| PA              | Porta A do microcontrolador               |
| PB              | Porta B do microcontrolador               |
| PC              | Porta C do microcontrolador               |
| PD              | Porta D do microcontrolador               |
| PE              | Porta E do microcontrolador               |
| PLL             | Phase Locked Loop                         |
| PSK             | Phase Shift Keying                        |
| Sens1           | Sensor 1                                  |
| Sens2           | Sensor 2                                  |
| Sens3           | Sensor 3                                  |
| TTL             | Transistor – Transistor Logic             |
| V               | Tensão fornecida pelo painel solar        |
| VCO             | Voltage Controlled Oscillator             |
| V <sub>DD</sub> | Tensão da alimentação do microcontrolador |

# Sumário

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introdução</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2. Sistema de Telemetria</b>  | <b>5</b>  |
| 2.1 Modos de Comunicação   | 6         |
| (a) <i>Simplex</i>   | 6         |
| (b) <i>Half-Duplex</i>   | 6         |
| (c) <i>Full-Duplex</i>   | 7         |
| 2.2 Modulação Digital  | 7         |
| 2.3 Descrição do Sistema Proposto  | 9         |
| 2.3.1 Unidade Remota   | 10        |
| I – <i>Operação Half-Duplex/Full-Duplex.</i>   | 10        |
| II – <i>Operação Simplex.</i>  | 11        |
| 2.3.2 Unidade Central  | 13        |
| I – <i>Operação Half-Duplex/Full-Duplex.</i>   | 13        |
| II – <i>Operação Simplex.</i>  | 15        |
| 2.4 Fontes de Alimentação da Unidade Remota  | 16        |
| 2.4.1 Painel Solar (Conjunto de Células Solares)   | 16        |
| 2.4.2 Baterias recarregáveis e modos de carregamento de baterias                         | 19        |
| <b>3. Sistema de Telemetria Implementado</b>   | <b>21</b> |
| 3.1 Implementação da Unidade Remota  | 21        |
| 3.1.1 Características do Microcontrolador  | 21        |
| 3.1.2 Monitoramento das Condições de Operação das Entradas Analógicas                    | 23        |
| 3.1.3 Monitoramento das Condições de Operação de Sensores com Características de 4-20 mA | 25        |
| 3.1.4 Monitoramento da Tensão da Bateria   | 26        |
| 3.1.5 Formatação da Informação a ser Transmitida   | 26        |
| 3.1.6 Configuração para a Modulação Digital FSK  | 29        |
| 3.1.7 Transmissor de FM  | 31        |
| 3.1.8 Considerações de Redução do Consumo de Energia                                     | 32        |
| 3.1.9 Painel Solar, Carregadores de Baterias e Baterias Recarregáveis                    | 33        |

|                    |  |           |
|--------------------|--|-----------|
| 3.1.10             | Circuito receptor da Unidade Remota                                      | 36        |
| 3.1.11             | Consumo de energia da Unidade Remota                                     | 39        |
| 3.1.12             | Programa de Controle de Operação da Unidade Remota.                      | 42        |
|                    | <i>I – Modo Half-Duplex/Full-Duplex.</i>                                 | 43        |
|                    | <i>II – Modo Simplex.</i>  | 45        |
| 3.2                | Implementação da Unidade Central   | 48        |
|                    | <i>I – Operação Half-Duplex/Full-Duplex.</i>                             | 48        |
|                    | <i>II – Operação Simplex</i>   | 52        |
| 3.3                | Programa de Controle da Unidade Central                                  | 54        |
| <b>4.</b>          | <b>Resultados Experimentais</b>  | <b>56</b> |
| 4.1                | Introdução   | 56        |
| 4.2                | Teste de Validação do Sistema <i>Simplex</i>                             | 58        |
| <b>5.</b>          | <b>Conclusões</b>  | <b>62</b> |
| 5.1                | Sugestões para trabalhos futuros   | 63        |
| <b>Anexos</b>      |  | <b>64</b> |
| A                  | Codificação de dados digitais  | 65        |
| B                  | Projetos dos circuitos utilizados na unidade remota e na unidade central | 72        |
| B.1                | Projeto do transmissor de RF   | 72        |
| B.2                | Controle da tensão de alimentação do transmissor                         | 74        |
| B.3                | Bateria de chumbo-ácido  | 74        |
| B.4                | Projeto do detector de tom   | 75        |
| B.5                | Projeto do temporizador  | 76        |
| B.6                | Projeto para a recepção das informações e acionamento da unidade remota  | 77        |
| <b>Referências</b> |  | <b>79</b> |

## Lista de Figuras

|      |  |    |
|------|--|----|
| 2.1  | Diagrama em blocos de um sistema de comunicação  | 5  |
| 2.2  | Diagrama em blocos do modo de comunicação <i>simplex</i>   | 6  |
| 2.3  | Diagrama em blocos do sistema de comunicação <i>half-duplex</i>  | 6  |
| 2.4  | Diagrama em blocos do sistema de comunicação <i>full-duplex</i>  | 7  |
| 2.5  | Forma de onda modulada em FSK  | 9  |
| 2.6  | Diagrama em blocos do Sistema de Telemetria  | 9  |
| 2.7  | Diagrama em blocos da configuração da unidade remota para a comunicação <i>half-duplex</i>   | 10 |
| 2.8  | Diagrama em blocos da unidade remota para o modo de comunicação <i>simplex</i>   | 12 |
| 2.9  | Diagrama em blocos da unidade central para o modo de comunicação <i>half-duplex</i> e a <i>full-duplex</i>                           | 14 |
| 2.10 | Diagrama em blocos da unidade central para o modo de comunicação <i>simplex</i>  | 15 |
| 2.11 | Ilustração de uma curva característica IxV de um painel solar típico   | 17 |
| 2.12 | Painel solar. (a) Vista Frontal (b) Vista do Verso   | 18 |
| 2.13 | Curvas características IxV experimentais de um painel solar (a) Apenas um conjunto de células. (b) Combinação série destes conjuntos | 18 |
| 3.1  | Diagrama para a seleção do modo de operação da unidade remota  | 22 |
| 3.2  | Diagrama do circuito para a verificação de problemas nos pinos de entrada analógica do microcontrolador                              | 23 |
| 3.3  | Diagrama esquemático da malha de 4 - 20 mA   | 25 |
| 3.4  | Diagrama da estrutura das informações  | 28 |
| 3.5  | (a) Configuração para modulação digital em FSK (b) Saída nos pinos PA <sub>3</sub> e PA <sub>4</sub>                                 | 30 |
| 3.6  | (a) Estrutura dos filtros passa baixa (b) Sinais com características analógicas e digitais   | 31 |
| 3.7  | Diagrama do circuito modulador e transmissor de RF   | 32 |
| 3.8  | Diagrama do circuito de controle da alimentação do transmissor   | 33 |
| 3.9  | Diagrama do circuito de um carregador de baterias de Ni-Cd   | 34 |
| 3.10 | Diagrama de um circuito de um carregador de baterias de Chumbo-Ácido   | 35 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 3.11 | Diagrama de um circuito para a recepção das informações e acionamento da unidade remota                    | 36 |
| 3.12 | Detecção das frequências e recuperação das informações seriais   | 37 |
| 3.13 | Diagrama de um circuito de temporização do sistema de telemetria   | 38 |
| 3.14 | Diagrama da base de tempo para diferentes unidades remotos   | 39 |
| 3.15 | Dependência da tensão de alimentação da unidade remota no modo <i>simplex</i> durante a operação           | 40 |
| 3.16 | Dependência da corrente da unidade remota no modo <i>simplex</i> durante a operação                        | 40 |
| 3.17 | Dependência da tensão de alimentação da unidade remota no modo <i>half-duplex</i> durante a operação       | 41 |
| 3.18 | Dependência da corrente da unidade remota no modo <i>half-duplex</i> durante a operação                    | 42 |
| 3.19 | Fluxograma da rotina de identificação das unidades remotas   | 43 |
| 3.20 | Fluxograma da rotina de diagnóstico inicial  | 44 |
| 3.21 | Fluxograma da rotina de transmissão de dados das unidades remotas para a unidade central                   | 45 |
| 3.22 | Fluxograma do programa de operação da unidade remota para o modo <i>simplex</i>                            | 46 |
| 3.23 | Fluxograma do programa de auto-diagnóstico da unidade remota nos três modos de comunicação                 | 47 |
| 3.24 | Diagrama do circuito para a recepção, decodificação e transmissão das informações moduladas em FSK         | 48 |
| 3.25 | Sinal da saída do amplificador básico  | 49 |
| 3.26 | Diagrama do circuito usado para a recepção e decodificação das informações moduladas em FSK                | 52 |
| 3.27 | Fluxograma do procedimento realizado pelo microcomputador na unidade central nos três modos de comunicação | 55 |
| 4.1  | Resultados experimentais com todas as informações recebidas corretamente                                   | 59 |
| 4.2  | Resultados experimentais com de dados errados  | 60 |
| A.1  | Códigos de blocos binários com $k=4$ e $n=7$   | 65 |
| A.2  | Operações de adição e multiplicação  | 66 |
| A.3  | 16 palavras código com "4-tuples"  | 66 |
| A.4  | Representação de uma estrutura em código de bloco linear"  | 67 |



# Lista de Tabelas

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 3.1 | Possíveis resultados na saída da configuração das portas lógicas | 50 |
|-----|--|----|

# Capítulo 1

## Introdução.

Os sistemas de telemetria são usados, geralmente, em aplicações nas quais o local de tratamento dos dados é diferente do local de aquisição destes dados, quer sejam pela dificuldade de acesso, por condições ambientais adversas ou somente por comodidade do usuário dos dados. Tais sistemas podem oferecer flexibilidade na implementação, confiabilidade nas comunicações entre dois ou mais locais a custo reduzido.

Esses sistemas têm aplicações em diversas áreas tais como: em indústrias [1], [2] e [3], em medicina [4] e [5], em tecnologia aeroespacial [6] e [7], na agricultura [8] entre outras. Destas áreas, na agricultura eles podem fazer parte de sistemas de controle de irrigação, monitoramento de culturas, detecção de presença de animais, entre outras aplicações, as quais buscam, sobretudo, reduzir possíveis perdas na produção a partir de um melhor monitoramento do sistema.

A exemplo de alguns problemas encontrados na agricultura tem-se: o uso inadequado da água para a irrigação de plantações que pode ocorrer devido ao desconhecimento de técnicas de controle de irrigação pelo produtor rural, por possíveis acidentes como o rompimento, por tratores, da tubulação que distribui a água ao longo da plantação, entre outros.

Existem, atualmente no mercado diversos sistemas de monitoramento remoto para aplicações no campo agrícola, como por exemplo, sistemas que utilizam comunicação via satélite [9] e por aeronaves [10] para a identificação geográfica e aquisição de dados precisos de uma região. Na maioria destes sistemas encontram-se estruturas que utilizam técnicas de sensoriamento por imagens que adquirem informações de objetos na terra e através destas informações mapeiam a região.

Também existem estruturas que utilizam outras técnicas de sensoriamento remoto, como os sistemas *GPS (Global Positioning System)* [11], que identificam a posição de unidades na terra com precisão de alguns centímetros. Entretanto, estes sistemas ainda

exigem um investimento financeiro elevado para a implementação e isso, impossibilita a utilização pela maioria dos pequenos e médios produtores rurais.

Além destes sistemas também é possível encontrar no mercado alguns sistemas de monitoramento terrestre [12] que ao invés de utilizarem estruturas sofisticadas com satélites ou aeronaves baseiam-se em centrais fixas que realizam o monitoramento e controle de áreas como fazendas, sítios, entre outros, através de unidades remotas que podem ser distribuídas por diversos locais da região.

Algumas estruturas ainda utilizam cabos como meio de comunicação entre a unidade central e as unidades remotas [13]. Porém, devido a grande quantidade de cabos que podem ser necessários para interligar a central com as unidades remotas e alguns problemas como, por exemplo, possíveis rompimentos dos cabos tornaram-se fatores importantes para a substituição deste meio de comunicação por enlaces de RF.

Muitas destas unidades remotas são compostas por um microprocessador ou um microcontrolador que controlam todas as operações realizadas por estas unidades. Alguns sistemas oferecem entradas e saídas analógicas (para a conexão com sensores/atuadores), contadores de pulsos e podem ser alimentados por fontes ac ou dc, dentre outras características dos sistemas de aquisição de dados no campo agrícola [12].

Entretanto, apesar de que a maioria destes sistemas já oferecem soluções para uma grande parte dos problemas específicos da aquisição de dados no campo, os custos destes sistemas também são considerados caros pelos pequenos produtores rurais. Por outro lado, os sistemas de monitoramento terrestre, que não são considerados caros, na maioria das vezes não possuem todos os recursos necessários para atender as necessidades do usuário.

Um recurso difícil de ser encontrado nestes sistemas é a possibilidade de auto-diagnóstico das unidades remotas e, se necessário, realizar a substituição de componentes danificados (sensores, microcontrolador, bateria, etc) no local de atuação em que estas unidades remotas se encontram. Outros recursos como: a otimização do consumo de energia das unidades remotas para evitar eventuais imprevistos, a auto-identificação na unidade central ao ser inserida uma nova unidade remota e a possibilidade das unidades remotas atuarem em diferentes sistemas de comunicação, estão, na maioria dos casos, ausentes nesses sistemas de telemetria [12].

A partir destas considerações, pretende-se com este trabalho projetar e implementar um sistema de telemetria para aplicações no campo agrícola, que seja autônomo (capaz de realizar tarefas sem a interferência do homem), seja flexível (utilizando painel solar para evitar uma grande quantidade de cabos e possa atuar em diferentes modos de comunicação), confiável na aquisição das informações dos sensores (utilizando técnicas de modulação digital) e que tenha um custo acessível principalmente para o pequeno e médio produtor rural.

O conteúdo desta dissertação está apresentado da seguinte forma:

No capítulo 2, uma descrição geral do sistema de telemetria desenvolvido é apresentada. São discutidas algumas considerações gerais de projeto e de implementação tais como: os sistemas de comunicação nos quais o sistema de telemetria pode operar e a modulação digital utilizada para enviar as informações digitais de uma unidade para a outra. Além disso, são apresentadas algumas características da estrutura utilizada para a alimentação das unidades remotas como um painel solar, os tipos baterias recarregáveis adequadas e os respectivos carregadores de baterias. A partir da descrição geral deste sistema de telemetria, é possível compreender qual a finalidade de cada bloco das unidades apresentados no capítulo 3.

No capítulo 3, são apresentadas em detalhe as operações dos blocos que constituem o sistema de telemetria desenvolvido. Inicialmente, descreve-se cada bloco utilizado nas estruturas da unidade remota para que se compreenda a operação de cada função realizada pela unidade remota. Em seguida, apresentam-se as estruturas da unidade central com o mesmo objetivo apresentado para a unidade remota. Além disso, são apresentados e analisados o consumo de energia da unidade remota nos modos de comunicação *simplex* e *half-duplex*, o qual serve para verificar em quais modos de comunicação o sistema apresenta um consumo menor. Encerrando o capítulo, é apresentado o fluxograma do programa residente no microcomputador da unidade central que é utilizado no sistema de comunicação.

No capítulo 4, são apresentados os resultados de alguns testes adquiridos no laboratório a partir de um protótipo de uma unidade remota e uma unidade central. Estes testes são realizados com uma estrutura da unidade remota operando no sistema *simplex* os quais servem para simular algumas situações reais no campo agrícola, como por exemplo

interferências externas e colisões de informações na unidade central. Com estes resultados, pode-se comprovar que as técnicas de comunicação utilizadas neste sistema de telemetria, apesar de serem simples, realizam com confiabilidade as operações de transferência de dados definidas para este sistema.

No capítulo 5, apresentam-se as conclusões finais do sistema de telemetria apresentado nesta dissertação e algumas propostas para trabalhos futuros.

## Capítulo 2

### Sistema de Telemetria.

Para que duas ou mais unidades de um sistema de telemetria, distantes entre si, possam trocar informações com certa confiabilidade, é necessário que estas unidades utilizem uma estrutura básica que possibilite a troca das informações entre essas unidades. Na Figura 2.1, ilustra-se em diagrama de blocos, a configuração de um enlace transmissor-receptor utilizado em sistemas de comunicação entre dois locais [14], [15] e [16].

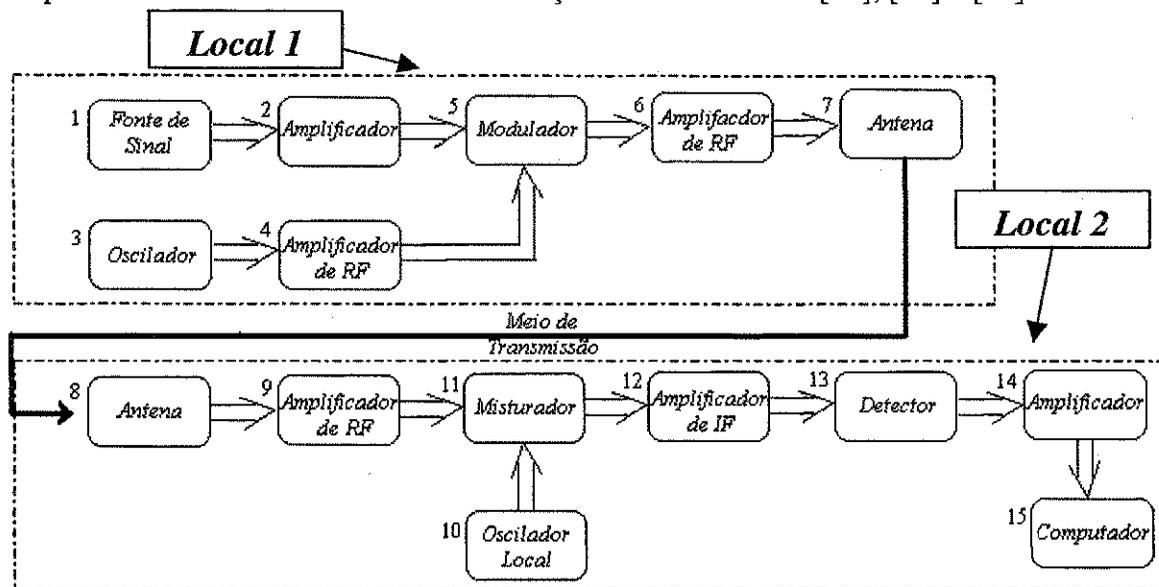


Figura 2.1: Diagrama em blocos de um sistema de comunicação.

Neste diagrama, o bloco 1 corresponde ao transdutor, que transforma as grandezas físicas que se quer monitorar em sinais elétricos apropriados. Em seguida, este sinal é amplificado, codificado, modulado e enviado pelo transmissor ao receptor.

O sinal é captado pelo receptor, amplificado e então, entregue ao computador que passa a tratar as informações recebidas.

Estes sinais podem ser enviados de um local para o outro através dos modos de comunicação *simplex*, *half-duplex* e *ful-duplex*, conforme apresentado a seguir.

## 2.1 Modo de Comunicação.

Um modo de comunicação, constituído por duas ou mais unidades distantes entre si, geralmente, pode ser classificado de acordo com o tipo de transferência de informações que este realiza entre as unidades em: *simplex*, *half-duplex* e *full-duplex*.

### a) *Modo simplex*.

Neste modo de comunicação, a transmissão de dados entre duas unidades é unidirecional, ou seja, a informação pode ser enviada apenas em um único sentido. A exemplo de modos de comunicação *simplex*, pode-se citar os sistemas de televisão e rádio. O diagrama em blocos deste modo de comunicação está ilustrado, na Figura 2.2 [18] e [19].



Figura 2.2: Diagrama em blocos do modo de comunicação *simplex*.

### b) *Modo half-duplex*.

Nos modos *half-duplex*, a transmissão dos dados entre duas unidades é realizada nos dois sentidos, em um mesmo meio de transmissão, porém não ao mesmo tempo. Na Figura 2.3, está ilustrado o diagrama em blocos deste modo de comunicação [18] e [19].



Figura 2.3: Diagrama em blocos do modo de comunicação *half-duplex*.

### c) *Modo full-duplex.*

Na comunicação *full-duplex*, os dados podem ser transmitidos nas duas direções e simultaneamente. Ilustra-se, na Figura 2.4, a configuração, em diagrama de blocos, deste modo de comunicação [18] e [19].

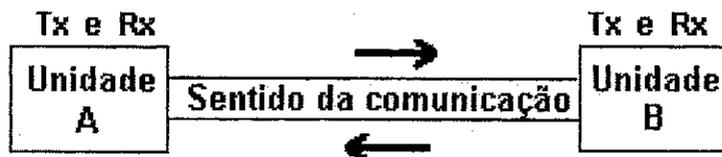


Figura 2.4: Diagrama em blocos do modo de comunicação *full-duplex*.

A partir do princípio de operação destes modos de comunicação (*simplex*, *half-duplex* e o *full-duplex*), foram projetadas estruturas diferentes, que pudessem oferecer a este sistema de telemetria maior flexibilidade. Estas são estruturas que ampliam as possibilidades de implementação deste sistema em termos do custo e confiabilidade na aquisição das informações nas aplicações.

O sistema de telemetria apresentado nesta dissertação usa comunicação digital no enlace transmissor/receptor nos modos *simplex*, *half-duplex* e *full-duplex*.

## 2.2 Modulação Digital.

Nos sistemas de telemetria por RF na qual as informações enviadas de uma unidade para a outra são digitais, utilizam-se técnicas de modulação digital.

Estas técnicas são utilizadas por que no sinal pulsado há harmônicas de alta frequência e se este sinal for enviado diretamente para um transmissor de RF uma grande quantidade destas harmônicas não será transmitida devido a largura de banda do transmissor ser limitada, resultando em um sinal distorcido na saída do receptor de RF [18].

Um dos processos de modulação digital comumente utilizado na transmissão de dados digitais é chamado de banda passante. Este é um processo de modulação digital na

qual a amplitude, frequência, a fase de uma portadora ou, a combinação destas, varia de acordo com a informação que se deseja transmitir [18] e [19].

Na recepção de informações moduladas em banda passante pode-se utilizar dois tipos de detecção: a coerente ou a não coerente. Na detecção coerente utiliza-se o conhecimento da fase para a detecção dos sinais e na detecção não coerente, não se utiliza a fase como forma de identificação da informação [20].

Numa detecção coerente ideal, os circuitos utilizados devem reproduzir as formas de onda que representam a mesma fase do sinal transmitido, a fim de que este seja identificado.

Dentre as formas de modulação/demodulação que podem utilizar a detecção coerente, tem-se: *Phase Shift Keying* (PSK); *Frequency Shift Keying* (FSK); *Amplitude Shift Keying* (ASK) e também combinações híbridas destas formas de modulação/demodulação [19].

Na demodulação não coerente, os circuitos são projetados para operar sem o conhecimento do valor da fase do sinal adquirido na recepção. A vantagem deste tipo de detecção sobre a detecção coerente é que utiliza-se circuitos menos complexos para a sua implementação.

Entretanto, uma desvantagem é o aumento da probabilidade de erros nas informações recebidas que, por sua vez, nos demoduladores coerentes é menor [18].

Dentre as técnicas de modulação/demodulação existentes, escolheu-se para o sistema de telemetria apresentado nesta dissertação, o FSK, para realizar a modulação digital. Nesta técnica, conforme ilustrado na Figura 2.5, são gerados dois sinais com frequências diferentes representando os níveis lógicos, “0” e “1” e em seguida, utiliza-se modulação em frequência (FM) para a transmissão destes sinais.

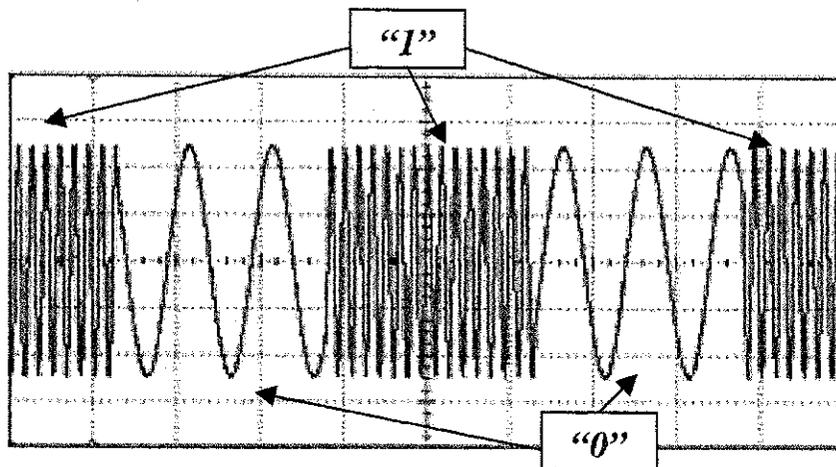


Figura 2.5: Forma de onda modulada em FSK.

### 2.3 Descrição do Sistema Proposto.

O sistema de telemetria apresentado nesta dissertação é constituído de várias unidades remotas, que podem ser distribuídas em diferentes pontos do campo. Além destas unidades, este sistema também possui uma unidade central que, através de ondas de rádio, recebe os dados enviados pelas unidades remotas (Figura 2.6).

