

## 4. Sistema de Telemédidas Proposto