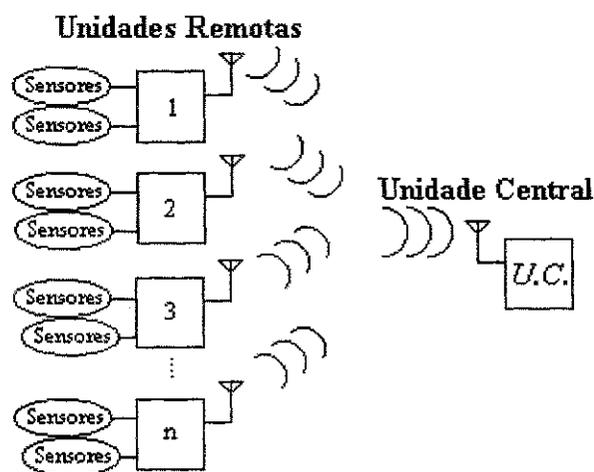


Figura 2.6: Diagrama em blocos do Sistema de Telemetria.

Para que o sistema de telemetria apresentado possa atuar nos modos de comunicação, *simplex* e *half-duplex*, foram desenvolvidas duas configurações simples para este sistema de telemetria.

Estas configurações oferecem ao sistema flexibilidade para trabalhar em apenas um dos modos de comunicação ou então, nos três modos de comunicação, devido a algumas características presentes nas estruturas da unidade remota e da unidade central em cada modo de comunicação. A seguir, são apresentadas a descrição destas configurações.

### 2.3.1. Unidade Remota.

A unidade remota é constituída de uma estrutura reduzida, o qual pode ser localizado em diferentes pontos de uma determinada região e possui a tarefa de adquirir, tratar e enviar para a unidade central os dados provenientes dos diferentes sensores.

#### *I – Operação Half-Duplex/Full-Duplex.*

A configuração desta unidade remota é composta por um microcontrolador, um circuito acionador, um transmissor e um receptor de RF e para a alimentação desta estrutura utiliza-se um painel solar e um conjunto de baterias recarregáveis.

Na Figura 2.7, ilustra-se a configuração de uma unidade remota para o modo de comunicação *half-duplex/full-duplex*.

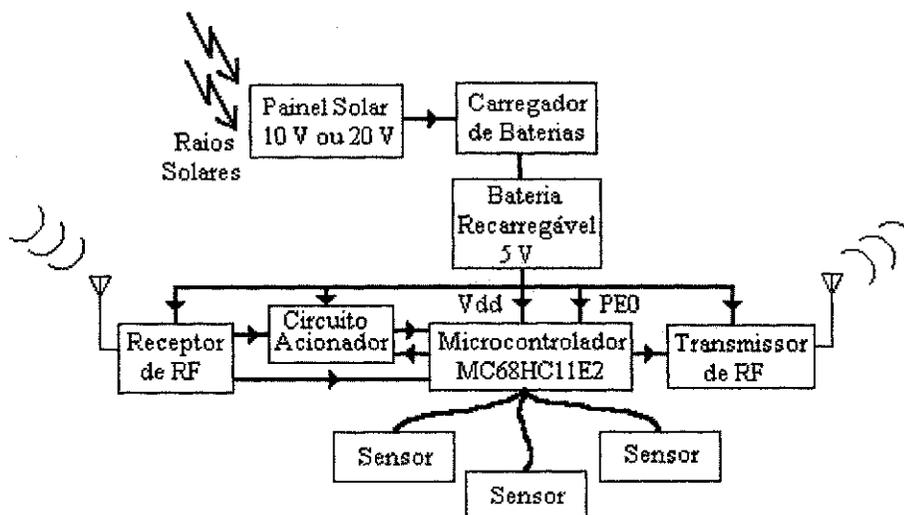


Figura 2.7: Diagrama em blocos da configuração da unidade remota para o modo de comunicação *half-duplex/full-duplex*.

Neste modo, a comunicação com a unidade central é realizada nos dois sentidos. Desta forma, para que a unidade remota possa receber as informações enviadas pela unidade central utiliza-se um receptor de FM, nesta unidade remota.

A configuração da Figura 2.7 também deve apresentar um baixo consumo de energia durante a operação. Utiliza-se um componente que aciona o microcontrolador apenas, depois de uma solicitação enviada pela unidade central.

Ou seja, as unidades remotas permanecem no modo de baixo consumo de energia e a partir de uma palavra enviada pela unidade central, estas unidades remotas são acionadas e então, ficam de prontidão esperando a próxima palavra que indicará qual destas unidades deve atuar.

Ao término da operação de monitoramento dos sensores no campo, a unidade remota que estava operando recebe da unidade central uma palavra indicando que o mesmo deve retornar ao modo de baixo consumo de energia. Sendo assim, este sistema se torna mais flexível e o controle das operações da unidade remota passa a ser de responsabilidade da unidade central.

## ***II – Operação Simplex.***

Para que a unidade remota atue no modo de comunicação *simplex*, ilustra-se na Figura 2.8 o diagrama em blocos de uma configuração para este modo. Esta configuração é obtida a partir da configuração apresentada anteriormente retirando-se o receptor de RF e o circuito acionador e acrescenta-se um temporizador. Este temporizador aciona o microcontrolador, na unidade remota, em tempos previamente definidos.

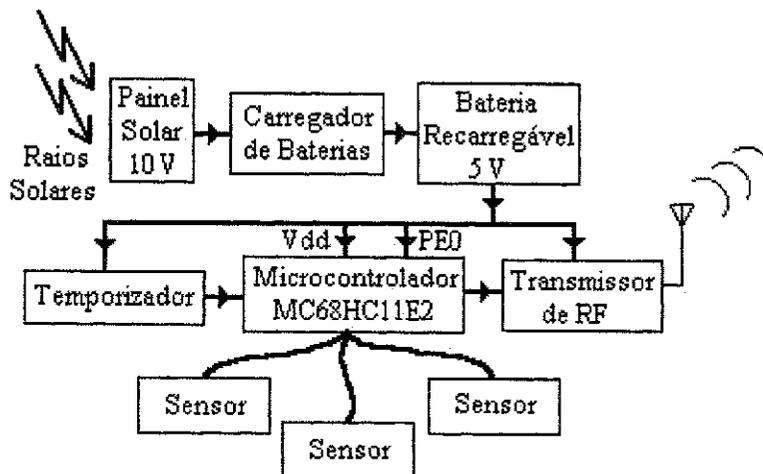


Figura 2.8: Diagrama em blocos da unidade remota para o modo de comunicação *simplex*.

Neste modo, a comunicação entre as unidades ocorre somente das unidades remotas para a unidade central.

Um problema nesta estrutura é que devido a comunicação entre as unidades realizar-se em apenas um sentido, não há como as unidades remotas receberem uma informação enviada pela unidade central indicando que os dados foram recebidos sem problemas ou que devem ser retransmitidos (*Handshake*).

Para este tipo de comunicação, o controle do erro pode ser realizado através do FEC (*Forward Error Correction*) que utiliza códigos de detecção de erros para detectar a ocorrência destes nas informações recebidas pela unidade central [22] e [23].

O gerenciamento da unidade remota é realizado pelo microcontrolador MC68HC11E2, o qual é configurado no modo de operação *Bootstrap* [24], [25] e [26].

Como este sistema destina-se a aplicações voltadas ao campo, não é necessário que a unidade remota trabalhe continuamente, pois desta maneira aumentaria o consumo de energia do sistema e reduziria a vida útil da bateria.

Desta forma, cada unidade remota possui um temporizador ligado ao pino *reset* do microcontrolador. Após ter realizado todas as tarefas, o microcontrolador pode entrar no modo denominado *standby*, pois a cada instante de tempo pré-definido este é acionado pelo temporizador.

Este instante de tempo pré-definido é diferente para cada temporizador das unidades remotas. Desta maneira, diminui-se de ocorrência de colisões de informações na recepção da unidade central. A descrição deste temporizador e como pode diminuir a ocorrência destas colisões é apresentado no capítulo 3.

Para a alimentação das unidades remotas, utiliza-se um painel solar como fonte de alimentação capaz de fornecer energia suficiente para a sua operação.

Com a implementação de um painel solar no sistema, facilita-se o posicionamento da unidade remota em qualquer lugar no campo e elimina-se a necessidade de se utilizar grandes quantidades de cabos para a alimentação desta unidade remota.

Como o painel solar não fornece energia em períodos noturnos e apenas uma potência reduzida em dias nublados, pode-se utilizar um banco de baterias recarregáveis para a alimentação da unidade remota durante estes períodos. Algumas características deste tipo de baterias são descritas na seção 2.4.2.

### **2.3.2 Unidade Central.**

O espaço da memória utilizado pelo microcontrolador, nas unidades remotas, não é suficiente para armazenar todos os dados provenientes dos sensores durante longos períodos. Desta forma, para que estes dados sejam tratados e armazenados para análise posterior, envia-se estes dados a uma unidade central que é descrita a seguir.

#### ***I – Operação Half-Duplex/Full-Duplex.***

Na Figura 2.9, encontra-se o diagrama em blocos da configuração utilizada na unidade central para o modo de comunicação *half-duplex/full-duplex*.

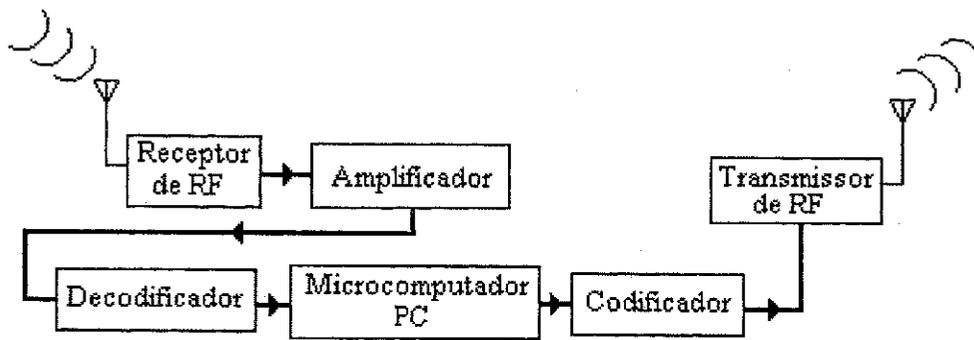


Figura 2.9: Diagrama em blocos da unidade central para o modo de comunicação *half-duplex/full-duplex*.

A configuração básica da unidade central usada neste modo de comunicação é constituída de: um receptor de RF, um amplificador, um circuito decodificador, um microcomputador, um circuito codificador e um transmissor de RF.

A captação dos sinais enviados pela unidade remota é realizada por um receptor de RF. Na saída do receptor de RF o sinal demodulado apresenta níveis de tensão baixos. Desta maneira, utiliza-se um amplificador que eleva este nível de tensão para um valor apropriado.

Na saída do amplificador, são utilizados dois circuitos detectores de tons para: demodulação do sinal recebido e identificação das frequências recebidas.

Entretanto, apenas a demodulação dos sinais recebidos não é suficiente para reconstituir os dados enviados pela unidade remota. Para identificar o *bit* que está sendo demodulado pelos detectores de tons, utiliza-se uma configuração com portas lógicas para a recuperação das informações seriais enviadas pela unidade remota.

Em seguida, utiliza-se um microcomputador para armazenar os dados enviados pela unidade remota. Como os sinais decodificados estão em um formato serial, utiliza-se a porta serial deste microcomputador para entrada destes dados, no mesmo.

Para que a comunicação se realize nos dois sentidos, utiliza-se nesta configuração um transmissor de RF. A partir desta configuração, a unidade central passa a ter maior flexibilidade no monitoramento da unidade remota, pois através de sinais de controle enviados pela unidade central pode-se realizar o controle da operação de cada unidade remota.

Se uma informação enviada por uma unidade remota for recebida pela unidade central com erros esta unidade solicita a unidade remota a retransmissão desta informação.

### ***I – Operação Simplex.***

Na Figura 2.10, ilustra-se em diagrama em blocos a configuração utilizada na unidade central para o modo de comunicação *simplex*.

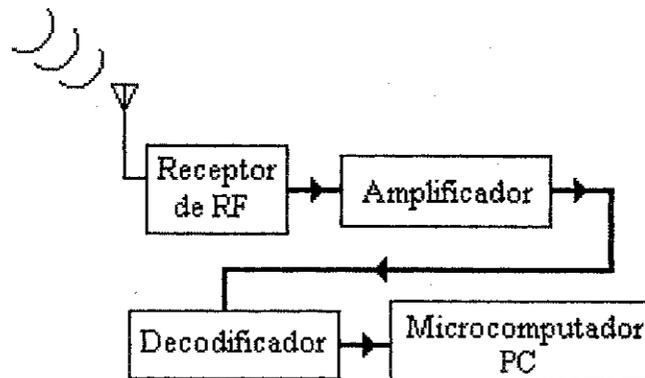


Figura 2.10: Diagrama em blocos da unidade central para o modo de comunicação *simplex*.

Comparando-se a configuração da Figura 2.10 para o modo de comunicação *simplex* com a apresentada na Figura 2.9, para o modo de comunicação *half-duplex/full-duplex*, observa-se que na configuração da Figura 2.10 não há os blocos do codificador e do transmissor de RF apresentados no da Figura 2.9, pois no modo *simplex* a comunicação é realizada apenas da unidade remota para a unidade central.

As informações são recebidas pela unidade central e caso tenha ocorrido algum erro nestas informações durante a comunicação, o microcomputador na unidade central espera a próxima transmissão de uma outra informação, pois a unidade central não tem como solicitar a retransmissão da informação errada.

Por outro lado, se as informações forem recebidas sem erro, estas são tratadas e armazenadas em arquivo para futuras consultas.

Nas duas configurações apresentadas para as unidades remotas são utilizados dois elementos responsáveis pela alimentação da unidade remota que são o painel solar e as

baterias recarregáveis. Estes elementos são apresentados a seguir com algumas das suas características mais importantes.

## 2.4 Fontes de Alimentação da Unidade Remota.

Para evitar a utilização de uma grande quantidade de cabos para alimentar cada uma das unidades remotas, utiliza-se nestas unidades um painel solar e baterias recarregáveis, os quais são responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica.

### 2.4.1. Painel Solar (Conjunto de Células Solares).

As células solares fotovoltaicas constituem uma categoria de dispositivos que convertem a energia solar em eletricidade [27] e [28].

Desde a sua descoberta, passando por diversas etapas de investigação científica até chegar aos dias atuais, foram desenvolvidos uma variedade de métodos para a produção destas células solares. Tais células podem ser fabricadas em estruturas formadas por silício monocristalino, silício policristalino ou por silício amorfo [28].

Entretanto, devido a sua eficiência de conversão ser consideravelmente baixa e o processo de degradação das células após alguns meses de uso, fizeram com que novas tecnologias como as células de filme fino, as células de arsenato de gálio (GaAs) e as células "Tandem" viessem a ser projetadas [27] e [29].

Os chamados painéis solares são constituídos de células fotovoltaicas, as quais são conectadas em arranjos para produzir tensão e corrente, pois cada célula fornece baixa tensão (em torno de 0,4 V a 0,5 V).

Antes que o painel solar seja utilizado, como por exemplo para o carregamento de baterias recarregáveis, é preciso que se conheça o comportamento da curva característica, tensão-corrente, deste painel.

A partir desta curva, é possível saber se o mesmo é capaz de fornecer corrente suficiente para o carregamento das baterias. O levantamento da curva característica do painel solar pode ser inicialmente realizado obtendo-se a tensão de circuito aberto e a corrente de curto circuito.

Para a obtenção da tensão de circuito aberto aponta-se o painel solar para o sol e sem carga conectada ao mesmo, com um voltímetro verifica-se a tensão entre os seus terminais. Por sua vez, a medição da corrente é realizada com o amperímetro conectado entre os terminais do painel solar.

O comportamento funcional do painel solar pode ser determinado conectando-se uma carga variável entre os terminais e assim, obtém-se a curva IxV do painel solar conforme a curva característica ilustrada na Figura 2.11 [27].

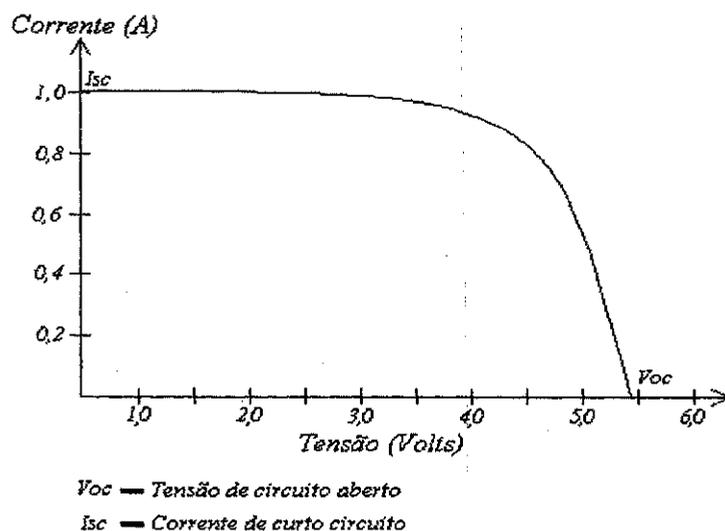


Figura 2.11: Ilustração de uma curva característica IxV de um painel solar típico [27].

O painel solar pode possuir dois conjuntos de células com as mesmas características IxV, os quais podem ser conectados tanto em série quanto em paralelo, para a realização de diferentes arranjos.

Para a conexão série dos conjuntos fotovoltaicos, ligando o terminal positivo de um conjunto ao negativo do outro, as tensões dos conjuntos são somadas, porém as correntes máximas permanecem as mesmas.

Por sua vez, a característica corrente-tensão do painel é diferente quando o conjunto é conectado em paralelo. Neste tipo de conexão a corrente máxima é somada enquanto que a tensão deles permanece a mesma.

Para a alimentação do sistema de telemetria implementado, utilizou-se um painel solar adquirido pelo LIEC (Laboratório de Instrumentação e Controle), cujo fabricante é a empresa Heliodinâmica como ilustrado na Figura 2.12.

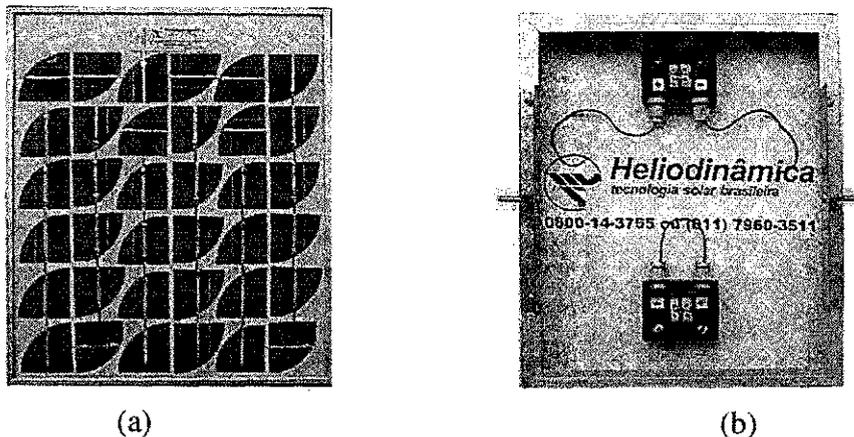


Figura 2.12: Painel solar. (a) Vista Frontal (b) Vista do Verso.

O painel solar utilizado pode fornecer tensões de 10 V ou 20 V, pois possui dois conjuntos de células que podem fornecer até 10 V cada um, na situação de máxima irradiação solar sobre o mesmo. Assim, este pode ser utilizado tanto em paralelo para a obtenção do dobro de corrente em 10 V, como em série com o dobro da tensão (20 V) para uma corrente correspondendo a apenas um painel.

As curvas características obtidas experimentalmente de apenas um conjunto de células e da combinação série destes, estão ilustradas na Figura 2.13.

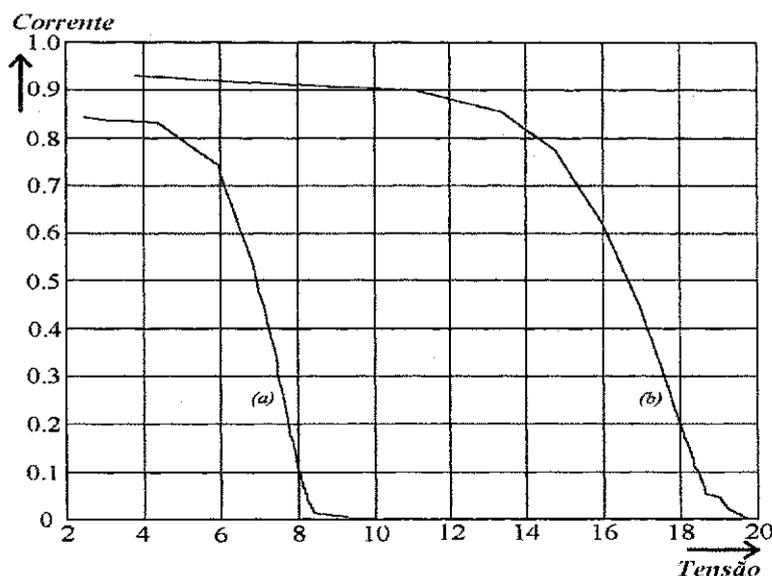


Figura 2.13: Curvas características IxV experimentais de um painel solar. (a) Apenas um conjunto de células. (b) Combinação série destes conjuntos.

Como o painel solar não é capaz de armazenar a energia convertida da radiação solar, utiliza-se bateria recarregável para o armazenamento desta energia e assim, garantir que a unidade remota possa atuar em períodos noturnos ou nublados.

### **2.4.2. Baterias recarregáveis e modos de carregamento de baterias.**

As baterias eletroquímicas são, geralmente, classificadas em primárias e secundárias. As definidas como primárias são as baterias que não podem ser recarregadas, pois uma vez descarregadas completamente são descartadas. Porém, as baterias definidas como secundárias podem ser utilizadas repetidamente devido as reações químicas internas que possibilitam o seu recarregamento [31] e [32].

Existem diversos tipos de baterias recarregáveis, as quais podem ser separadas em dois tipos básicos: as baterias abertas e as baterias seladas.

As do primeiro tipo, são baterias que precisam de uma verificação periódica do seu nível de eletrólito<sup>1</sup>, o qual é líquido, livre (com ausência de separadores<sup>2</sup>) e devem trabalhar na posição vertical, enquanto que as baterias seladas possuem o eletrólito confinado no separador.

Em cada tipo de bateria recarregável existem diversas tecnologias de fabricação e possibilidades de composição (materiais envolvidos). Por sua vez, as baterias de chumbo-ácido e níquel-cádmio são as que apresentam tecnologia consagrada, comumente utilizada em aplicações fotovoltaica e escolhida para serem implementadas neste sistema.

Uma vantagem presente nas baterias de chumbo-ácido é a capacidade total para armazenar cargas. Esta capacidade, aumenta com a elevação da temperatura do meio em que se encontra. Entretanto, estas baterias não devem operar continuamente a uma temperatura acima de 40 °C, pois isto reduz a sua vida útil, eleva a taxa de autodescarga e acelera a sulfatação em baterias que não estão totalmente carregadas [27].

Por outro lado, nas baterias de níquel-cádmio encontram-se características que são

---

1 – Eletrólito: Meio que proporciona o mecanismo de transporte de íons entre os eletrodos positivos e negativos. Em algumas células, tal como do tipo chumbo-ácido, o eletrólito pode também participar diretamente nas reações eletroquímicas de carga e descarga.

2 – Separador: Material eletricamente isolante, microporoso e permeável ao fluxo de íons, usado para evitar o contato direto entre as placas que formam a célula.

menos afetadas por sobrecargas, podem ser totalmente descarregadas, não são sujeitas a sulfatação, e seus carregamentos sofrem pouca influência da temperatura ambiente. Uma desvantagem presente nas baterias do tipo de Ni-Cd refere-se a deterioração de seus separadores que acontece com o passar do tempo. A ocorrência deste fato, permite que as placas positivas e negativas se toquem e conseqüentemente, provoque um curto circuito na mesma.

Para as baterias de Ni-Cd, geralmente utilizam-se carregadores que forneçam uma corrente fixa de carregamento. O valor desta corrente, é definido a partir da capacidade em ampére-hora (A.h) da bateria [27].

Além desta capacidade, é necessário o conhecimento do tempo que tais baterias levam para se carregar, caso elas estejam completamente descarregadas. Pode-se então utilizar uma relação para a determinação deste tempo, que é dada por [33],

$$\text{Duração de Carregamento} = \left\{ \frac{C}{I} \right\} \times 1,5 \quad (1)$$

[C = (Capacidade da bateria em mA.h)]/[Corrente fornecida pelo carregador em mA]

Com esta equação determina-se o tempo de carregamento recomendado de uma bateria de Ni-Cd,. A capacidade da bateria geralmente é fornecida pelo fabricante da mesma e a corrente fornecida pelo carregador é determinada de acordo com as características do carregador de baterias utilizado.

Fabricantes de carregadores de baterias de Ni-Cd sugerem que um carregador deve fornecer à bateria uma corrente de C/50 ou inferior [33], pois com esta corrente, é possível garantir que a bateria esteja completamente carregada e assim, diminui-se o risco de danificá-la por sobrecarregamento.

A partir das características do painel solar e das baterias recarregáveis implementou-se uma configuração adequada para o sistema de telemetria proposto.

Apresentou-se, neste capítulo, alguns blocos funcionais comuns utilizados em um sistema de telemetria por RF, também apresentou-se uma descrição geral das configurações da unidade remota e unidade central nos modos de comunicação *simplex*, *half-duplex/full-duplex* e finalizando, foram apresentadas algumas características do painel solar e do tipo de bateria recarregável utilizado na unidade remota. No capítulo 3 são apresentadas as operações da unidade remota e unidade central nos três modos de comunicação.

## Capítulo 3

### Sistema de Telemetria Implementado.

#### 3.1. Implementação da Unidade Remota.

Apresenta-se deste capítulo, o projeto da estrutura básica utilizada na unidade remota e da unidade central que foram descritas nas seções 2.4.1 e 2.4.2 do capítulo anterior. A escolha de cada bloco da unidade remota e da unidade central visa a obtenção de uma estrutura simples, autônoma, flexível e de baixo custo.

##### 3.1.1 Características do Microcontrolador.

O microcontrolador MC68HC11E2 é o bloco fundamental que realiza as tarefas de controle da unidade remota. Ele é configurado no modo *bootstrap*, um dos seus quatro modos de operação que este microcontrolador pode ser configurado.

As características do microcontrolador MC68HC11E2 que são úteis para o sistema de telemetria usadas neste trabalho são: oito entradas A/D para a aquisição dos sinais dos sensores analógicos, 5 pinos de entradas lógicas, 13 pinos de saídas lógicas, 11 pinos configurados como entradas lógicas para tratar sinais lógicos, *interface* para comunicação serial, memórias RAM e EEPROM e contador de 16 *bits*.

A Figura 3.1, ilustra o pino PC0 da porta PC do microcontrolador conectado a uma chave analógica que pode ser ligada para  $V_{DD}$  ou para GND. Dependendo da posição em que esta chave se encontre a unidade remota poderá atuar na função de auto-diagnóstico (PC0 = "1") dos pinos de entrada e saída lógicas do microcontrolador ou nas funções de operação normal do sistema (PC0 = "0").

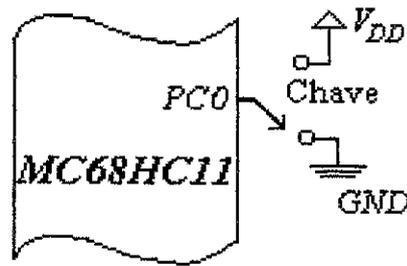


Figura 3.1: Diagrama para a seleção do modo de operação da unidade remota.

Quando o programa de gerenciamento da unidade remota, gravado na memória EEPROM interna do microcontrolador, é inicializado, a primeira operação realizada por este microcontrolador é verificar o valor lógico no pino PC0. Caso este valor lógico seja “1”, pode-se verificar no local em que a unidade remota está posicionada se existem problemas nos pinos de entradas analógicas e pinos de entrada e saída digitais do microcontrolador.

Ao identificar este valor, o programa no microcontrolador deixa de atuar na função de aquisição dos dados e faz um desvio para uma posição da memória interna deste microcontrolador, na qual encontra-se o programa para verificação de problemas nos pinos de entrada e saída.

A partir deste momento, esse programa ativa os pinos de saída digitais do microcontrolador para o nível lógico alto e, através de um instrumento de medição (multímetro ou outro equipamento), o usuário pode medir os valores lógicos presentes em cada pino da saída digital do microcontrolador.

Se algum pino de saída digital tiver nível lógico diferente de “1” significa que esta saída digital deve estar com problemas. Estes pinos permanecem em nível lógico alto até que o pino PC0 seja ligado ao nível lógico “0”.

Para verificar se os pinos das entradas analógicas do microcontrolador não estão danificados, alimenta-se cada um destes pinos da entrada analógica (pinos da porta PE), com uma tensão conhecida. Em seguida, cada pino de entrada analógica realiza a conversão desta tensão e em seguida, envia-se os resultados das conversões pelo pino de saída serial do microcontrolador.

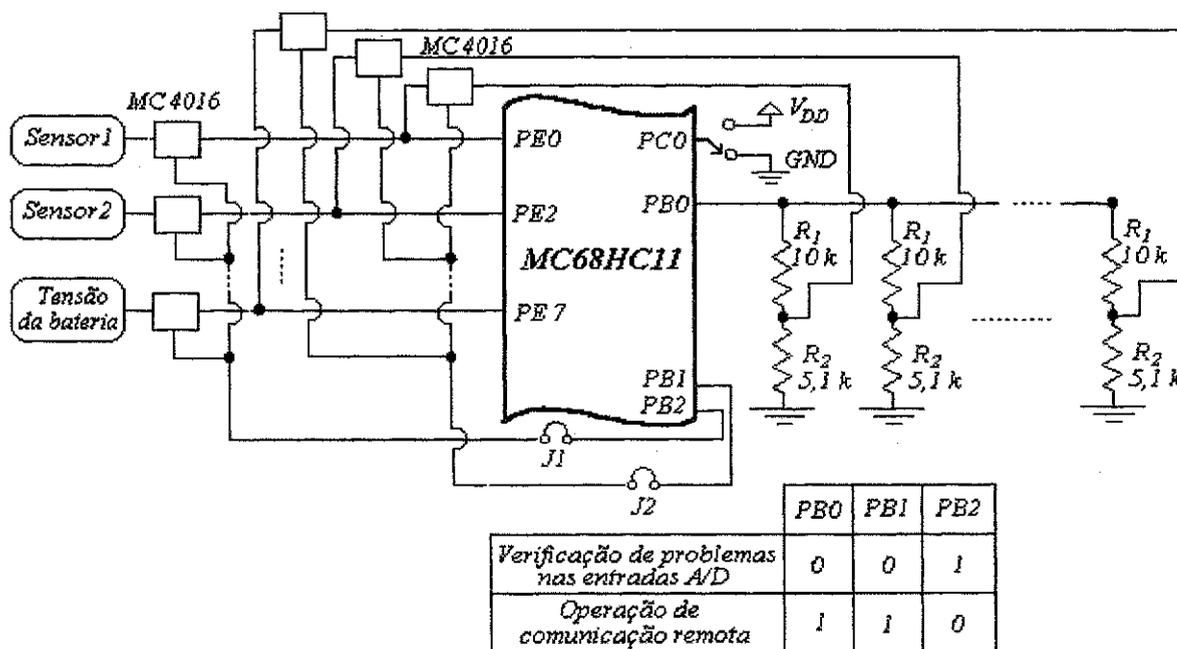
Para identificar o valor convertido e a que pino de entrada analógica este valor pertence, inicialmente envia-se um *byte* de início de transmissão, seguido do valor

convertido, do número do pino de entrada analógica a qual o valor convertido pertence e por último, o *byte* de fim de transmissão. Este formato é utilizado para a transmissão de cada valor de tensão convertido com o seu correspondente pino de entrada analógica.

Pode-se identificar possíveis problemas nos pinos de entrada analógica do microcontrolador através de equipamentos que seja capaz de receber e mostrar os dados seriais enviados pelo pino de saída serial do microcontrolador,

### 3.1.2 Monitoramento das Condições de Operação das Entradas Analógicas.

Quando o pino de entrada lógica PC0 estiver posicionada para o nível lógico “0”, o microcontrolador passa a desempenhar a função de operação normal do sistema. Neste caso, pode-se, através da unidade central, verificar se os pinos de entrada analógica estão danificados. O diagrama apresentado na Figura 3.2, ilustra a estrutura utilizada para a operação de verificação de problemas nas entradas analógicas, quando solicitado pela unidade central.



*J1 e J2 são Jumps utilizados para a verificação de problemas no microcontrolador, apresentado na secção 3.1.1*

Figura 3.2: Diagrama do circuito para a verificação de problemas nos pinos de entrada analógica do microcontrolador.

Antes que o microcontrolador adquira os sinais dos sensores, estes são desconectados das entradas analógicas do microcontrolador através de chaves analógicas, que são controladas pelo pino de saída digital PB2 do microcontrolador.

Através de outro pino de saída digital PB1, o microcontrolador habilita as saídas dos divisores resistivos que estão conectado às entradas analógicas e é alimentado pelo pino PB0.

Os valores das resistências  $R_1$  e  $R_2$  foram escolhidos, respectivamente, como  $10\text{ k}\Omega$  e  $5,1\text{ k}\Omega$ , de modo que a tensão na saída do divisor resistivo seja aplicada em cada pino de entrada analógica do microcontrolador.

Para verificar se alguns dos pinos de entrada analógica do microcomputador está danificado a tensão adquirida por estes pinos é comparada internamente com 56 em hexadecimal (correspondente a 1,688 V) que é o valor da tensão na saída do divisor resistivo.

Entretanto, a conversão A/D dos pinos de entrada analógica pode gerar resultados diferentes do esperado, podendo variar em torno de 1 bit (tolerância do conversor A/D do microcontrolador). Desta maneira, se o resultado de quaisquer das comparações for diferente de zero e maior do que 1 *bit*, significa que o(s) pino(s) de entrada(s) analógica(s) que apresenta(m) este resultado pode(m) estar com problema(s).

Os resultados destas comparações são armazenados em um *byte*, atribuindo-se um *bit* para a identificação de cada pino entrada analógica, para posteriormente ser enviado para a unidade central a fim de que seja identificada o pino de entrada analógica que está com problema. Assim, se o pino de entrada analógica não apresentar problemas envia-se o *bit* "1", na posição referente a este pino entrada analógica, caso contrário, envia-se o *bit* "0".

Esta operação serve para informar, antecipadamente, a unidade central se o dado errado e adquirido de um determinado sensor é resultante de problemas no sensor ou na entrada em que este se encontra. Isto é importante, pois além de oferecer maior segurança aos dados recebidos pela unidade central, também facilita a identificação do problema na unidade remota.

### 3.1.3 Monitoramento das Condições de Operação de Sensores com Características de 4-20 mA.

Depois da verificação das condições de operação das entradas analógicas do microcontrolador, este adquire os sinais dos sensores que podem ser do tipo de malha de 4-20 mA [34] e [35]. Na Figura 3.3, ilustra-se o diagrama de sensores com esta característica.

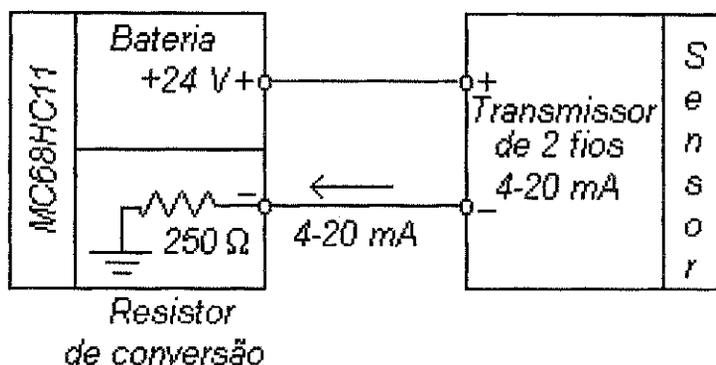


Figura 3.3: Diagrama esquemático da malha de 4 - 20 mA.

Ao serem alimentados por uma tensão de 24 V, estes sensores convertem uma grandeza física, como temperatura ou pressão, em sinais de corrente que variam de 4 a 20 mA. Esta variação da corrente pode representar a variação das medidas físicas, ou seja, a corrente de 4 mA pode corresponder ao valor zero ou o mínimo valor de uma medida (por exemplo, 27 °C para a temperatura) e a corrente de 20 mA o valor máximo da medida (por exemplo, 40 °C).

No microcontrolador, esta medida é convertida em tensão por um resistor de 250 Ω (também padronizado pela indústria), o qual os sinais dos sensores passam a variar entre 1 a 5 V.

Sensores com estas características apresentam vantagens, pois atenuam os problemas como interferências elétricas associadas as tensões e sensores com problemas quando estes estiverem fora da faixa esperada.

Depois de realizada as aquisições destes sinais os valores medidos são codificados e armazenados na memória para posterior envio á unidade central.

Além de realizar estas funções, o microcontrolador, também é responsável por outras como verificação do nível de tensão da bateria; codificação das informações

adquiridas dos sensores; envio das informações para a unidade central usando modulação digital FSK e o controle da alimentação do transmissor de RF para a redução do consumo de energia do sistema.

### 3.1.4 Monitoramento da Tensão da Bateria.

Um pino de entrada analógica do microcontrolador, PE7, é reservado para a monitoração do nível da tensão da bateria recarregável.

A aquisição do valor do nível da tensão da bateria é realizada sempre que a unidade remota entra em operação. O monitoramento desta informação é importante, pois se este valor estiver abaixo de 4,7 V, que é a tensão de alimentação aceitável para operação desta unidade, pode-se comprometer a integridade dos dados adquiridos.

Quando o programa no microcontrolador identifica que a tensão de alimentação está abaixo de 4,7 V a informação dos sensores de menor prioridade (sensor conectado ao pino PE0 tem menor prioridade que o sensor do pino PE1, que tem menor prioridade que o sensor do pino PE2, e assim por diante) deixa de ser enviada para a unidade central.

Além disso, o valor da tensão de alimentação é armazenada em memória para posteriormente ser enviado para a unidade central.

### 3.1.5 Formatação da Informação a ser Transmitida.

As informações enviadas pela unidade remota para a unidade central podem ser divididas em duas categorias: as informações de identificação e as informações variáveis (originadas dos sensores).

As informações de identificação da unidade remota fazem parte de uma categoria cujos valores dos *bytes* são constantes e são pré-determinados para cada unidade remota, enquanto que as informações variáveis formam outra categoria cujos valores dos *bytes* podem variar a todo o momento, como por exemplo, os valores originados dos sensores.

Os dados que fazem parte da categoria das informações de identificação são: o cabeçalho; o número da unidade remota; o número do grupo; o número de identificação das entradas analógicas do microcontrolador e o *byte* de fim de transmissão.

Por sua vez, os dados da categoria das informações variáveis são: o resultado da verificação de problemas nos pinos das entradas analógicas do microcontrolador; os dados originados dos sensores; o valor da tensão de alimentação da unidade remota e os *bytes* de *checksum*. Os dados das duas categorias são enviados para a unidade central seguindo um formato padrão.

A primeira informação enviada é o cabeçalho. O *byte* referente ao cabeçalho, informa a unidade central que após a recepção deste, seguem as informações específicas de uma determinada unidade remota. Este *byte* é o mesmo para todas as unidades remotas e cujo valor corresponde a \$AA (\$AA  $\Rightarrow$  AA em hexadecimal).

Em seguida, enviam-se dois *bytes* referente a identificação da unidade remota. Estes dois *bytes*, resultam em um número de registro que é particular a cada unidade remota e que facilita a unidade central na identificação das informações recebidas da unidade remota.

Após estes *bytes*, envia-se o número do grupo em que cada unidade remota se encontra, a qual pode ser utilizada para identificar de que colheita as informações de uma determinada unidade remota foram enviadas.

Depois deste *byte*, são enviadas as informações de verificação de problemas nos pinos das entradas analógicas do microcontrolador. Estas informações, como apresentadas na secção 3.1.2, ajudam na identificação de problemas nestas entradas.

Em seguida, envia-se o *byte* do valor da tensão da alimentação da unidade remota. Com este valor da tensão de alimentação, a unidade central pode verificar se a bateria que alimenta a unidade remota apresenta algum problema.

Se esta tensão de alimentação for inferior a 4,7 V, alguns valores medidos pelos sensores não são enviados para a unidade central. Assim, após o *byte* que indica o valor da tensão de alimentação, envia-se o *byte*, na qual informa quantos dados, das sete entradas A/D, serão enviados pela unidade remota. Com esta informação, a unidade central pode saber se as informações de todos os sensores são enviadas ou se, devido a problemas na tensão de alimentação da unidade remota, as informações de menor prioridade são descartadas.

Em seguida, são enviados o *byte* de identificação de cada entrada analógica, acompanhado do valor adquirido do sensor conectado a esta entrada. Este *byte* de identificação, informa qual a entrada analógica cujo valor adquirido está sendo enviado.

Para a identificação de possíveis erros nas informações envia-se dois *bytes* de verificação de erros nas informações.

Dentre as técnicas de verificação de erros existentes implementou-se a técnica chamada *checksum*. Esta técnica baseia-se na soma de todas as informações que se deseja enviar para a unidade central e o resultado desta soma são dois *bytes* os quais também são enviados para a unidade central. Esta soma é efetuada no microcontrolador da unidade remota após todas as informações que se deseja enviar para a unidade central estiverem armazenadas em memória. Desta maneira, através destes *bytes* a unidade central pode verificar a ocorrência de erros na informação recebida. Esta detecção de erros será discutida posteriormente na secção referente as operações da unidade central.

Além desta técnica sugere-se a implementação de outra, conhecida por códigos de blocos lineares. A partir de uma matriz de vetores gravados na memória do microcontrolador da unidade remota gera-se um *byte* após a codificação de todos os valores que deseja-se enviar para a unidade central. Na unidade central, todas as informações são recebidas e utilizando-se a transposta da matriz gravada no microcontrolador e o *byte* gerado, pode-se identificar se as informações foram recebidas sem erro. Esta técnica está apresentada no anexo A em mais detalhes.

Por último, é enviado o *byte* indicando o fim da transmissão das informações. Este *byte*, informa o término do envio de todas as informações da unidade remota para a unidade central. Na Figura 3.4, ilustra-se o diagrama da estrutura das informações.

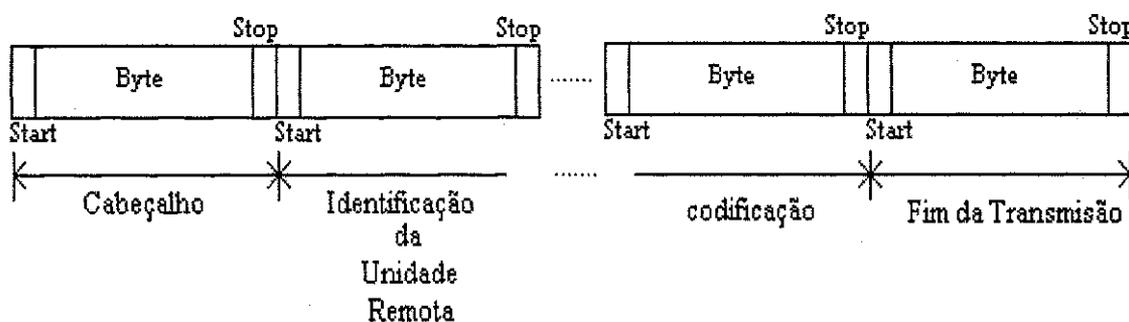


Figura 3.4: Diagrama da estrutura das informações.

Para evitar possíveis interpretações erradas, a unidade central ao receber os dados de identificação e os dados referentes a unidade remota (informações variáveis), estes dados são enviados em formato diferente.

Os dados de identificação são pré-determinados dentro da faixa de \$A0-\$FF. Por sua vez, os dados referentes a unidade remota (informações variáveis) são representadas por números que variam de \$00-\$9F.

Assim, ao serem recebidas pela unidade central, estas informações podem ser identificadas e tratadas de acordo com as suas características.

### **3.1.6 Configuração para a Modulação Digital FSK.**

As informações enviadas da unidade remota para a unidade central são digitais. Por outro lado, o transmissor de RF projetado para enviar estas informações de uma unidade para a outra tem uma largura de banda limitada em de 50,864 kHz, conforme os cálculos apresentados no anexo B. Desta maneira, como um sinal digital ou pulsado apresenta uma grande quantidade de harmônicas de alta frequência significa que parte destas harmônicas serão eliminadas e isso, resultaria em informações distorcidas ao serem recebidas pela unidade central.

Para evitar este problema, realiza-se uma pré-modulação digital do tipo FSK para o envio das informações digitais pelo transmissor de RF. Neste tipo de modulação digital são enviados dois sinais com frequências de 7 kHz e 8 kHz representando, respectivamente, os níveis, "0" e "1".

Para a realização da modulação FSK na unidade remota, implementou-se uma configuração utilizando o microcontrolador que realizasse a modulação FSK sem a necessidade de acrescentar novos circuitos a estrutura. Esta configuração está ilustrada na Figura 3.5 (a).

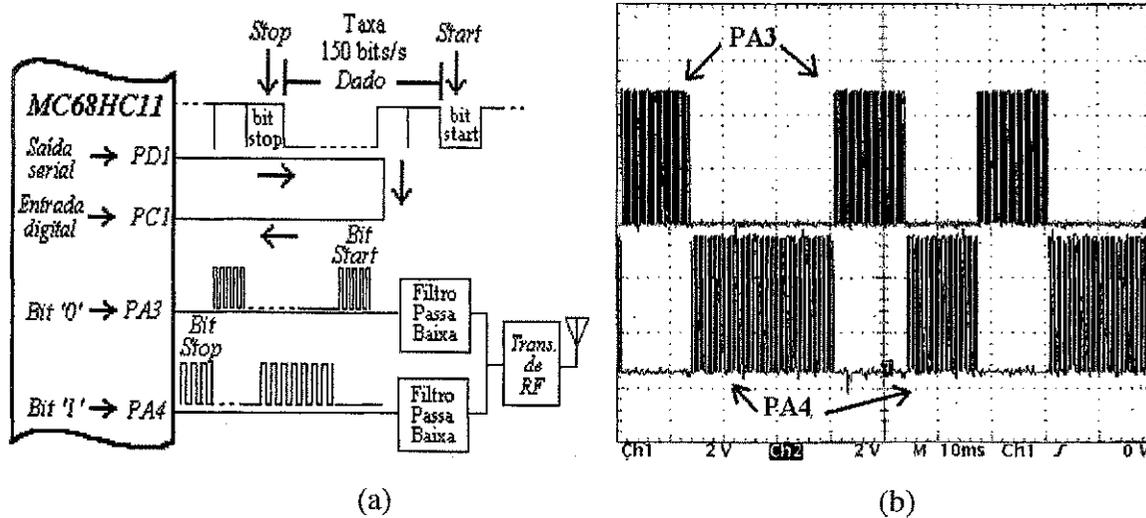


Figura 3.5: (a) Configuração para modulação digital em FSK.

(b) Saída nos pinos PA<sub>3</sub> e PA<sub>4</sub>.

Inicialmente, nesta configuração, os sinais digitais, (as informações de identificação e de variáveis) são enviados pelo pino de saída serial PD1 do microcontrolador, conforme está ilustrado na Figura 3.5 (a).

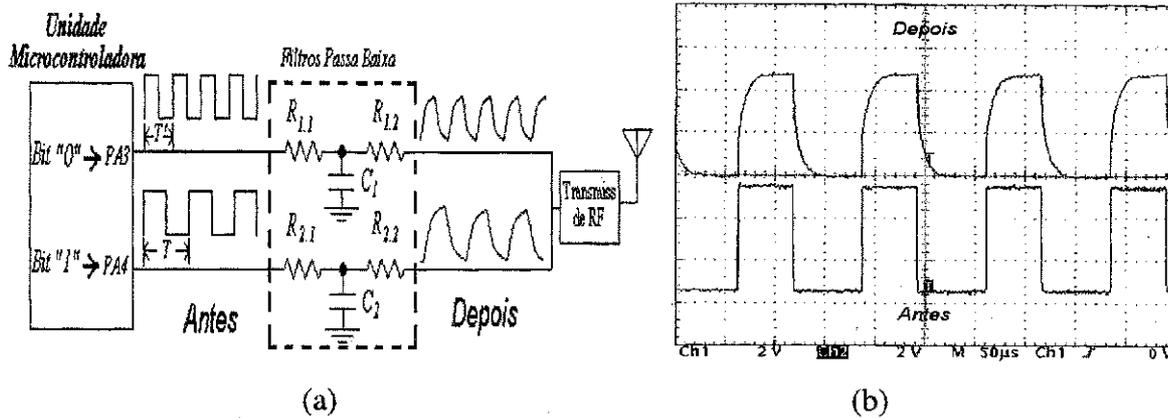
Para que as informações sejam moduladas em FSK, o pino de saída serial do microcontrolador é realimentado ao pino PC1 de entrada digital deste para identificar os níveis lógicos da palavra serial.

Através de um programa gravado na EEPROM do microcontrolador, realiza-se periodicamente a detecção dos níveis lógicos da palavra serial.

Para cada nível lógico detectado, gera-se um correspondente trem de pulsos em uma das duas saídas digitais (PA<sub>3</sub> ou PA<sub>4</sub>) escolhidas do microcontrolador. Ou seja, ao ser detectado o nível lógico "0" gera-se uma frequência de 7 kHz (duração de um *bit*) no pino PA<sub>3</sub> e ao ser detectado o nível lógico "1" gera-se uma frequência de 8 kHz (duração de 1 bit) no pino PA<sub>4</sub> (Figura 3.5 (b)).

As seqüências de níveis lógicos resultantes da modulação digital constitui um sinal pulsado como está ilustrado na Figura 3.5 (a) pelos pinos de saída digital PA<sub>3</sub> e PA<sub>4</sub>. Desta maneira, para a conversão das informações digitais para o formato analógico utiliza-se uma estrutura com filtros passa baixa (Figura 3.6.a).

Os valores dos resistores e dos capacitores nos filtros são determinados assumindo um compromisso tal que as altas frequências do sinal pulsado sejam eliminadas e as amplitudes dos sinais após a filtragem permaneçam aproximadamente constantes.



(a) Estrutura dos filtros passa baixa  
 (b) Sinais com características analógicas e digitais

As seqüências dos níveis lógicos nos pinos de saída lógica do microcontrolador, após a filtragem, passam a apresentar característica analógica apropriada para o envio nas unidades remotas e recepção na unidade central (Figura 3.6.b). A saída de cada filtro é conectada a entrada do transmissor de RF, para que seja efetuada a modulação em frequência da portadora de RF. É importante ressaltar que estas seqüências de pulsos não ocorrem simultaneamente, pois a presença das frequências está relacionada a detecção do nível lógico TTL da palavra serial.

### 3.1.7 Transmissor de FM.

As frequências de 7 kHz (referente ao nível lógico “0”) e 8 kHz (referente ao nível lógico “1”) são enviadas da unidade remota para a unidade central por um transmissor de RF modulado em frequência (FM) (Figura 3.7) [15], [17] e [36].

O diagrama da Figura 3.7 é uma configuração básica de um transmissor típico de FM cuja frequência de operação pode ser sintonizada por um circuito tanque, em uma frequência que esteja dentro da faixa de 88 a 108 MHz. Entre a antena e a saída do

transmissor tem-se um filtro em  $\pi$  para se obter o casamento de impedância entre a antena e o transmissor.

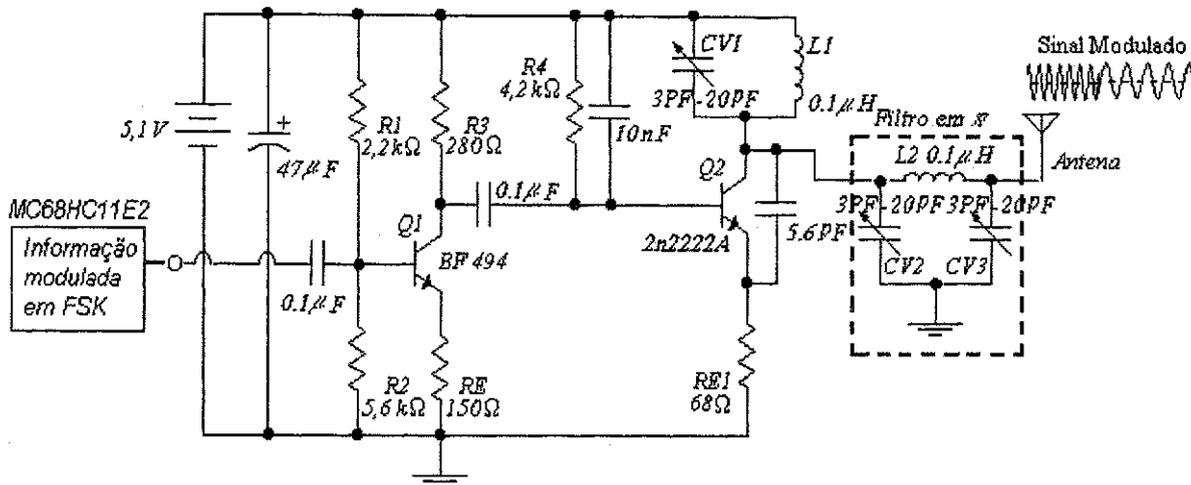


Figura 3.7: Diagrama do circuito modulador e transmissor de RF.

Com este circuito, a unidade remota pode ser posta em distâncias que variam entre 300 m a 500 m da unidade central (alcance determinado experimentalmente deslocando-se o transmissor de um receptor de RF). Porém, substituindo-se RE1 (valores menores) e Q2 (de maior potência) e elevando-se a tensão de alimentação deste transmissor, pode-se aumentar o alcance para algumas dezenas de quilômetros [14], [17] e [36]. A polarização do transistor é determinada conforme demonstrado no anexo B.

### 3.1.8 Considerações de Redução do Consumo de Energia.

Para evitar que o transmissor permaneça consumindo energia, o microcontrolador utiliza um pino de saída digital, PB5, para controlar a alimentação deste transmissor a partir de um transistor bipolar como chave como está ilustrado na Figura 3.8.

O *jump* (J3) é utilizado para a verificação de problemas no microcomputador como apresentado na seção 3.1.2. Em operação o J3, como ilustrado na Figura 3.8 [e utilizado para ligar/desligar o transmissor de RF.

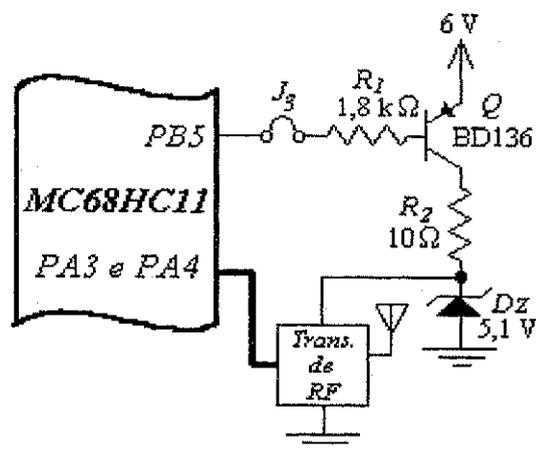


Figura 3.8: Diagrama do circuito de controle da alimentação do transmissor.

A partir deste controle, o transmissor é ativado apenas quando todas as informações, no microcontrolador, estão prontas para serem enviadas para a unidade central reduzindo assim, o consumo de energia da unidade remota durante o intervalo em que esta não está transmitindo as informações para a unidade central. O projeto com o cálculo dos resistores  $R_1$  e  $R_2$  para esta configuração está apresentado no anexo B [37].

Realizada a comunicação entre a unidade remota e a unidade central e retirando a alimentação do transmissor, o microcontrolador executa a instrução, *stop*, e entra no modo denominado *standby* (baixo consumo de energia do microcontrolador).

Neste modo, o microcontrolador permanece com um consumo de corrente de aproximadamente  $300 \mu\text{A}$ . Esta corrente é suficiente para manter os dados na *RAM* interna e garantir o último valor de todos os pinos do microcontrolador antes da execução desta instrução [24] e [25].

### 3.1.9 Painel Solar, Carregadores de Baterias e Baterias Recarregáveis.

A unidade remota é alimentada por um painel solar, pois com a utilização deste evita-se usar cabos para a sua alimentação. Com isso, problemas como o rompimento destes cabos por máquinas, por exemplo, são eliminados [27].

Como o painel solar não é capaz de alimentar a unidade remota em períodos noturnos e nem em dias nublados, utiliza-se uma configuração com carregador de baterias e

um conjunto de baterias recarregáveis para armazenar a energia do painel solar e garantir o funcionamento da unidade remota durante estes períodos.

Um diagrama de um carregador de baterias de Ni-Cd está ilustrado na Figura 3.9 [38] e [39].

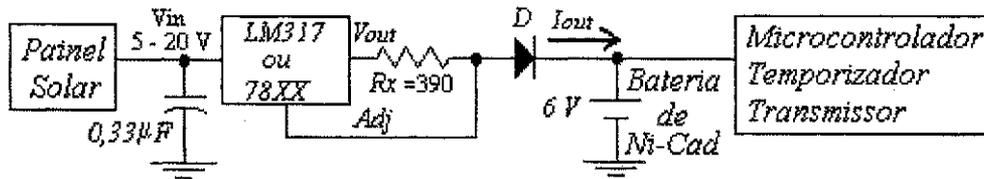


Figura 3.9: Diagrama do circuito de um carregador de baterias de Ni-Cd.

O carregador utilizado nesta configuração é composto por um regulador de tensão LM317 ou um 78XX configurado como uma fonte de corrente [38].

Nesta configuração,  $R_x$  é a resistência necessária para manter a corrente de carregamento da bateria recarregável e é determinada por,  $R_x = V_{out}/I_{out}$ .

Para a bateria de Ni-Cd utilizada na unidade remota (formada por cinco baterias de 1,2 V e com capacidade de 360 mA-h cada), desejou-se um valor da corrente de carregamento da bateria de 20 mA e utilizando-se o regulador de tensão LM7808, determinou-se uma resistência  $R_x$  de 390  $\Omega$  (valor comercial).

Para as baterias de chumbo-ácido, pode-se utilizar uma configuração de um carregador de baterias, como ilustrada na Figura 3.10 [40] e [41].

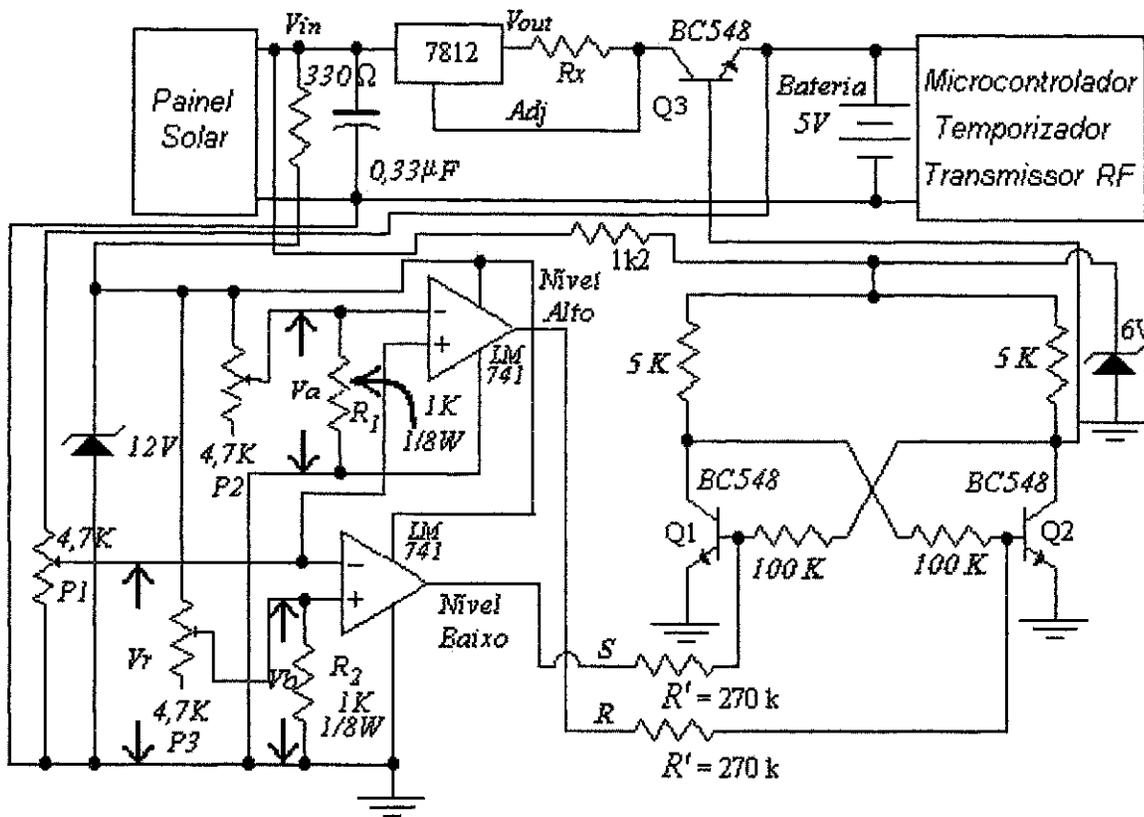


Figura 3.10: Diagrama de um circuito de um carregador de baterias de Chumbo-Ácido.

Quando a bateria de chumbo-ácido está se carregando e esta alcança o seu máximo valor de tensão, significa que esta bateria completou o seu ciclo de carregamento. Assim, se o carregador de baterias continuar fornecendo corrente, esta bateria pode se danificar por sobrecarregamento.

No diagrama da Figura 3.10, utiliza-se uma fonte de corrente (com o CI LM7812 e cujo valor da corrente de carregamento pode ser determinado como apresentado para a bateria de Ni-Cd), para carregar a bateria de chumbo-ácido.

Além disso, utilizam-se dois comparadores de tensão e um latch (Q<sub>1</sub> e Q<sub>2</sub>) para identificar quando a bateria de chumbo-ácido está carregada e em seguida, desconecta-la do carregador.

A tensão de alimentação dos comparadores de tensão é mantida por um diodo zener de 12 V. Através dos potenciômetros P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> e P<sub>3</sub>, ajusta-se os limites máximos e mínimos que a tensão da bateria de chumbo-ácido deve alcançar.

A partir da definição destes dois limiares de tensão, utiliza-se um latch, interligado a estes comparadores e o transistor Q<sub>3</sub> configurado como chave, para conectar a bateria na fonte de corrente quando esta bateria estiver descarregada e desconecta-la quando a mesma estiver carregada. O calculo dos componentes do carregador de baterias está apresentado no anexo B.

A vantagem da configuração apresentada é que esta retira de atuação o painel solar junto com a fonte de corrente sempre que a bateria estiver carregada, para evitar que esta se sobrecarregue. Além disso, retorna com o painel solar e a fonte de corrente, quando a bateria está com o nível de tensão inaceitável (ou seja, inferior ao nível mínimo e necessário para a unidade remota poder operar normalmente). Se a bateria estiver com um nível inaceitável e isso ocorrer à noite, por exemplo, a bateria continuará a se descarregar até que o painel solar retorne a fornecer energia, ao amanhecer, por exemplo.

### 3.1.10 Circuito receptor da Unidade Remota.

Nos modos de comunicação *half-duplex* e *full-duplex* a unidade remota utiliza-se de um receptor de RF para captar os sinais enviados pela unidade central e acionar o microcontrolador a partir de informações enviadas pela unidade central, como ilustrado na Figura 3.11.

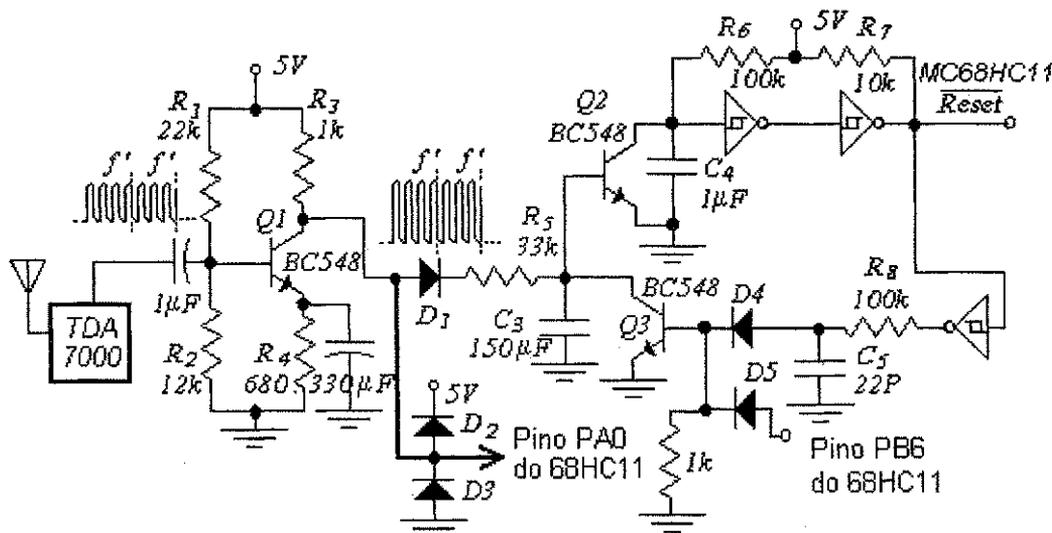


Figura 3.11: Diagrama de um circuito para a recepção das informações e acionamento da unidade remota.

Nesta configuração o demodulador de RF (TDA 700) permanece constantemente alimentado, pronto para receber as informações enviadas pela unidade central.

Depois de entrar no modo *standby*, o microcontrolador, na unidade remota, espera que a unidade central solicite um novo acionamento pelo receptor de RF.

Para adquirir as informações de uma determinada unidade remota, a unidade central envia um sinal de 1 kHz para as unidades remotas. Estas unidades remotas, recebem este sinal que, em seguida, é amplificado (Q1).

Para que o microcontrolador não seja inicializado através das informações enviadas pela unidade central, enquanto está executando as instruções, este microcontrolador mantém o capacitor C<sub>3</sub> descarregado durante toda a operação mantendo o circuito de *reset* desativado.

As informações enviadas pela unidade central também são moduladas em FSK, porém as frequências definidas para os níveis lógicos "0" e "1" são, respectivamente, 1 kHz e 2 kHz. Assim, ao serem adquiridas pelo receptor, na unidade remota as informações são identificadas utilizando uma entrada de captura e o temporizador interno do microcontrolador.

Cada *bit* identificado pela detecção das frequências (programa no microcontrolador utiliza um contador para identificar as frequências dos sinais), é enviado ao pino de saída digital PB7 que, retorna ao microcontrolador através da realimentação deste pino PB7 com o pino de entrada serial PD0 deste microcontrolador, como ilustrado na Figura 3.12.

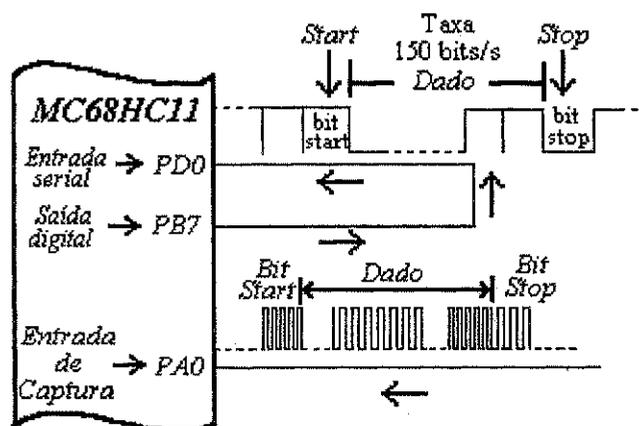


Figura 3.12: Detecção das frequências e recuperação das informações seriais.

Estas informações são processadas pela unidade remota e dependendo da informação enviada pela unidade central, a unidade remota pode retransmitir ou não uma determinada informação.

Para que a unidade remota atue no modo *simplex*, na estrutura anterior retira-se o circuito demodulador e o circuito acionador e os substitui por um temporizador externo ao microcontrolador para o acionamento deste em instantes pré-estabelecidos. Ou seja, depois de realizada todas as operações, o microcontrolador entra no modo de *standby* para reduzir o consumo de energia.

Porém, para que este microcontrolador volte a operar, este deve ser acionado externamente através de um sinal no pino de *reset*.

A geração deste sinal, é realizada através de um temporizador como ilustrado na Figura 3.13.

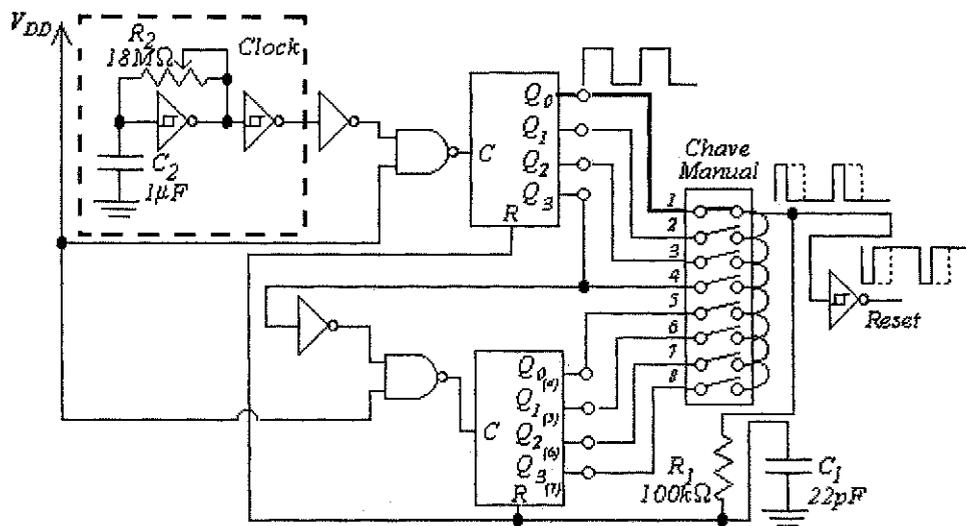


Figura 3.13: Diagrama de um circuito de temporização do sistema de telemetria.

Este temporizador, composto por um *clock* e um contador, pode acionar o microcontrolador com oito bases de tempos diferentes a partir de uma chave manual. Assim, para minimizar o número de colisões entre as informações enviadas pela unidade remota, o temporizador, de cada unidade, aciona o microcontrolador em instantes de tempo distintos. Desta maneira, evita-se a necessidade das unidades remotas serem sincronizadas. Na Figura 3.14, ilustra-se o diagrama da base de tempo para diferentes unidades remotas. O projeto do *clock* deste temporizador está apresentado no anexo B.

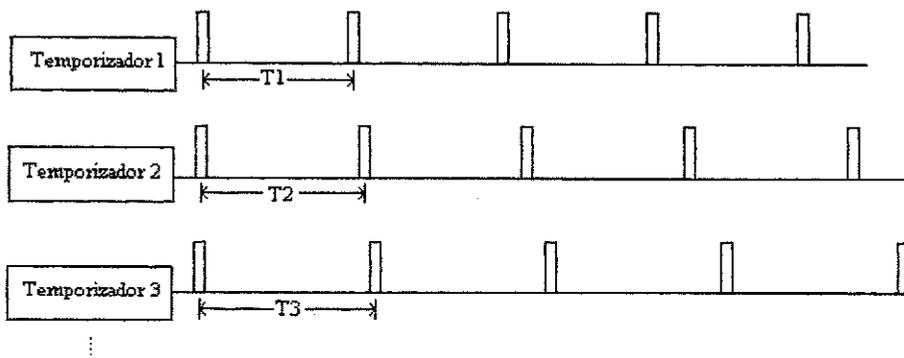


Figura 3.14: Diagrama da base de tempo para diferentes unidades remotas.

Porém, para reduzir mais ainda a possibilidade de colisões, cada unidade remota envia para a unidade central três vezes as mesmas informações, com intervalos entre cada envio destas informações e cujos valores destes intervalos de tempo são diferentes para cada unidade. Com o acréscimo destas características à configuração básica, pode-se desenvolver diversas unidades remotas para atuarem no modo *simplex*.

### 3.1.11 Consumo de energia da Unidade Remota.

A partir do projeto das estruturas para as unidades remotas e para a unidade central, um protótipo para cada uma destas unidades foi desenvolvido para a verificação de projeto, condições de operação e, principalmente, para analisar o comportamento do consumo de energia da unidade remota durante a operação.

Conforme ilustrado da Figura 3.15, tem-se o comportamento experimental da tensão da unidade remota no modo de comunicação *simplex* durante um período de 23 h e com operações realizadas a cada 7 minutos.

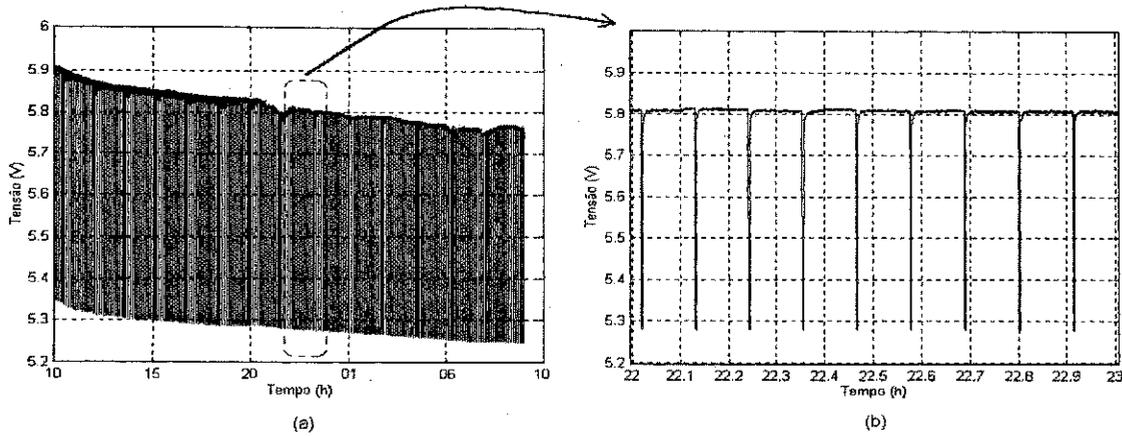


Figura 3.15: Dependência da tensão de alimentação da unidade remota no modo *simplex* durante a operação.

Apesar de ter ocorrido uma pequena queda, de aproximadamente 0,16 V, na tensão de alimentação da unidade remota, observa-se que durante o período noturno a bateria utilizada (de NI-Cd: 6 Vdc e 300 mAh) foi suficiente para manter a unidade remota em condições normais de operação. Durante este período, a corrente consumida pela unidade remota, em operação, é de aproximadamente 56 mA e no modo *standby* o consumo desta corrente é reduzido para próximo de 1,8 mA, reduzindo bastante o consumo médio de energia da unidade (Figura 3.16).

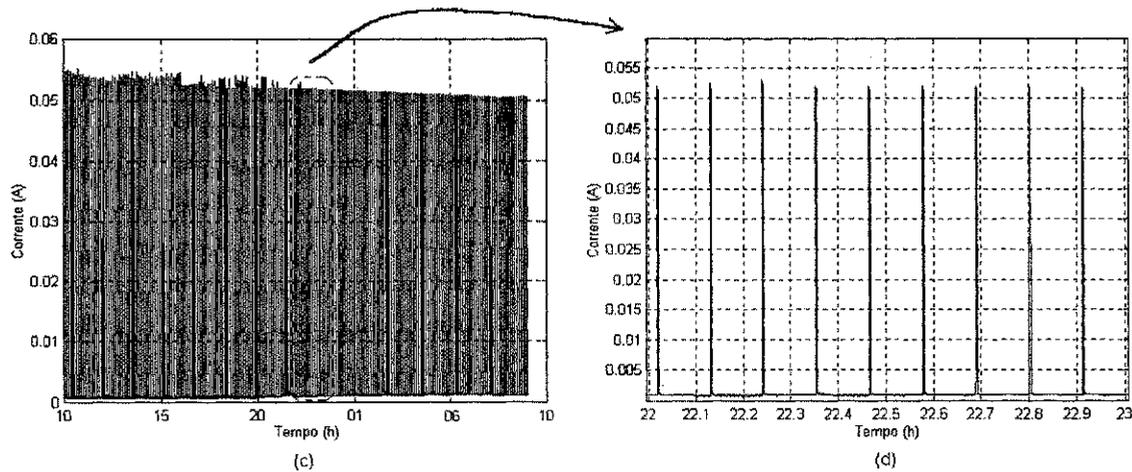


Figura 3.16: Dependência da corrente da unidade remota no modo *simplex* durante a operação.

Para realizar uma comparação do consumo de energia da unidade remota nos dois modos de comunicação, a operação do sistema foi realizada duração 23 h e as informações da unidade remota solicitadas pela unidade central eram enviadas a cada 7 minutos.

Na Figura 3.17, tem-se o comportamento da tensão de alimentação da unidade remota no modo *half-duplex*.

Neste modo de comunicação um receptor de RF e um circuito para o acionamento remoto desta unidade são acrescentados. Desta maneira, observa-se que a tensão da bateria, principalmente em períodos noturnos, sofreu uma queda de aproximadamente de 0,3 V devido ao receptor de RF e ao circuito de acionamento que permanecem operando continuamente para a recepção das informações de solicitação da unidade central.

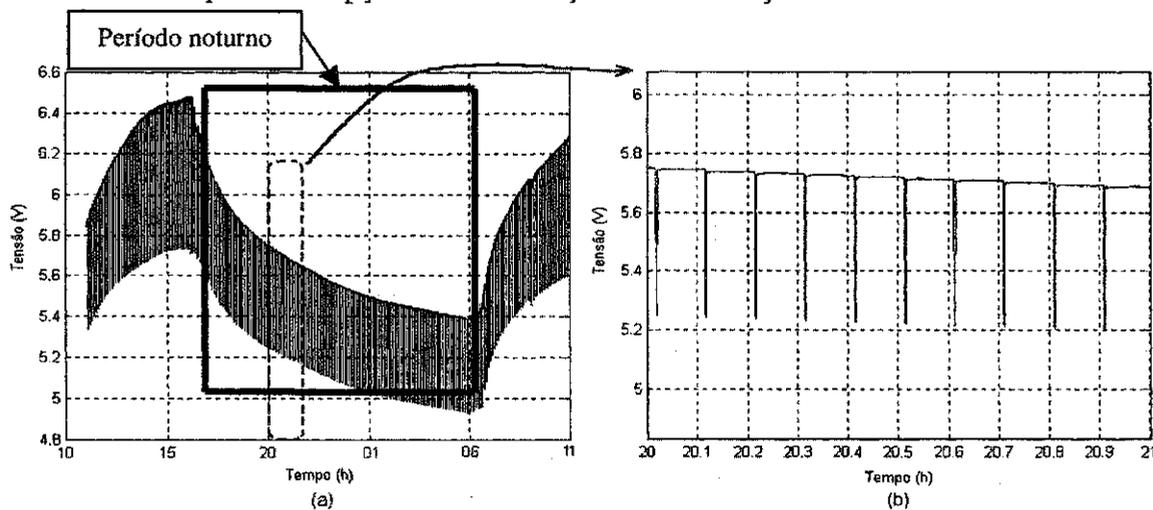


Figura 3.17: Dependência da tensão de alimentação da unidade remota no modo *half-duplex* durante a operação.

Na Figura 3.18, observa-se que a corrente consumida pela unidade remota, durante o instante de operação, subiu de 23 mA em relação a mesma unidade remota configurada no modo *simplex* e o consumo desta corrente no modo *standby* também aumentou para 9,2 mA.

Desta maneira, é de se esperar que, com a elevação do consumo de energia, a mesma bateria não consiga manter a unidade remota operando em condições normais e durante o mesmo tempo como acontece no modo *simplex*.

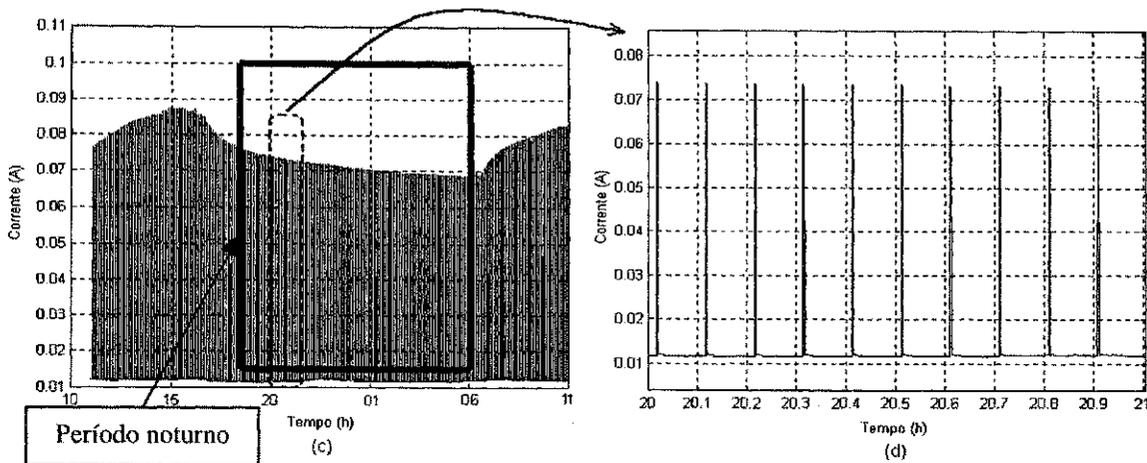


Figura 3.18: Dependência da corrente da unidade remota no modo *half-duplex* durante a operação.

A partir deste resultado, tem-se que a bateria utilizada (a mesma usada para o modo *simplex*) não é suficiente para manter a unidade remota operando em condições normais durante muito tempo sem o auxílio do painel solar para recarregá-la.

Para esta configuração, é necessário utilizar uma bateria com capacidade maior para garantir um tempo de operação prolongado da unidade remota em situações, na qual o painel solar não está atuando.

Com estes resultados e com os recursos que cada configuração podem oferecer, o usuário têm a disposição duas configurações e duas possibilidades de operação.

### 3.1.12 Programa de Controle de Operação da Unidade Remota.

O controle da operação das unidades remotas, configuradas para os modos *simplex*, *half-duplex/full-duplex* pode ser realizado por programas gravados na EEPROM do microcontrolador. Estes programas são diferentes para cada modo de comunicação, como apresentado nos itens I e II a seguir.

### I – Modo Half-Duplex/Full-Duplex.

O programa de controle das unidades remotas nos modos de operação *half-duplex/full-duplex*, pode ser dividido em três rotinas básicas: identificação das unidades remotas, diagnósticos da unidades remotas e transmissão dos dados para a unidade central.

Na Figura 3.19, ilustra-se o fluxograma da rotina de identificação das unidades remotas.

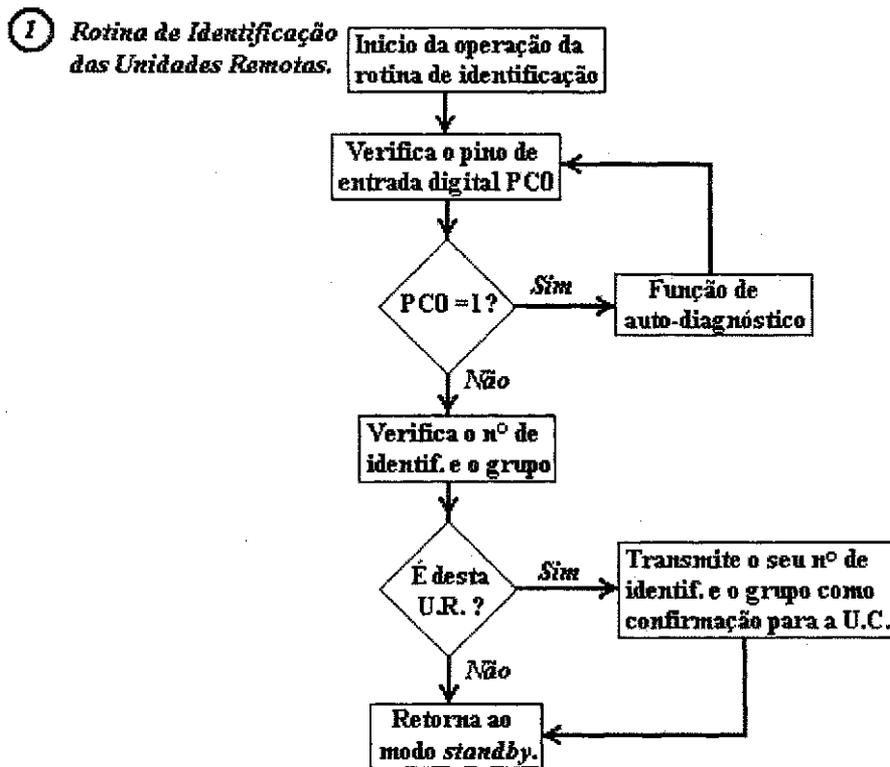


Figura 3.19: Fluxograma da rotina de identificação das unidades remotas.

Nesta rotina de identificação a unidade remota, transmite para a unidade central, quando solicitado as informações de identificação e qual é o grupo a que pertence, e retorna ao modo *standby* até nova solicitação da unidade central.

A rotina de diagnóstico inicial, quando solicitada pela unidade central, faz com que a unidade remota realize um teste das suas condições de operação e transmite os resultados obtidos para a unidade central. O fluxograma desta rotina está ilustrado na Figura 3.20.

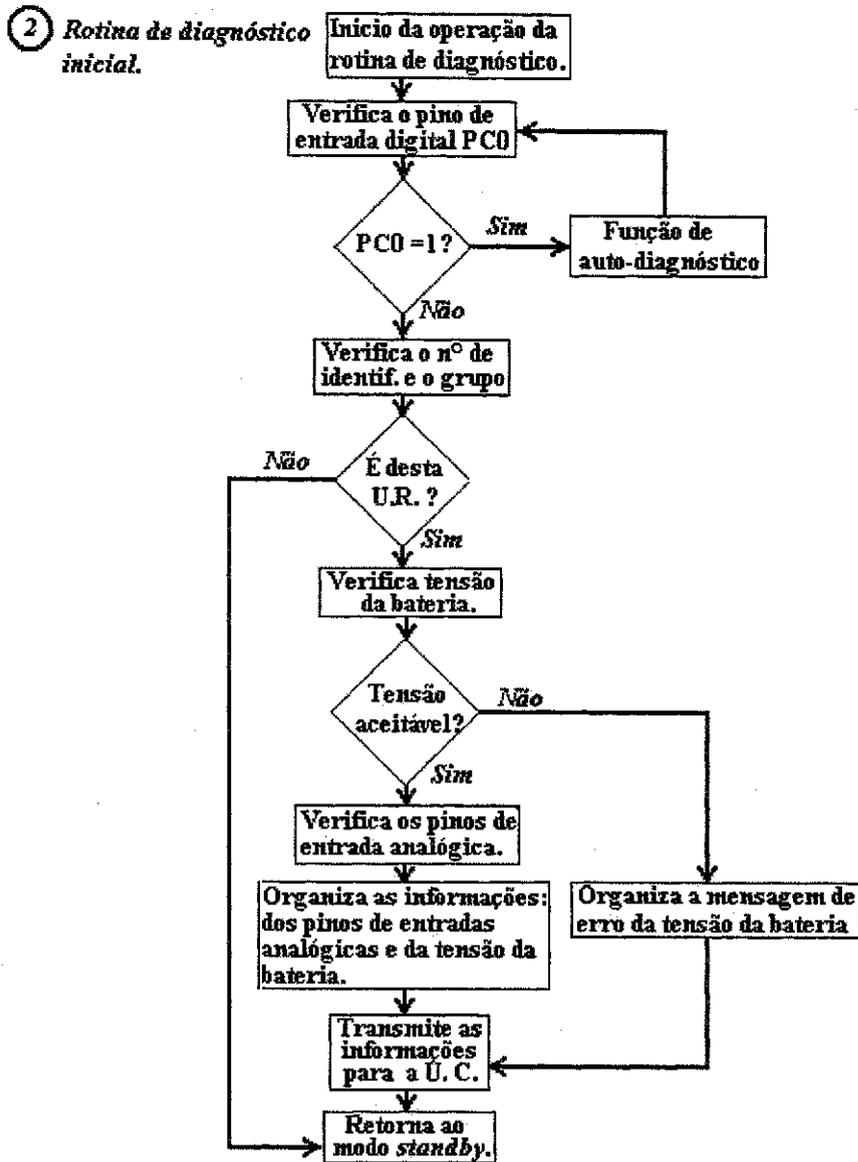


Figura 3.20: Fluxograma da rotina de diagnóstico inicial.

Nesta rotina de diagnóstico são transmitidas para a unidade central as informações do nível de tensão da bateria e as condições (estado) dos pinos de entradas analógicas do microcontrolador.

A rotina de transmissão de dados das unidades remotas para a unidade central esta apresentada no fluxograma da Figura 3.21.

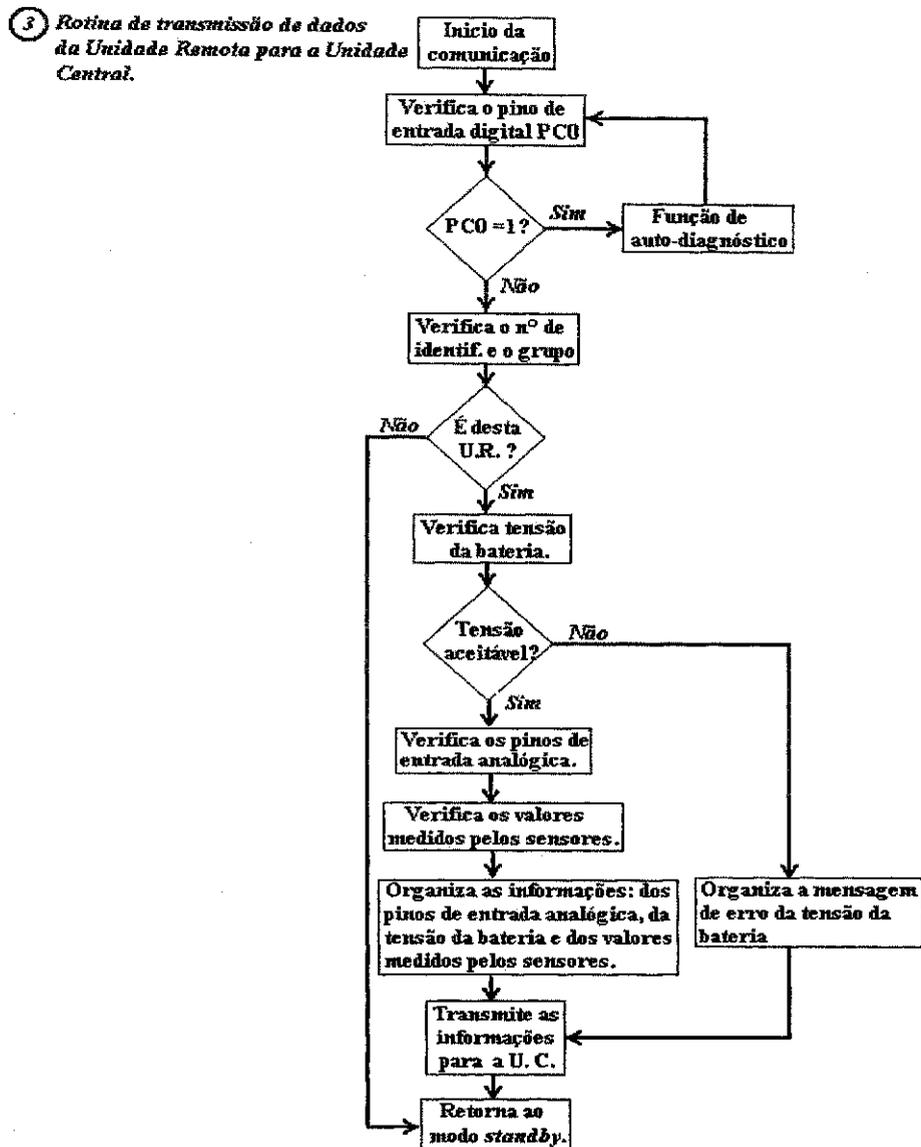


Figura 3.21: Fluxograma da rotina de transmissão de dados das unidades remotas para a unidade central.

Nesta rotina os dados adquiridos pela unidade remota e demais informações de operação da mesma são transmitidos para a unidade central.

### II – Modo Simplex.

Para as unidades remotas configuradas no modo de comunicação *simplex*, o programa implementado para o controle das operações dos seus blocos está ilustrado na Figura 3.22.

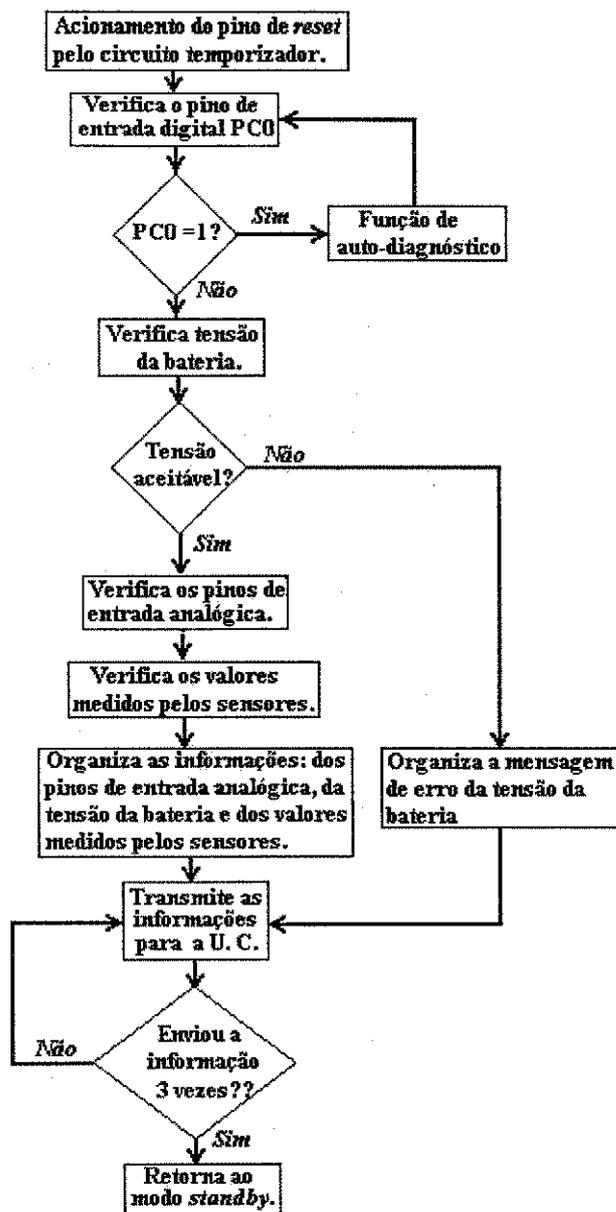


Figura 3.22: Fluxograma do programa de operação da unidade remota para o modo *simplex*.

No modo de comunicação *simplex*, a unidade remota é acionada por um temporizador externo. Inicialmente esta unidade verifica o nível de tensão da bateria, se estiver dentro da faixa de operação aceitável, os valores medidos pelos sensores (dados adquiridos pela unidade remota) e as demais informações desta unidade são enviadas à unidade central. Se o nível de tensão da bateria estiver no limite de operação, apenas uma mensagem de erro é enviada à unidade central.

Objetivando reduzir os erros na comunicação entre a unidade remota e a unidade central, as informações são enviadas três vezes. Depois de enviar as informações para a unidade central, a unidade remota retorna ao modo de *standby* e aguarda o próximo acionamento pelo temporizador.

Além das operações apresentadas anteriormente para os modos de comunicação *simplex*, *half-duplex* e *full-duplex*, a unidade remota nestes modos pode realizar a função de auto-diagnóstico, como ilustrado na Figura 3.23.

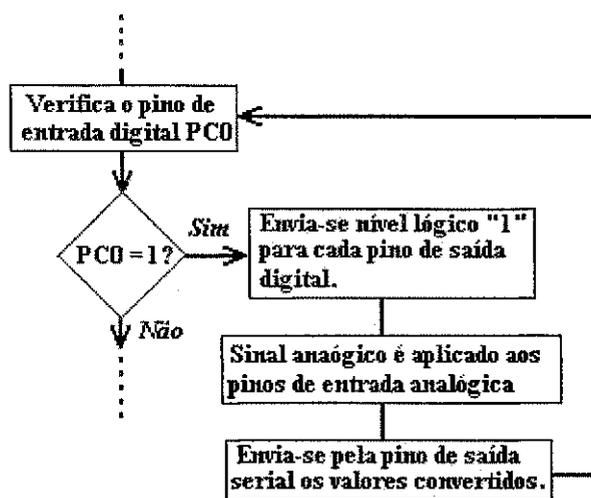


Figura 3.23: Fluxograma do programa de auto-diagnóstico da unidade remota nos três modos de comunicação.

Após o microcontrolador ser inicializado pelo circuito temporizador no modo *simplex* ou então, após o microcontrolador ser inicializado nos modos *half-duplex/full-duplex* a próxima operação realizada é verificar se o seu pino de entrada digital PC0 encontra-se em nível lógico “1” ou “0”. Estando em nível lógico “1”, a função de auto-diagnóstico é realizada.

Nesta função, o microcontrolador mantém em nível lógico “1” todas as suas saídas digitais. Desta maneira, pode-se medir com um DVM estes níveis em cada saída e verificar se estão danificadas ou não.

Em seguida, realiza-se um aquisição das tensões aplicadas aos pinos de entrada analógica, no qual os valores adquiridos, são enviados pelo pino de saída serial PD1 do

microcontrolador possibilitando desta maneira, verificar, através de instrumentos de medição, se estas entradas estão danificadas.

### 3.2 Implementação da Unidade Central.

#### I – Operação Half-Duplex/Full-Duplex.

Para operar nos modos *half-duplex* e *full-duplex*, a unidade central um transmissor de RF e um modulador FSK como está ilustrada na Figura 3.24.

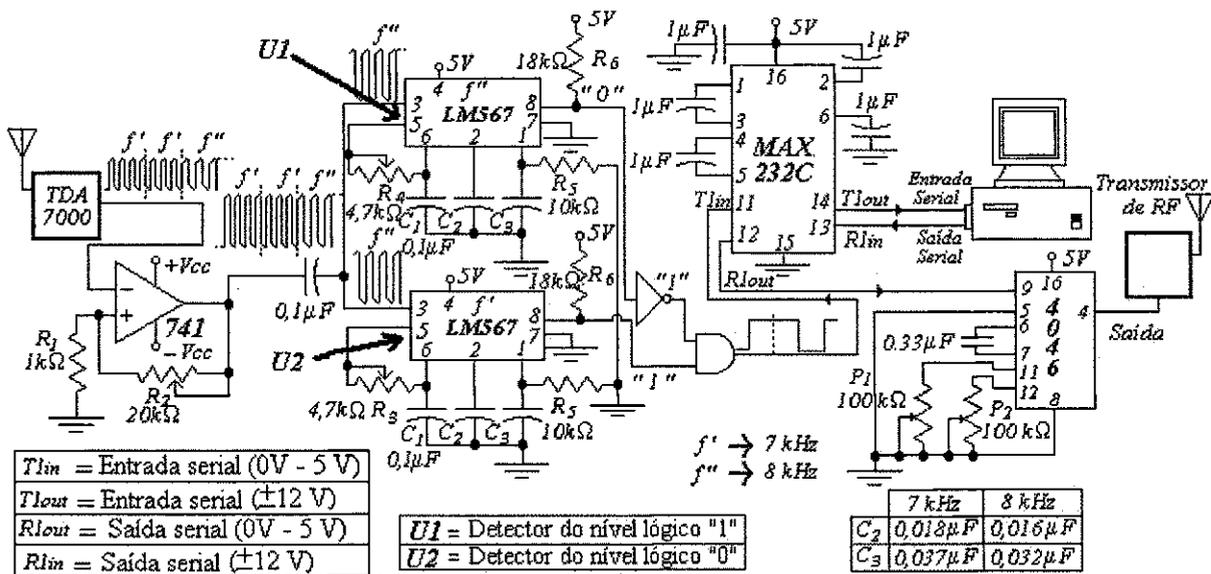


Figura 3.24: Diagrama do circuito para a recepção, decodificação e transmissão das informações moduladas em FSK.

Para evitar interferências de um transmissor sobre o receptor de uma mesma unidade, durante a comunicação, o transmissor e o receptor de uma mesma unidade não operam simultaneamente. Este transmissor de FM tem a mesma configuração utilizada na unidade remota.

Para a recepção dos sinais enviados pela unidade remota utiliza-se um receptor de RF (TDA 7000), o é sintonizado nas faixas de frequências de FM comerciais e cujos

componentes (capacitores e indutores), utilizados neste receptor, são projetados e fornecidos pelo fabricante [42].

Neste receptor de RF, a saída do demodulador de FM apresenta níveis de tensões que podem alcançar no máximo 200 mV (Pico a pico).

Desta forma, para que os sinais recebidos sejam detectados e para identificar as frequências correspondentes aos níveis lógicos "0" e "1" dos sinais, utiliza-se um amplificador básico que eleva este nível de tensão para aproximadamente 2,5 V<sub>PP</sub>, com  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  e  $R_2 = 11,5 \text{ k}\Omega$  (Figura 3.25).

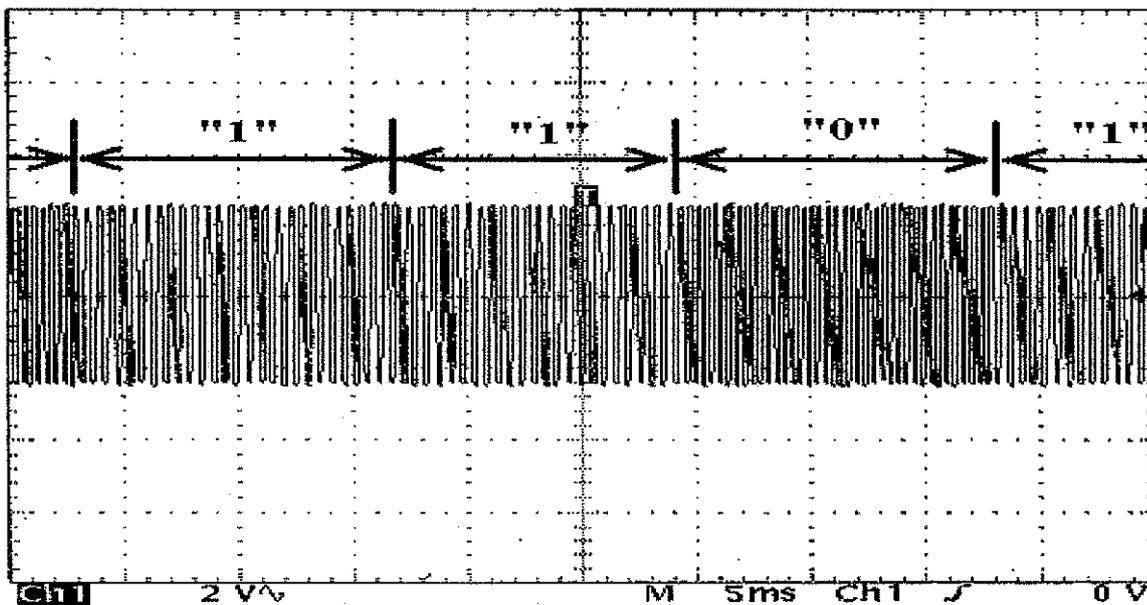


Figura 3.25: Sinal da saída do amplificador básico.

Para detectar as duas frequências, 7 kHz e 8 kHz, enviadas pela unidade remota e assim, demodular e identificar a informação digital modulada nestas frequências, utiliza-se na saída do amplificador dois circuitos detectores de tons (CI 567) [43] e [44].

Estes circuitos, constituídos de um PLL cada e ajustados para detectar as duas frequências, 7 kHz e 8 kHz.

Se nenhuma destas duas frequências for recebida por estes detectores de tons, as saídas destes permanecem com nível lógico "1". Entretanto, ao receberem um sinal com uma destas duas frequências o detector de tom, ajustado na frequência detectada, muda o

valor da saída para nível lógico “0”, indicando a presença do sinal correspondente. A escolha dos capacitores e dos resistores dos detectores de tons está apresentado no anexo B.

Porém, apenas a detecção destas frequências de 7 kHz e 8 kHz não é suficiente para recuperar e identificar a informação digital enviada pela unidade remota. Desta maneira, a partir de uma configuração com portas lógicas pode-se recuperar e identificar a palavra digital recebida.

Na Tabela 3.1, ilustra-se os possíveis resultados a partir das saídas dos detectores de tom U1 e U2.

| Saída dos detectores de tons |   | Inversor |       | AND     |       |
|------------------------------|---|----------|-------|---------|-------|
|                              |   | Entrada  | Saída | Entrada | Saída |
| U1                           | 1 | 1        | 0     | 0       | 0     |
| U2                           | 1 | —        | —     | 1       |       |
| U1                           | 1 | 1        | 0     | 0       | 0     |
| U2                           | 0 | —        | —     | 0       |       |
| U1                           | 0 | 0        | 1     | 1       | 1     |
| U2                           | 1 | —        | —     | 1       |       |

Tabela 3.1: Possíveis resultados na saída da configuração das portas lógicas.

Conforme ilustrado na Tabela 3.1, existem três possíveis resultados na qual pode-se obter na saída desta configuração. O primeiro resultado na tabela (“0” na saída da porta AND quando U1=1 e U2=1) ocorre quando nenhuma unidade remota está transmitindo dados para a unidade central. Neste caso, o programa residente na unidade central poderia interpretar este sinal como sendo a palavra \$00 (em hexadecimal) enviada pela unidade remota já que na saída da porta lógica AND se teria o nível lógico “0”.

Entretanto, para que uma palavra seja identificada pelo microcomputador é necessário que esta palavra tenha um *bit* de *start* (*bit* “0”) e um *bit* de *stop* (*bit* “1”) o que não ocorre quando todas as unidades remotas não estão enviando informações e a unidade central está recebendo apenas o nível lógico “0”, como apresentado na primeira situação (U1 = 1 e U2 = 1) na Tabela 3.1.

Com os outros possíveis resultados apresentado na Tabela 3.1 (“0” lógico na saída da porta AND quando U1=1 e U2=0 e “1” lógico na saída da porta AND quando U1=0 e U2=1) recupera-se os dados seriais enviados pela unidade remota.

Como os sinais são decodificados para um formato serial, utiliza-se a porta serial do microcomputador como meio de entrada para estes sinais.

Para que as informações estejam em níveis lógicos adequados à entrada do microcomputador, utiliza-se um circuito que as modificam para o nível lógico padrão (RS232) da porta serial do microcomputador [45].

Ao termino da recepção destas informações, verifica-se, no microcomputador, a ocorrência de erros na informação recebida. Esta detecção de erros nas informações é realizada utilizando-se os *bytes* de *checksum* enviados pela unidade remota.

Conforme apresentado na secção 3.1.6, os *bytes* de *checksum* são gerados na unidade remota a partir da soma de todos os *bytes* que a unidade remota deseja transmitir para a unidade central. Após todos os dados serem recebidos pela unidade central, no microcomputador, realiza-se a soma de todos os dados recebidos com exceção dos dados de *checksum*. Em seguida, o resultado desta soma é comparado com o *byte* de *checksum* enviado pela unidade remota. Se o resultado da comparação for igual a zero significa que as informações não sofreram interferências.

Por sua vez, se a informação sofrer interferências durante a comunicação e for detectado algum erro nesta informação, a unidade central solicita, através do envio de um comando a unidade remota, uma retransmissão da informação que foi recebida de forma errada.

Como as informações enviadas pelo microcomputador também são digitais, utiliza-se um PLL (CI 4046) para a modulação digital em FSK destas informações [46]. Este circuito é projetado para gerar duas frequências 1 kHz e 2 kHz que representam, respectivamente, os níveis, "0" e "1".

Estas frequências, geradas pelo VCO do 4046, são ajustados através do capacitor de 0,33  $\mu\text{F}$  (calculado para as frequências de 1 kHz e 2kHz) e pelos potenciômetros  $P_1$  e  $P_2$ . A partir da sintonia destas frequências pode-se modular as informações digitais enviadas pelo microcomputador e em seguida, transmiti-las, para a unidade remota através do transmissor de RF.

Quando a unidade central deseja receber as informações de uma determinada unidade remota e todas as unidades remotas estão no modo de *standby*, o microcomputador, na unidade central, inicialmente envia um sinal periódico de 1 kHz pelo transmissor de RF

para poder aciona-las e com isso, ficarem de prontidão para receber a informação que especifica qual a unidade remota deve atuar. O tempo de acionamento das unidades remotas é determinado pela constante de tempo da malha RC apresentada na Figura 3.4. Este cálculo está apresentado no anexo B.

Em seguida, a unidade central envia uma palavra digital, contendo o número de identificação, informando qual das unidades remotas deve enviar as informações.

Todas as unidades remotas recebem este número de identificação, porém apenas a unidade remota solicitada passa a enviar os dados.

Por sua vez, as unidades remotas restantes deixam de interpretar as informações enviadas pela unidade central e voltam ao modo de *standby*.

Especificada a unidade remota que deve entrar em operação, esta unidade passa a transmitir as informações solicitadas para a unidade central e a cada envio de uma palavra, a unidade remota verifica existência de solicitações para retransmissão de informações.

Ao termino da transmissão, a unidade remota retorna ao modo de *standby* e espera a próxima chamada da unidade central.

## II – Operação Simplex.

Na Figura 3.26, ilustra-se a configuração da unidade central projetada para a operação no modo *simplex*, para a recepção e decodificação das informações transmitidas pela unidade remota.

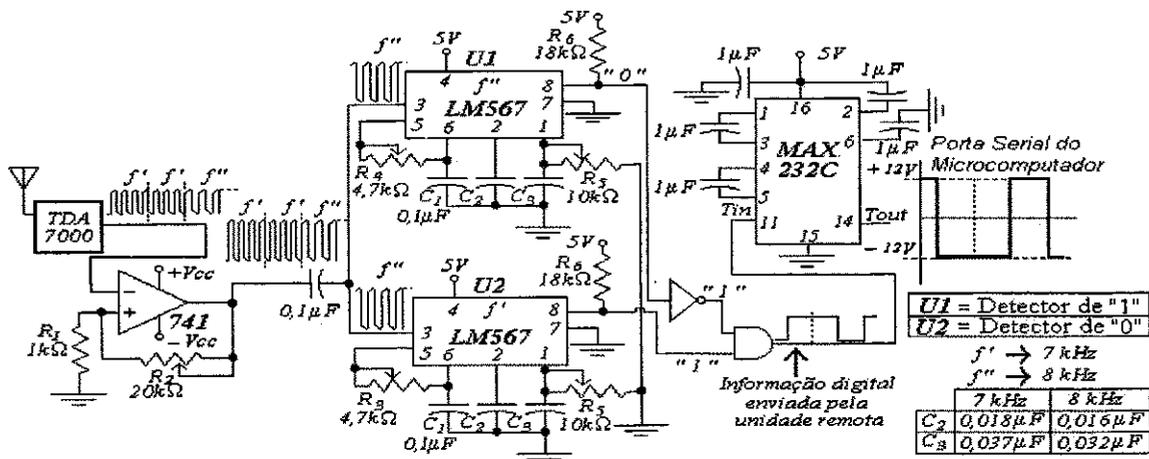


Figura 3.26: Diagrama do circuito usado para a recepção e decodificação das informações moduladas em FSK.

Para que a unidade central atue no modo *simplex*, apenas retira-se o modulador FSK com o 4046 e o transmissor de RF apresentado na Figura 3.24. Desta maneira, a estrutura da unidade central torna-se simplificada com menos componentes e com isso, com um custo reduzido.

Nesta estrutura, quando uma informação, enviada pela unidade remota, é recebida e detectada com erro pela unidade central esta unidade descarta a todas as informações e espera pela transmissão da próxima informação enviada pela unidade remota.

### 3.3 Programa de Controle da Unidade Central.

O programa residente no microcomputador para controle de operação da unidade remota, possui arquivos específicos a cada unidade remota, os quais contém o número de identificação e as informações enviadas pela unidade remota. Na Figura 3.2.7 apresenta-se o fluxograma do programa de controle da unidade central.

Inicialmente, as informações são recebidas pelo microcomputador e armazenadas em uma posição de memória deste.

Em seguida, verifica-se a ocorrência de erros nas informações recebida através da técnica de *checksum* e se for detectado erro nestas informações pode ocorrer duas situações a unidade central envia para a unidade remota um comando solicitando a retransmissão da informação que foi recebida errada (para o modo *half-duplex* e *full-duplex*) ou então, os dados são descartados pelo programa e este espera o envio dos próximos dados (para o modo *simplex*).

Quando os dados recebidos não apresentam erros, o microcomputador verifica o número de identificação da unidade remota.

Se as informações recebidas forem as de uma unidade remota recém inserida no sistema e que ainda não possuir um arquivo no microcomputador, este cria um novo arquivo com o número de identificação recebido e que passa a conter as informações referente a esta unidade remota.

Por sua vez, se o número da identificação recebida pertencer a uma unidade remota já cadastrado, este atualiza o arquivo para o armazenamento das informações.

Depois do número de identificação, verifica-se em que grupo a unidade remota pertence (ou foi inserida) para o controle do local da unidade remota. Este *byte*, pode ser utilizado para identificar em qual colheita a unidade remota se encontra.

Em seguida, verifica-se o *byte* de verificação das entradas analógicas do microcontrolador e o *byte* do nível da tensão de alimentação da unidade remota.

Ocorrendo problemas tanto em uma das entradas analógicas quanto no valor baixo da tensão da bateria, um aviso sonoro (um sinal de bip emitido pelo microcomputador) e outro visual (com a palavra alerta piscando na tela do microcomputador) são gerados indicando problemas na unidade remota especificada.

Depois, é verificada a consistência dos valores adquiridos pelos sensores. O valor adquirido de cada sensor é comparado com os três últimos valores adquiridos. Se a diferença do valor adquirido for menor do que 2,0 % em relação aos outros três últimos valores, significa que esta informação é considerada correta e em seguida, é tratada pelo microcomputador e armazenada em arquivo. Este valor foi atribuído para segurança de operação do sistema.

Porém, se o resultado da comparação for superior a 2,0 % interpreta-se como um sensor com problemas e um aviso de alerta é acionado pelo microcomputador para que o sensor que possivelmente esteja com problemas seja retirado do campo para ser analisado.

Finalizando estas tarefas, a rotina no microcomputador retorna ao início para receber novas informações enviadas pela unidade remota.

Em resumo, neste capítulo foram descritas as operações básicas da unidade remota e da unidade central utilizadas nos três modos de comunicação e as estruturas que devem ser acrescentadas nestas configurações e as operações realizadas por estas estruturas para que o sistema atue em cada um dos três modos de comunicação.

Além disso, foram analisados o consumo da unidade remota nos modos de comunicação *simplex* e *half-duplex*, os quais apresentaram valores de consumo de energia diferentes devido a quantidade de elementos implementados na unidade remota em cada modo de comunicação.

No próximo capítulo, discute-se o protocolo implementado na comunicação entre as unidades a partir de resultados obtidos através de testes realizados com uma unidade central e uma unidade remota.

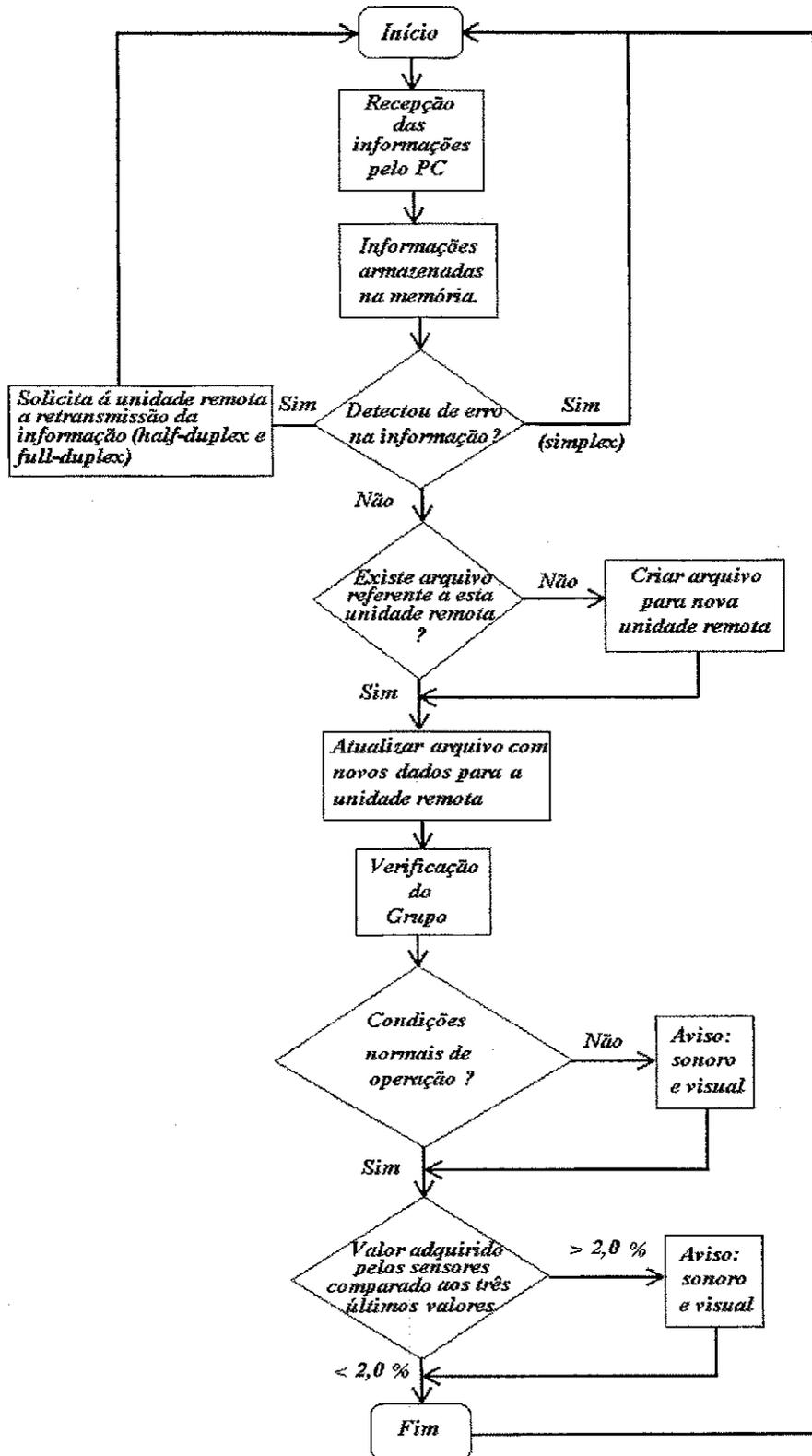


Figura 3.27: Fluxograma do procedimento realizado pelo microcomputador na unidade central nos três modos de comunicação.

## Capítulo 4

### Resultados Experimentais.

#### 4.1 Introdução.

A partir dos protótipos da unidade remota e da unidade central, foram realizados testes neste sistema de telemetria com o objetivo de validar os projetos das estruturas da unidade remota e da unidade central no sistema *simplex* projetado e também, verificar o comportamento das unidades simulando algumas situações, como por exemplo, interferências, na qual este sistema deve sofrer no campo quando estiver em funcionamento.

Como estes testes foram realizados no laboratório, com apenas uma unidade remota, simulou-se nesta única unidade a operação de duas unidades remotas que estariam posicionadas em locais diferentes no campo sendo que a cada uma destas unidade haveriam conectados três sensores fazendo aquisições de parâmetros diferentes, como por exemplo, temperatura, umidade e a velocidade do vento.

Para realizar estes testes foram gravados, na EEPROM do microcontrolador da unidade remota implementada, dois conjuntos de dados que corresponderiam as supostas informações adquiridas pelas duas unidades remotas que estariam posicionadas no campo. Em cada conjunto de dados estão o número de identificação do módulo, do grupo, do sensor1, do sensor2, do sensor3.

O número de identificação do módulo refere-se o número de identificação da unidade remota. Este número é pré-determinado para cada unidade remota e a partir deste número a unidade central pode identificar de qual unidade remota estará recebendo as informações quando o sistema estiver operando. Na unidade central estes números são apresentados na tela do microcomputador seguido do símbolo *Mod*.

A outra informação presente nestes conjuntos de dados refere-se ao grupo na qual a unidade remota pertence. Com esta informação, a unidade central pode identificar em qual setor do campo que a unidade remota se encontra. Neste caso, é necessário que o campo seja previamente demarcado formando pequenos setores. A cada um destes setores atribui-

se um número que representará a identificação do setor, que para este sistema foi denominado grupo.

Outra aplicação na qual a informação do grupo pode facilitar a unidade central no tratamento das informações é na distinção de diferentes plantações. Nesta situação, cada plantação terá um número de identificação que neste sistema é especificado pelo grupo.

A informação enviada pela unidade remota para a unidade central no teste realizado é ilustrada na tela do microcomputador seguido da símbolo *Gru*.

Em seguida, estão os dados dos sensores: sensor1, sensor2 e sensor3. Estes são os valores originados dos três sensores diferentes e foram escolhidos aleatoriamente para cada sensor. Estas informações são ilustradas na tela do microcomputador seguido dos símbolos *Sens1*, *Sens2* e *Sens3*.

Para que a unidade central verifique a ocorrência de erros nos dados enviados pela unidade remota, o último dado do conjunto de dados refere-se ao dado soma que é o resultado da adição dos cinco dados apresentadas anteriormente. Este dado foi obtido realizando-se a soma de todas as informações para a unidade central e em seguida, gravado na EEPROM do microcontrolador para também ser enviado para a unidade central. Esta técnica para a detecção de erros na informação é conhecida por *checksum*.

A partir desta informação, a unidade central poderá saber se todas as informações enviadas pela unidade remota foram recebidas corretamente. Na tela do microcomputador, na unidade central, esta informação é ilustrada seguido do símbolo *Som\_REC*.

Para a realização dos testes com o protótipo da unidade remota e da unidade central, foram definidos os seguintes conjuntos de dados que seriam enviados de uma unidade para a outra:

Unidade Remota 1: Mód. = 3; Gru. = 5; Sens1: 34; Sens2: 21; Sens3: 158; Som: 221.

Unidade Remota 2: Mód. = 1; Gru. = 2; Sens1: 85; Sens2: 68; Sens3: 51; Som: 207.

Estes conjuntos de dados, armazenados na unidade remota, são enviados um após o outro para a unidade central e em instantes de tempos definidos no temporizador externo da unidade remota.

Na unidade central, estes dados são adquiridos, armazenados e tratados conforme a seguir.

## 4.2 Teste de Validação do Sistema *Simplex*.

Para a aquisição das informações enviadas pela unidade remota implementou-se a estrutura para o sistema de comunicação *simplex* ilustrada na Figura 3.22 do capítulo 3.

Antes que as informações enviadas pela a unidade remota sejam armazenadas em arquivo na unidade central, esta realiza o teste de detecção de erros nas informações recebidas. Desta maneira, no programa residente no microcomputador as informações enviadas pela unidade remotas são armazenadas na memória deste microcomputador e a partir da técnica de correção *checksum*, realiza-se a adição de todas as informações enviadas pela a unidade remota com exceção da informação soma que também foi enviada por esta unidade.

O resultado desta adição realizada no microcomputador é então, comparado com a informação soma enviada pela unidade remota e caso os valores sejam iguais significa que os dados enviados pela unidade remota foram recebidos corretamente pela unidade central.

Depois de analisado a ocorrência de erros nas informações recebidas, apresenta-se na tela do microcomputador, tais informações além do resultado da soma realizada no microcomputador (representado pelo símbolo Soma\_PC) e a informação da comparação entre esta soma e a soma recebida. Ou seja, se o resultado da comparação for zero apresenta-se na tela do microcomputador a letra "C" indicando que as informações foram recebidas corretamente e que tais informações serão gravadas em arquivo e a letra "E" indicando que tais informações foram recebidas com erro e desta forma, não serão armazenadas em arquivo.

A partir dos testes realizados com este sistema obteve-se, como ilustrado na Figura 4.1, alguns resultados em que todas as informações enviadas foram recebidas sem erros pela unidade central.



```

*****
* Universidade Federal da Paraiba. *
* LIEC - Laboratorio de Instrumentacao e Controle *
* "Sistema de Telemetria para Aplicatões no Campo" *
*****
Mod.:  Gru.  Sens1:  Sens2:  Sens3:  Soma_REC  Soma_PC:  Infor.:
  3      5      34      21      158      221      221      C.
  1      2      85      68      51      207      207      C.
  3      5      34      21      158      221      221      C.
  1      2      85      68      51      207      207      C.
  3      5      34      21      158      221      221      C.
  1      2      85      68      51      207      207      C.
  3      5      34      21      158      221      221      C.
  1      2      85      68      51      207      207      C.
  3      5      34      21      158      221      221      C.
  1      2      85      68      51      207      207      C.
  3      5      34      21      158      221      221      C.
  1      2      85      68      51      207      207      C.
  3      5      34      21      158      221      221      E.
  1      34      85      89      166      238      375      E.
  1      74      1      244      1      66      321      E.
  3      21      51      149      158      221      382      E.
  1      2      117      68      59      207      247      E.
  67     5      34      0      215      247      321      E.
  1      2      85      68      51      207      207      C.
  3      5      34      21      158      221      221      C.
  1      2      85      68      51      207      207      C.
  3      5      34      21      158      221      221      C.
  1      2      85      68      51      207      207      C.
  3      5      34      21      158      221      221      C.
  1      2      85      68      51      207      207      C.
  3      5      34      21      158      221      221      C.
  1      2      85      68      51      207      207      C.
  3      5      34      21      158      221      221      C.
  1      2      85      68      51      207      207      C.
  3      5      34      21      158      221      221      C.
  
```

Erro devido  
interferência  
externa

Figura 4.2: Resultados experimentais com dados errados.

Na Figura 4.2, tem-se os resultados das informações adquiridas pela unidade central. Como descrito anteriormente, provocou-se erros no transmissor do protótipo da unidade remota e com isso, obteve-se um conjuntos de dados errados foram adquiridos pela unidade central.

Na unidade central, estes conjuntos de dados errados assim como os outros dados recebidos foram temporariamente armazenados na memória do microcomputador. Em seguida, no microcomputador realizou-se a adição destes dados e posteriormente comparou-se com o dado "soma" enviado pela unidade remota. Como o resultado da adição

destes dados foi diferente do dado “soma” o programa residente no microcomputador descartou todas as informações erradas e permaneceu esperando a transmissão de novos dados.

Um fato interessante obtido neste experimento é o primeiro resultado errado apresentado na Figura 4.2. Observa-se que neste, as informações do número de identificação do módulo, o número do grupo e o valor dos três supostos sensores foram recebidos corretamente, como pode-se verificar na soma realizada pelo microcomputador (Soma\_PC) que é o resultado esperado. Entretanto, a interferência ocorreu exatamente no dado referente a soma realizada na unidade remota. Desta maneira, como este dado está incorreto todas os outros dados também foram considerados incorretos e com isso, descartados da memória, apesar de terem sido recebidas corretamente.

Como pode-se observar na Figura 4.2 também foram obtidos outros resultados errados devido a interferência gerada na unidade remota em que nas informações recebidas alguns dados foram recebidos corretamente, porém foram descartados devido a técnica utilizada, (*checksum*) ter a característica de detectar a ocorrência de erros em um *frame* enviado pela unidade remota ao invés de analisar a ocorrência de erros em cada *byte*.

De acordo com os resultados adquiridos, conclui-se que o sistema atuou conforme o esperado em relação a detecção de erros nos dados recebidas pela unidade central. Além disso, a partir deste teste o usuário pode simular o comportamento do sistema não apenas com duas unidades remotas mas sim, com todas as unidades remotas que o sistema pode trabalhar.

Com isso, o usuário tem a disposição duas estruturas para atuar nas três possibilidades de operação, a qual pode escolher de acordo com as necessidades.

No capítulo 5, são discutidas as vantagens e desvantagens de cada estrutura, as conclusões finais sobre o sistema e algumas propostas futuras.

## Capítulo 5

### Conclusões.

Neste trabalho, foi apresentada a arquitetura de um sistema de telemetria para aplicações no campo.

Este sistema telemetria é constituído de duas estruturas: unidade remota e unidade central, em que para cada unidade foram desenvolvidas duas configurações, as quais podem ser adaptadas de acordo com as necessidades do usuário.

Para o desenvolvimento destas configurações, foram abordados os principais aspectos envolvidos num projeto de um sistema de telemetria e o princípio de operação destas duas configurações, baseadas nos três modos de comunicação existentes: *simplex*, *half-duplex* e *full-duplex*.

Como as configurações das unidades apresentam semelhança nos blocos utilizados, inicialmente partiu-se para o projeto de configurações básicas que poderiam ser utilizadas pelas unidades nos três modos de comunicação. Desta maneira, o projeto da configuração para a unidade remota foi realizado utilizando: o microcontrolador MC68HC11E2, um transmissor de RF e uma configuração com painel solar e baterias recarregáveis para a alimentação desta unidade.

No projeto da configuração para a unidade central, foram utilizados: um receptor de FM comercial, circuitos condicionadores de sinais e um microcomputador 386.

Partindo destas duas configurações, foram desenvolvidas as configurações das duas unidades para os três modos de comunicação. Como no modo *simplex* a unidade central não se comunica com a unidade remota, foi projetada uma estrutura temporizada para o acionamento do microcontrolador na unidade remota.

Por sua vez, como nos modos *half-duplex* e *full-duplex*, as configurações apresentariam as mesmas características, diferenciando basicamente a maneira de operar em cada modo de comunicação, foi desenvolvida uma configuração para cada uma das duas unidades e que pudessem ser utilizadas nos dois modos.

Assim, para a unidade remota, acrescentou-se um receptor de FM e um circuito para o acionamento remoto do microcontrolador e para a unidade central, foram projetados um circuito modulador em FSK e um transmissor de RF.

Na configuração *simplex*, as unidades apresentam menos blocos em relação aos utilizados pela outra configuração e com isso, reduz-se o custo do sistema. Outra vantagem, é que na configuração *simplex*, a unidade remota consome menos energia comparada a outra configuração.

Por sua vez, na configuração para os modos *half-duplex* e *full-duplex*, a comunicação entre as unidades apresenta maior confiabilidade, pois esta é realizada nos dois sentidos, enquanto que na configuração *simplex* é realizada em apenas um sentido.

Além disso, com esta configuração as unidades remotas são acionadas somente quando a unidade central solicitar, o que na configuração no modo *simplex*, este acionamento é realizado em períodos previamente definidos.

Desta maneira, a configuração deste sistema de telemetria depende das necessidades do usuário, pois como pode-se perceber, sempre ocorrerá um compromisso entre o consumo de energia e os custos de implementação com a confiabilidade na recepção dos dados e um maior controle das unidades remotas, pela unidade central.

Finalizando, foram analisadas, nas duas configurações do sistema: o consumo de energia da unidade remota, a comunicação entre as unidades, a autonomia e a flexibilidade necessária para a implementação do projeto e os resultados obtidos desta análise atenderam as expectativas desejadas.

## **5.1 Sugestões para trabalhos futuros.**

Como sugestões para o prosseguimento do trabalho realizado, propõe-se:

1. aprimoramento do programa genérico instalado no microcomputador da unidade central para versões windows.
2. implementar outras unidades remotas para a realização de experimentos e validação do protocolo e da técnica de controle de erros apresentada nesta dissertação.
3. desenvolver configurações para a identificação do posicionamento das unidades remotas no campo.

**Anexos:**

**A – Codificação de dados digitais.**

**B – Projetos dos circuitos utilizados na unidade remota e na unidade central.**

**C – Listagem do programa desenvolvido para o MC68HC11.**

## Anexo A

### Codificação de dados digitais

Para a codificação de uma informação pode-se definir dois diferentes tipos de códigos bastante utilizados que são os códigos de bloco lineares e os códigos convolucionais. Para a codificação em código de bloco linear, este divide uma seqüência de informação em blocos de mensagens com  $k$  bits de informação cada. Estes blocos de mensagens podem ser representados por  $u = (u_1, u_2, \dots, u_k)$  ou “ $k$ -tuple” (seqüência de  $k$  bits), em que ‘ $u$ ’ simboliza uma mensagem de  $k$ -bits.

Através de um codificador, cada mensagem ‘ $u$ ’, é transformada em “ $n$ -tuple” de símbolos discretos  $v = (v_1, v_2, \dots, v_n)$  denominados palavras código, em que é usado para representar apenas um bloco de  $n$ -símbolo em vez de toda a seqüência codificada. Como com um bloco de mensagens de  $k$ -bits é possível obter  $2^k$  diferentes mensagens e as palavras código são obtidas deste  $k$ -bits então, há  $2^k$  diferentes palavras código, dentre as possíveis  $2^n$ , na saída do codificador. Este conjunto de  $2^k$  palavras código, de comprimento  $n$ , é chamado bloco de código e é representado por  $(n, k)$ .

Se uma mensagem é constituída por códigos binários, então cada palavra código ‘ $v$ ’ é também um binário. Na Figura A.1, ilustram-se os código de blocos binários com  $(7,4)$ .

| Mensagem | Palavra Código |
|----------|----------------|
| (0000)   | (0000000)      |
| (1000)   | (1101000)      |
| (0100)   | (0110100)      |
| (1100)   | (1011100)      |
| (0010)   | (1110010)      |
| (1010)   | (0011010)      |
| (0110)   | (1000110)      |
| (1110)   | (0101110)      |
| (0001)   | (1010001)      |
| (1001)   | (0111001)      |
| (0101)   | (1100101)      |
| (1101)   | (0001101)      |
| (0011)   | (0100011)      |
| (1011)   | (1001011)      |
| (0111)   | (0010111)      |
| (1111)   | (1111111)      |

Figura A.1: Códigos de blocos binários com  $k=4$  e  $n=7$

O conjunto de todos os “ $n$ -tuples” binários possíveis  $V_n$ , chama-se vetores de espaço no campo dos binários. Este, possui duas operações, a adição e multiplicação, que ao serem aplicadas a dois elementos deste espaço, resulta num terceiro que também encontra-se

presente neste espaço. As suas operações no campo dos binários estão ilustradas na Figura A.2.

| Adição           | Multiplicação   |
|------------------|-----------------|
| $0 \oplus 0 = 0$ | $0 \cdot 0 = 0$ |
| $0 \oplus 1 = 1$ | $0 \cdot 1 = 0$ |
| $1 \oplus 0 = 1$ | $1 \cdot 0 = 0$ |
| $1 \oplus 1 = 0$ | $1 \cdot 1 = 1$ |

Figura A.2: Operações de adição e multiplicação.

Como pode-se observar, a operação de adição, simbolizada por  $\oplus$ , corresponde a mesma operação de XOR.

Um subconjunto 'S', qualquer, de um determinado vetor de espaço  $V_n$  é dito ser subespaço deste vetor se as seguintes condições forem aceitas:

- O vetor de todos os 'zeros' está em 'S', ou seja, o vetor  $V_0 = (0\ 0\ 0\ 0)$  de  $V_n$  também está presente em 'S'.
- A soma de dois vetores presentes em 'S', resulta em outro também em 'S'.

A partir destas duas propriedades, pode-se caracterizar, algebricamente, os blocos de códigos lineares.

Sejam duas palavras código, presentes em um bloco de código binário  $(n, k)$ , definidos por  $V_i$  e  $V_j$ . Então, define-se os códigos como lineares se, e somente se,  $(V_i \oplus V_j)$  resultar num vetor de código.

Assim, considere o vetor de espaço  $V_4$ , com  $2^4 = 16$  de "4-tuples", na Figura A.3.

|      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0000 | 0001 | 0010 | 0011 | 0100 | 0101 | 0110 | 0111 |
| 1000 | 1001 | 1010 | 1011 | 1100 | 1101 | 1110 | 1111 |

Figura A.3: 16 palavras código com "4-tuples".

A partir de um subconjunto deste espaço, composto por: 0000, 0101, 1010 e 1111, pode-se verificar que a soma de dois destes vetores resulta em outro presente neste subconjunto. Para um melhor entendimento sobre o vetor de espaço e os subespaços que compõem as palavras código, considere a Figura A.4.

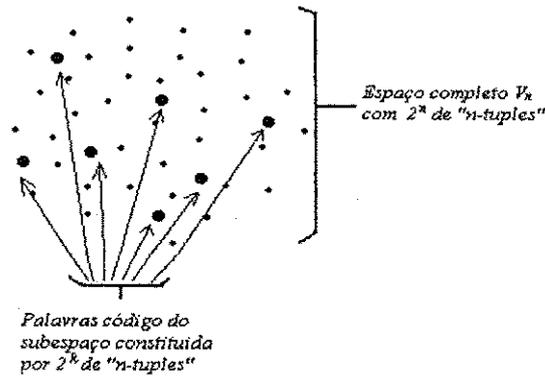


Figura A.4: Representação de uma estrutura em código de bloco linear

Através da Figura A.4, pode-se fazer uma analogia com os blocos de códigos lineares. Assim, imagina-se um vetor de espaço composto de  $2^n$  de "n-tuples", representado por todos os pontos na Figura A.4. Neste vetor de espaço há um subconjunto de  $2^k$  de "n-tuples" que é constituído pelos pontos maiores. Assim, cada mensagem é codificada por um destes pontos maiores, ou melhor, palavras código para que assim sejam enviadas. Quando há presença de perturbação no canal em que estas palavras estão sendo enviadas, outras palavras do vetor  $V_n$  podem ser recebidas resultando em uma resposta falsa. Desta maneira, deseja-se realizar codificações eficientes para evitar o aumento da largura de banda do canal. Além disso, para aumentar a probabilidade de reconhecimento de um vetor em situações que tenham sofrido algum tipo de perturbação, é importante que as palavras código sejam bem distantes umas das outras.

Desde que um conjunto de vetores que formam um código de bloco linear é um subespaço de  $k$  dimensões de um vetor de espaço binário de  $n$  dimensões, é sempre possível encontrar um conjunto de "n-tuples" que podem gerar todos os  $2^k$  vetores do subespaço. Este conjunto de vetores é dito compor o subespaço. Assim, o menor destes conjuntos linearmente independente é chamado básico do subespaço e o número de vetores neste conjunto básico é a dimensão do subespaço. Qualquer conjunto básico de  $k$  "n-tuples" linearmente independente  $V_1, V_2, \dots, V_k$  pode ser usado para gerar o vetor código linear desejado, desde que cada vetor código seja uma combinação linear de  $V_1, V_2, \dots, V_k$ . Ou seja, cada um dos conjuntos de  $2^k$  vetores códigos 'U' pode ser descrito por,

$$U = m_1 V_1 + m_2 V_2 + \dots + m_k V_k \quad (\text{A.1})$$

em que,  $m_i = (0 \text{ ou } 1)$  são as mensagens digitais e  $i = 1, \dots, k$ .

Desta forma, define-se uma matriz geradora deste vetor código como,

$$G = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{k1} & v_{k2} & \dots & v_{kn} \end{bmatrix}_{k \times n} \quad (A.2)$$

em que, o vetor código é definido como vetor linha. Então, a mensagem  $m$ , que corresponde a uma seqüência de  $k$  bits, também é um vetor linha  $1 \times k$ .

$$m = m_1, m_2, \dots, m_k \quad (A.3)$$

Assim, a partir da mensagem e da matriz geradora pode-se gerar um vetor código correspondente ao vetor mensagem como,

$$U = mG \quad (A.4)$$

Assim, considere um código de bloco linear (6, 3), ilustrado na Figura A.5.

| Vetor Mensagem | Vetor Código |
|----------------|--------------|
| 000            | 000000       |
| 100            | 110100       |
| 010            | 011010       |
| 110            | 101110       |
| 001            | 101001       |
| 101            | 011101       |
| 011            | 110011       |
| 111            | 000111       |

Figura A.5: Código de Blocos Lineares com (6,3).

Deseja-se encontrar o correspondente vetor código de uma mensagem a partir do conhecimento de outras já definidas. Assim, para a definição da matriz geradora, neste exemplo, escolheu-se três vetores linearmente independentes  $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$  que podem gerar todos os vetores códigos, como ilustrado.

$$G = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Assim, se desejarmos encontrar o vetor código da mensagem  $m = [1 \ 1 \ 0]$ , pela eq. (A.4), tem-se

$$\begin{aligned} U &= [1 \ 1 \ 0] \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = 1.V_1 + 1.V_2 + 0.V_3 \\ &= 110100 + 011010 + 000000 \\ &= 101110 \end{aligned}$$

o que, ao verificar na Figura A.5, este vetor código corresponde ao vetor mensagem em questão. Assim, como o código é totalmente definido por G o codificador deve apenas armazenar k linhas de G ao invés de  $2^k$  vetores de código.

Define-se código de bloco linear sistemático (n, k) como o mapeamento de um vetor mensagem de k dimensões em um vetor código de n dimensões, na qual parte da sequência gerada coincide com os k dígitos da mensagem. Além disso, o resto dos dígitos obtidos pela diferença (n - k) corresponde aos chamados dígitos de paridade. Assim, define-se uma matriz geradora de um código de bloco linear sistemático da forma,

$$G = [P : I_k]$$

$$= \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1,(n-k)} & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2,(n-k)} & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & & & & & & & \vdots \\ p_{k1} & p_{k2} & \cdots & p_{k,(n-k)} & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (A.5)$$

em que P corresponde um arranjo das paridades da matriz geradora,  $p_{ij} = (0 \text{ ou } 1)$  e  $I_k$  a matriz identidade de ordem k x k. combinando a eq. (A.4) com a (A.5), tem-se,

$$u_1, u_2, \dots, u_n = [m_1, m_2, \dots, m_k] \times \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1,(n-k)} & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2,(n-k)} & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & & & & & & & \vdots \\ p_{k1} & p_{k2} & \cdots & p_{k,(n-k)} & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

em que,

$$u_i = m_1 p_{1i} + m_2 p_{2i} + \dots + m_k p_{ki} \quad \text{para } i=1, \dots, (n-k)$$

e que a mensagem de “k-tuple” e o vetor código de “n-tuple” são, respectivamente,

$$m = m_1, m_2, \dots, m_k$$

$$U = u_1, u_2, \dots, u_n$$

Com isso, o vetor código sistemático é,

$$U = \underbrace{p_1, p_2, \dots, p_{n-k}}_{\text{Bits de Paridade}}, \underbrace{m_1, m_2, \dots, m_k}_{\text{Bits de mensagem}} \quad (A.6)$$

em que,

$$\begin{aligned}
 p_1 &= m_1 p_{11} + m_2 p_{21} + \dots + m_k p_{k1} \\
 p_2 &= m_1 p_{12} + m_2 p_{22} + \dots + m_k p_{k2} \\
 p_{n-k} &= m_1 p_{1,(n-k)} + m_2 p_{2,(n-k)} + \dots + m_k p_{k,(n-k)}
 \end{aligned}
 \tag{A.7}$$

Neste caso, retornando ao exemplo dado ao bloco de código linear (6, 3) a representação geral para a determinação dos vetores código desejados é,

$$\begin{aligned}
 U &= [m_1, m_2, m_3] \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \underbrace{m_1 + m_3}_{u_1}, \underbrace{m_1 + m_2}_{u_2}, \underbrace{m_2 + m_3}_{u_3}, \underbrace{m_1}_{u_4}, \underbrace{m_2}_{u_5}, \underbrace{m_3}_{u_6}
 \end{aligned}
 \tag{A.8}$$

Assim, define-se uma matriz geradora para a codificação das informações no microcontrolador.

Entretanto, é necessário que na recepção os vetores códigos sejam decodificados e assim, verifique a ocorrência ou não de erro na informação enviada. Assim, define-se uma matriz H, denominada matriz de cheque de paridade, em que para cada matriz geradora  $G_{(k \times n)}$  existe uma matriz  $H_{(n-k) \times n}$  tal que as linhas de G são ortogonais às linhas de H, ou seja,  $GH^T = 0$ , em que  $H^T$  é a transposta de H e 0 é uma matriz  $k \times (n - k)$  com todos os seus elementos iguais a zero. Com isso, para que seja realizada a ortogonalidade, as componentes da matriz H são escritas como,

$$H = [I_{n-k} : P^T]
 \tag{A.9}$$

que conseqüentemente, tem-se

$$\begin{aligned}
 H^T &= \begin{bmatrix} I_{n-k} \\ P \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \\ p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1,(n-k)} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2,(n-k)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{k1} & p_{k2} & \dots & p_{k,(n-k)} \end{bmatrix}
 \end{aligned}
 \tag{A.10}$$

Assim, pelo produto de cada vetor código  $U$ , gerado por  $G$ , pela matriz  $H^T$  produz-se um vetor zero e que indica que o envio do vetor código não sofreu interferência e a mensagem pode ser recuperada.

$$UH^T = p_1 + p_1, p_2 + p_2, \dots, p_{n-k} + p_{n-k} = 0$$

Com isso, verifica-se se as informações enviadas pela unidade remota sofreram interferências na comunicação.

## Anexo B

### Projetos dos circuitos utilizados na unidade remota e na unidade central.

#### B.1 – Projeto do transmissor de RF.

Para o transmissor de RF utilizado na unidade remota e na unidade central (Figura 3.6, no capítulo 3), realizou-se o projeto de polarização do primeiro estágio de amplificação do sinal modulante, desejando-se que a corrente cc no emissor seja insensível a variações da temperatura e às grandes variações no valor de  $\beta$ .

Desta maneira, assumiu-se, para o amplificador, uma corrente  $I_E = 6,5$  mA de  $Q_1$ , uma tensão de alimentação de 5,1 V e, para as considerações apresentadas anteriormente,  $V_{BB} = (1/3) \times V_{CC}$ ,  $V_{CB}$  (ou  $V_{CE}$ ) =  $(1/3) \times V_{CC}$  e  $I_C R_C = (1/3) \times V_{CC}$  (em que,  $V_{BB} = \{R_2 / (R_1 + R_2)\} \times V_{CC}$ ) [37].

Assim, tem-se,

$$V_B = 1,7 \text{ V}$$

$$V_E = 1,7 - V_{BE} \cong 1,0 \text{ V}$$

Logo,

$$R_E = 1 \text{ V} / 6,5 \text{ mA} \cong 154 \Omega = 150 \Omega \text{ (comercial)}$$

De acordo com [37], escolheu-se  $R_1$  e  $R_2$ , na qual suas correntes estejam entre  $I_E$  e  $0,1 \times I_E$ . Portanto, desprezando-se a corrente de base tem-se,

$$R_1 + R_2 = V_{CC} / 0,1 \times I_E = 5,1 / (0,1 \times 6,5 \text{ mA}) \cong 7,846 \text{ k}$$

$$[R_2 / (R_1 + R_2)] \times V_{CC} = V_B$$

Desta forma, os valores de  $R_1$  e  $R_2$  são,

$$R_1 \cong 2,61 \text{ k} \cong 2,2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 \cong 5,23 \text{ k} \cong 5,2 \text{ k}\Omega = 5,6 \text{ k}\Omega \text{ (valor comercial)}$$

O calculo do valor da resistência  $R_3$  pode ser determinado por,

$$R_3 = (V_{CC} - V_c) / I_c = (V_{CC} - V_c) / (\alpha \times I_E) = (5,1 - 3,4) / (0,99 \times 6,5 \times 10^{-3}) \cong 274,592 \cong 280 \Omega$$

Para o projeto de polarização do segundo estágio, assumiu-se uma corrente  $I_C = 40$  mA, para tensão de alimentação de 5,1 V e o valor de  $\beta$  medido igual a 118.

A partir da curva característica  $i_C - v_{CE}$  do transistor 2n2222A, definiu-se  $v_{CE} = 2,5$  como a tensão especificada para o ponto de polarização na reta de carga, que resulta em uma tensão  $V_{CE} = 2,5$  V. Portanto, a resistência  $R_{E1}$  é,

$$R_{E1} = 2,5/0,04 = 62,5 \Omega = 68 \Omega \text{ (valor comercial)}$$

Por sua vez, na curva característica  $V_{CE(Sat)} \times I_B$ , para a corrente  $I_C = 40$  mA, o valor da corrente  $I_B$  é, aproximadamente, igual a  $450 \mu A$  [Manual motorola]. Assim, a resistência  $R_4$ , pode ser determinada por,

$$\begin{aligned} V_{CC} &= R_4 \times I_B + V_{BE1} + R_{E1} \times I_{E1} \\ 5,1 \text{ V} &= (R_4 \times 450 \mu A) + 0,7 \text{ V} + 2,5 \text{ V} \\ R_4 &\cong 4,22 \text{ k} = 4,2 \text{ k}\Omega \text{ (valor comercial)} \end{aligned}$$

No circuito tanque, foi utilizado um trimer de 3 pF – 20 pF e um fio de cobre enrolado na forma de bobina. Por definição, para o cálculo da indutância da bobina tem-se [16],

$$L(\mu H) = \frac{d^2 * n^2}{18d + 40l} \quad (B.1)$$

Em que,  $d$  é o diâmetro da bobina e  $l$  é o comprimento da bobina.

$$D \cong 1,2 \text{ cm} \cong 0,43667'$$

$$n \cong 4 \text{ voltas}$$

$$l \cong 0,8 \text{ cm} \cong 0,291'$$

Portanto,

$$L(\mu H) = \frac{(0,43667 * 4)^2}{18 * 0,43667 + 40 * 0,291} \cong 0,15645 \mu H$$

O valor da resistência desta bobina foi medida experimentalmente e é de aproximadamente  $50 \text{ m}\Omega$ .

Sintonizando o transmissor na frequência  $f_0 = 100 \text{ Mhz}$ , tem-se que a faixa dinâmica do transmissor pode ser encontrada por:

$$Q = \frac{W_0 * L}{R} = \frac{(2 * \pi * 100E^6 * 0,15645E^{-6})}{50E^{-3}} \cong 1966 \quad (B.2)$$

$$Q = f_0 / B \Rightarrow B = 100E^6 / 1966 \Rightarrow B \cong 50,864 \text{ kHz}$$

## B.2 – Controle da tensão de alimentação do transmissor

Para o controle da tensão de alimentação do transmissor (Figura 3.7, no capítulo 3),  $V_{CC}$  é uma tensão cujo valor está em torno de 6 V,  $D_Z$  é um diodo zener de 5,1V, para manter a tensão sobre o transmissor, e 'Q' é o transistor PNP BD136.

Conforme apresentado na secção <sup>a</sup>1, a corrente consumida pelo circuito do transmissor é de, aproximadamente, 47 mA e para o zener  $D_Z$ , assumiu-se uma corrente de 10 mA. Desta maneira, a corrente  $I_C$  no transistor 'Q' é de 57 mA.

Estando  $h_{FEsat}$  entre 20 e 40, para o pior caso o valor de  $I_{BSat}$  é:  $I_{BSat} = 57 \text{ mA}/20 = 2,85 \text{ mA}$ .

A tensão  $V_{BE}$  na saturação é um pouco maior do que a tensão do transistor no modo ativo, mas supondo  $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$ , tem-se uma tensão  $V_B$  de 5,3 V. Assim,  $R_1 = V_B/I_{BSat} = 5,3 \text{ V}/2,85 \text{ mA} \cong 1859 \Omega = 1,8 \text{ k}\Omega$  (valor comercial)

Na saturação,  $V_{ECSat} \cong 0,3 \text{ V}$ , assim  $V_C \cong 5,7 \text{ V}$  que resulta em  $R_2 = (V_C - V_Z)/i_c = (5,7 - 5,1)/57 \text{ mA} \cong 10,5 \Omega = 10 \Omega$  (valor comercial)

## B.3 – Bateria de chumbo-ácido

Quando a tensão da bateria ultrapassa a tensão de referencia máxima definida no comparador de tensão (Figura 3.9, no capítulo 3), a saída deste comparador segue a sua tensão de alimentação. No latch, tem,

$$I_{CSat} = (V_{CC} - V_{CESat}) / R_C = (6 \text{ V} - 0,3 \text{ V})/5 \text{ k} = 1,14 \text{ mA}$$

O valor de  $h_{FEsat}$  para o BC548 está entre 25 e 40 e assim, para o pior caso o valor de  $i_{BSat}$  é:

$$I_{BSat} = 1,14 \text{ mA}/25 = 0,0456 \text{ mA}$$

Esta é a corrente mínima para conduzir o transistor Q2 e desconectar a bateria da fonte de corrente, através da chave transistorizada.

Desta maneira, o valor do resistor  $R'$  para fornecer esta corrente é,

$$R' = (12 - 0,3)/0,0456 \cong 257 \text{ k}\Omega = 270 \text{ k}\Omega \text{ (valor comercial)}$$

## B.4 – Projeto do detector de tom

Em cada detector de tom (Figura 3.10, no capítulo 3), as duas frequências centrais de 7 kHz e 8 kHz foram determinadas a partir de,

$$f_{0(i \text{ kHz})} \cong 1,1 / (R_n \times C_1), \quad i = 7 \text{ e } 8 ; n = 3 \text{ e } 4.$$

Assim, os valores dos resistores  $R_3$  e  $R_4$  e do capacitor  $C_1$  são:

1 – Para a frequência de 7 kHz,

$$f_{0(7 \text{ kHz})} \cong 1,1 / (R_4 \times C_1) \Rightarrow R_4 \times C_1 \cong 1,1 / 7 \cong 0,0001571$$

Assim,

$$R_4 \cong 1,571 \text{ k}\Omega$$

$$C_1 = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$$

2 – Para a frequência de 8 kHz,

$$f_{0(8 \text{ kHz})} \cong 1,1 / (R_3 \times C_1) \Rightarrow R_3 \times C_1 \cong 1,1 / 8 \cong 0,0001375$$

Portanto,

$$R_3 \cong 1,375 \text{ k}\Omega$$

$$C_1 = 0,1 \text{ }\mu\text{F}$$

Para obter estes dois valores de resistências e, conseqüentemente, sintonizar a frequência central dos detectores de tons nas frequências de 7 kHz e 8 kHz, utilizou-se potenciômetros de 4,7 k $\Omega$ .

Para os valores dos capacitores  $C_2$  e  $C_3$  tem-se,

$$C_2 (\mu\text{F}) = 130 / f_0 (\text{kHz}) \tag{B.3}$$

$$C_3 (\mu\text{F}) = 260 / f_0 (\text{kHz}) \tag{B.4}$$

Assim, os valores destes capacitores para as duas frequências são,

1 – Para a frequência de 7 kHz,

$$C_2 (\mu\text{F}) = 130 / f_{0(7 \text{ kHz})} = 130 / 7 \cong 0,01857 \text{ }\mu\text{F}$$

$$C_3 (\mu\text{F}) = 260 / f_{0(7 \text{ kHz})} = 260 / 7 \cong 0,03714 \text{ }\mu\text{F}$$

2 – Para a frequência de 8 kHz,

$$C_2 (\mu\text{F}) = 130 / f_{0(8 \text{ kHz})} = 130 / 8 \cong 0,01625 \text{ }\mu\text{F}$$

$$C_3 (\mu\text{F}) = 260 / f_{0(8 \text{ kHz})} = 260 / 8 \cong 0,0325 \text{ }\mu\text{F}$$

Para o ajuste da sensibilidade da largura de banda do detector de tom, utilizou-se, de acordo com o fabricante, um potenciômetro  $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$ . Além disso, a resistência de carga  $R_6$  também é definida pelo fabricante cujo valor é  $18 \text{ k}\Omega$ .

### B.5 – Projeto do temporizador

No temporizador ilustrado na Figura 3.13, no capítulo 3, o *clock* determina as bases de tempo que podem ser utilizadas para o acionamento do microcontrolador. Assim, para um tempo máximo de acionamento do microcontrolador de 30 min., ou seja, a chave manual fechada na posição 8 ( $Q_{3(7)}$ ), tem-se,

$$T_{Q7} = 30 \text{ min.} \Rightarrow T_{Q7} = 1800 \text{ s}$$

$$T_{Qk} = T_{\text{Clock}} \times 2^k$$

$$T_{\text{Clock}} = 1800 / 128 \Rightarrow T_{\text{Clock}} \cong 14,06 \text{ s}$$

A partir disso, os valores do resistor  $R_2$  e do capacitor  $C_2$  são calculados por,

$$T_{\text{Clock}} \approx R_2 * C_2 * \ln \left[ \left( \frac{V_{DD} - V_T^-}{V_{DD} - V_T^+} \right) \left( \frac{V_T^+}{V_T^-} \right) \right], \quad (\text{B.5})$$

na qual  $V_T^+$  e  $V_T^-$  são fornecidos pelo manual do fabricante:  $V_T^+ \cong 2,9 \text{ V}$  e  $V_T^- \cong 1,9 \text{ V}$ .

Assim,

$$T_{\text{Clock}} \approx R_2 * C_2 * \ln \left[ \left( \frac{5 - 1,9}{5 - 2,9} \right) \left( \frac{2,9}{1,9} \right) \right]$$

$$\Rightarrow T_{\text{Clock}} \cong R_2 \times C_2 \times 0,8123 \Rightarrow R_2 \times C_2 \cong 14,06 / 0,8123$$

$$\Rightarrow R_2 \times C_2 \cong 17,31 \Rightarrow R_2 \cong 17,31 / 1 \times 10^{-6} \Rightarrow R_2 \cong 17,31 \text{ M}\Omega = 18 \text{ M}\Omega \text{ (valor comercial)}$$

Na saída do contador, utilizou-se uma configuração  $R_1 C_1$  para obter um pulso com largura de, pelo menos,  $4/E$  ( $E = 2 \text{ MHz}$ ), para o acionamento do microcontrolador. Assim, os valores de  $R_1$  e  $C_1$  encontrados para gerar este pulso são:  $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$  e  $C_1 = 22 \text{ pF}$ .

## B.6 – Projeto para a recepção das informações e acionamento da unidade remota.

Para o projeto de polarização do amplificador ilustrado na Figura 3.15, no capítulo 3, e assumindo as condições de polarização apresentadas na seção B.1, tem-se: uma tensão  $V_{CC} = 5 \text{ V}$  e estabeleceu-se uma corrente  $I_E = 1,5 \text{ mA}$ . Portanto,

$$V_B = 5/3 \cong 1,667 \text{ V}$$

$$V_E = 1,666 - 0,7 \cong 0,967 \text{ V}$$

Assim,

$$R_4 = V_E/I_E = 0,967 \text{ V}/1,5 \text{ mA} \cong 644,44 \cong 680 \Omega$$

Segundo [37], tipicamente escolhe-se  $R_1$  e  $R_2$  tal que suas correntes estejam entre  $I_E$  e  $0,1 \times I_E$ . Assim, tem-se,

$$R_1 + R_2 = V_{CC}/0,1 \times I_E = 5/(0,1 \times 1,5 \text{ mA}) \cong 33,3 \text{ k} \cong 33 \text{ k}\Omega$$

$$[R_2/(R_1 + R_2)] \times V_{CC} = V_B$$

Desta forma, os valores de  $R_1$  e  $R_2$  são,

$$R_1 \cong 22 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 \cong 11 \text{ k}\Omega = 12 \text{ k}\Omega \text{ (valor comercial)}$$

Para determinar o valor da resistência  $R_3$ , tem-se,

$$R_3 = (V_{CC} - V_c)/I_c = (V_{CC} - V_c)/(\alpha \times I_E) = (5 - 3,333)/(0,99 \times 1,5 \times 10^{-3}) \cong 1,122 \text{ k} \cong 1 \text{ k}\Omega$$

Depois de amplificado, o sinal enviado pela unidade central carrega o capacitor  $C_3$  da estrutura RC que habilita um oscilador para acionar o microcontrolador.

Para esta estrutura RC, definiu-se uma constante de tempo de aproximadamente 5 seg. que resulta em valores de  $R_5 = 33 \text{ k}\Omega$  e  $C_3 = 150 \mu\text{F}$ . Este tempo pode ser maior ou menor, porém definiu-se este valor apenas para garantir que sinais de ruídos não interferissem e acionassem o microcontrolador.

Depois do carregamento do capacitor  $C_3$ , o transistor  $Q_2$  entra na região de saturação e gera um pulso no pino de *reset* do microcontrolador, como ilustrado na Figura 3.13. Nesta configuração,  $R_7 = 10 \text{ k}$  e a largura do pulso é definida por,

$$T = R_6 \times C_4 \times \ln(V_{DD}/V_T^+), \quad (\text{B.6})$$

Em que  $V_{DD}$  é a tensão de 5 V e  $V_T^+ = 2,9$  V para a tensão  $V_{DD}$  utilizada. Assim, para um valor de  $t = 0,0544$  s, tem-se que  $R_6$  e  $C_4$  são,

$$R_6 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$C_4 = 1 \text{ }\mu\text{F}$$

Este pulso aciona o microcontrolador e também, carrega o capacitor  $C_5$  da outra configuração RC.

Nesta configuração, a constante de tempo é definida pelo tempo mínimo e necessário para acionar o microcontrolador. Ou seja, após o carregamento do capacitor  $C_5$ , a chave transistorizada  $Q_3$  é acionada, o capacitor  $C_3$  é descarregado e a configuração com *Schmitt trigger* é desabilitada.

Como o sinal de acionamento do microcontrolador deve apresentar um pulso com largura de, pelo menos,  $4/E$  ( $E = 2$  MHz), calculou-se os valores de  $R_8$  e  $C_5$  para que a chave transistorizada  $Q_3$  seja acionada e o capacitor  $C_3$  seja descarregado após este tempo. Assim, para este tempo tem-se que  $R_8 = 100 \text{ k}\Omega$  e  $C_5 = 22 \text{ pF}$ .

## Anexo C

### Listagem do programa desenvolvido para o MC68HC11.

\* Programa usado no protótipo desenvolvido para a unidade remota que simula a operação\*  
\*do sistema com duas unidades remotas no campo. Neste programa, são armazenados em\*  
\*uma posição de memória dois conjuntos de dados (cada conjunto correspondendo a uma\*  
\*unidade remota) os quais devem ser adquiridos e enviados para a unidade central. \*

\* Equates utilizadas\*

|       |     |        |
|-------|-----|--------|
| BAUD  | EQU | \$102B |
| SCCR1 | EQU | \$102C |
| SCCR2 | EQU | \$102D |
| SCSR  | EQU | \$102E |
| SCDR  | EQU | \$102F |
| PORTA | EQU | \$1000 |
| PORTB | EQU | \$1004 |
| PORTC | EQU | \$1003 |
| DECR  | EQU | \$C075 |
| END   | EQU | \$C020 |
| SUM   | EQU | \$C030 |

\*Posição da memória em que estarão armazenados os conjuntos de dados referentes aos\*  
\*dois módulos que estão sendo simulados.\*

ORG \$B700

\* Informações do módulo 1 \*

|     |     |      |
|-----|-----|------|
| RAM | FCB | \$FF |
|     | FCB | \$01 |
|     | FCB | \$02 |
|     | FCB | \$55 |
|     | FCB | \$44 |
|     | FCB | \$33 |
|     | FCB | \$CF |

---

\* Informações do módulo 2 \*

```
FCB $FF
FCB $03
FCB $05
FCB $22
FCB $15
FCB $9E
FCB $DD
FIM    FCB $FF
```

\* Início do programa na EEPROM\*

```
ORG $B600
```

\* Configuração do pino de saída serial \*

```
LDAA #$36
STAA BAUD
LDAA #$00
STAA SCCR1
```

\*\*\*\*\*

```
LOOP3    LDAA PORTC
```

\* Após a leitura da porta C é verificado se o nível lógico do sinal é “1” ou “0”. De acordo\*  
\*com o resultado obtido o programa , através da sub-rotina FREQ7 ou FREQ8, envia um\*  
\*sinal de frequência 7 kHz ou 8 kHz nos pinos de saída digital PA3 ou PA4\*  
\*respectivamente.\*

```
CMPA #$00
BEQ  FREQUE7
CMPA #$01
BEQ  FREQUE8
```

\*\*\*\*\*

```
TESTE    LDAB  SCSR
         ANDB  #$C0
         BEQ   LOOP3
```

```
*****
```

```
NOVA     LDY   #$B700
DADO     LDAA  $0,Y * Modulo*
         LDAB  SCSR
         STAA  SCDR
         LDAB  #$08
         STAB  SCCR2
         BRA   LOOP4
LOOP5    INY
         CPY   #$B70E
         BNE  DADO

         BRA  NOVA
```

```
*****
```

```
LOOP4    LDAA  PORTC

         CMPA  #$00
         BEQ  FRE7
         CMPA  #$01
         BEQ  FRE8
```

```
TESTE1   LDAB  SCSR
         ANDB  #$C0
         BEQ   LOOP4

         BRA  LOOP5
```

```
*****
```

\* Sub-Rotina (7 kHz) usada no teste inicial \*

```
FREQUE7  LDAA #$08
          STAA PORTB
          LDX #$0014
DELAY1   DEX
          BNE DELAY1
          LDAA #$00
          STAA PORTB
          LDX #$0014
DELAY2   DEX
          BNE DELAY2

          BRA  TESTE
```

\*\*\*\*\*

\* Sub-Rotina (8 kHz) usada no teste inicial. \*

```
FREQUE8  LDAA #$02
          STAA PORTB
          LDX #$0011
DELAY3   DEX
          BNE DELAY3
          LDAA #$00
          STAA PORTB
          LDX #$0011
DELAY4   DEX
          BNE DELAY4
          BRA  TESTE
```

\*\*\*\*\*

\* Sub-Rotina (7 kHz) usada para a o envio dos dados \*

```
FRE7     LDAA #$08
          STAA PORTB
          LDX #$0014
DELAY11  DEX
```

```
        BNE DELAY11
        LDAA #$00
        STAA PORTB
        LDX #$0014
DELAY22 DEX
        BNE DELAY22
```

```
        BRA TESTE1
```

```
*****
```

```
* Sub-Rotina (8 kHz) usada para a o envio dos dados *
```

```
FRE8   LDAA #$02
        STAA PORTB
        LDX #$0011
DELAY33 DEX
        BNE DELAY33
        LDAA #$00
        STAA PORTB
        LDX #$0011
DELAY44 DEX
        BNE DELAY44
        BRA TESTE1
```

```
*****
```

## Referência Bibliográfica

- [1] Li, X and Meijer, G. C. M., "A Microcontroller-Based Interface for Active Sensors", IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, St Paul, Minnesota, USA, pp,138-142, Maio de 1998.
- [2] Pathare, S.; Gao, R.; Varghese, B.; Guo C. and Malkin, S., "A DSP-Based Telemetric Data Acquisition System for In-Process Monitoring of Grinding Operation", IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, St Paul, Minnesota, USA, pp, 191-195, Maio de 1998.
- [3] Iraqi, A.; Morawski, R. Z.; Barwicz, A. and Bock, W. J., "Distributed Data Processing in a Telemetric System for Monitoring Civil Engineering Constructions", IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, St Paul, Minnesota, USA, pp, 186-190, Maio de 1998.
- [4] Limacher, R. and Neukomm, P. A., "Advanced monitoring system using passive absorption telemetry", Proc. XIV Int. Symp. Biotelemetry, Marburg, Alemanha, pp, 29-34, Abril de 1997.
- [5] Huang, Q. and Oberle M., "A 0.5-mW Passive Telemetry IC for Biomedical Applications", IEEE Journal of Circuits, pp, 937-946, Julho de 1998.
- [6] Ramana, D. V., Shamanna, K., Seshaiyah, R. and shetty, K. N., "Telemetry, Tracking and Command System", Journal of Aero. Soc., Vol. 35, no. 3-4, 1983.
- [7] Kulkaini, V.P.. "Telemetry in Space Technology", J. Inst. Electronics & Telecom. Engrs., Vol. 29, no. 8, 1983.
- [8] Turnell, D. J.; Deep, G. S. and Freire, R. C. S., "A Low-Cost Water Detection Method for Furrow Irrigation Control", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, pp, 986-990, August 1997.
- [9] Petrou, M., "Satellite Remote Sensing", <http://www.ee.surrey.ac.uk/Research/VSSP/report96/report/note23.html>, Dezembro de 1999.
- [10] Ecological Monitoring and Assessment Network, "Use of Remote Sensing for Ecological Monitoring in Canada", <http://www.cciw.ca/eman-temp/reports/publications/remote-sens/part6.html>, Dezembro de 1999.

- [11] Cultural Resources Mapping & Geographic Information Systems (GIS), “*Global Positioning Systems (GPS)*”, <http://www2.cr.nps.gov/gis/gps.htm>, Janeiro de 2000.
- [12] DATACOM’s RMC, “*The Truly Integrated Solution*”, <http://www.datacomnet.net/productsandservices/rmc.html>, Dezembro de 1999.
- [13] Telemetry / SCADA, “*Radio Telemetry Units*”, [http://www.dfa-inc.com/dfa\\_rtu.htm](http://www.dfa-inc.com/dfa_rtu.htm), Dezembro de 1999.
- [14] Krauss, H.; Bostian, C. and Raar, F., “*Solid State Ratio Engineering*”, Jonh Wiley, 1980.
- [15] Gruenberg, E. L., “*Handbook of Telemetry and Remote Control*”, McGraw-Hill, Book Company, 1967.
- [16] Young, R. E., “*Telemetry Engineering*”, Lliffe Books LTD, London, 1968.
- [17] Gray, L. and Graham, R., “*Radio Transmitters*”, McGraw-Hill, Book Company, Inc, 1961.
- [18] Sklar, B., “*Digital Communicatios – Fundamentals and Applications*”, PTR Prentice Hall, 1988.
- [19] Haykin, S., “*Digital Communications*”, John Wiley & Sons, 1988.
- [20] Taub, H. and Schilling, D. L., “*Principles of Communication Systems*”, McGraw-Hill, Book Company, 1971.
- [21] Wiggert, D., “*Codes for Error Control and Synchronization*”, Artech House, Inc, 1988.
- [22] Lin, S. and Costello Jr., D. J., “*Error Control Conding – Fundamentals and Applications*”, prentice-Hall, Inc, 1983.
- [23] Camelo, N. J. e Araújo, M. T. R., “*Arquitetura do Microcontrolador MC68HC11 – (Família HC11)*”, São Luiz: DEE – UFMA, 1996
- [24] Motorola, “*M68HC11 – Reference Manual*”, ©Motorola Inc, 1990.
- [25] Skroder, J. C., “*Using the M68HC11 Microcontroler – A guide to interfacing and programming the m68hc11 microcontroler*”, Prentice Hall, 1997.
- [26] Grupo de Trabalho de Energia Solar Fotovoltaica, “*Estruturas e Componentes de um Sistema Fotovoltaico Autônomo*”, Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, 1998.
- [27] Photovoltaics Special Research Centre, “*Solar Cells*”, <http://www.psrc.solarcel.html>, Julho de 1999.

- [28] Benghanem, M. and Maafi, A., “*Data Acquisition System for Photovoltaic Systems Performance Monitoring*”, IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Ottawa, Canada, pp, 1030-1033, Agosto de 1997.
- [29] Venis, M., “*Charging NiCd and NiMH Batteries*”, <http://www.vencon.com/articles/nicd2.html>, Vencon Technologies Home, 1999.
- [30] Rao, G.; Vaidyanathan, H. and Nakhleh, W., “*Behavior of a Cycled Ni-Cd Battery During Pulse Discharge*”, IEEE AES Systems Magazine, pp, 41-44, Agosto de 1997.
- [31] Kulin, T. M., “*Life Cycle Testing of a Sealed 24-V, 42-Ah Nickel-Cadmium Aircraft Battery*”, IEEE AES Systems Magazine, pp, 17-22, Outubro de 1997.
- [32] Departamento de Engenharia da Maxicom, “*Você pergunta e a Maxicom responde*”, <http://www.maxicom.ind.br/Faqbat.html>
- [33] Intrinsic Safety Circuit Design, “*Analog Inputs – 4-20 mA Transmitters*”, <http://www.crouse-hinds.com/products/intrinsically-safe/techref/article3.htm>, Janeiro de 2000.
- [34] Penick, T., “*4-20 mA Circuits*”, <http://www.teicontrols.com/4-20.html>, Janeiro de 2000.
- [35] “*FM Transmitter*”, <http://www.ecn.bgu.edu/users/bsngd/fmxml.htm>, Outubro de 1998.
- [36] Sedra, A. S. and Smith, K. C., “*Microeletrônica*”, Vol. I e II, Makron Books, 1995.
- [37] Blaurock, C., “*Make Your Own Simple Rx/Tx Battery Charger with Peak Detect by C. Blaurock*”, <http://www.uoguelph.ca/~antoon/gadgets/peakchrg.html>, Março de 1999.
- [38] Christensen, P., “*Make a Constante Currente Nicad Charger by Pete Christensen*”, <http://www.uoguelph.ca/~antoon/gadgets/ccharger.html>, Março de 1999.
- [39] Graeme, J. G., “*Designing with Operational Amplifiers – Applications Alternatives*”, McGraw-Hill, Book Company, 1977.
- [40] Boylestad, R. and Nashelsky, L., “*Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos*”, PhB, 1984.
- [41] Philips Semiconductors, “*A Complete FM Radio on a Chip*”, Application Note – AN192, December 1991.
- [42] National Semiconduction, “*National Application Specific Analog Products Databook*”, 1995.
- [43] “*Signetics Corporation – Data Book*”, 1974.
- [44] Maxim, “*+5 V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers*”, 1997.

[45] Motorola, "*CMOS/NMOS Special Functions Data*", 1984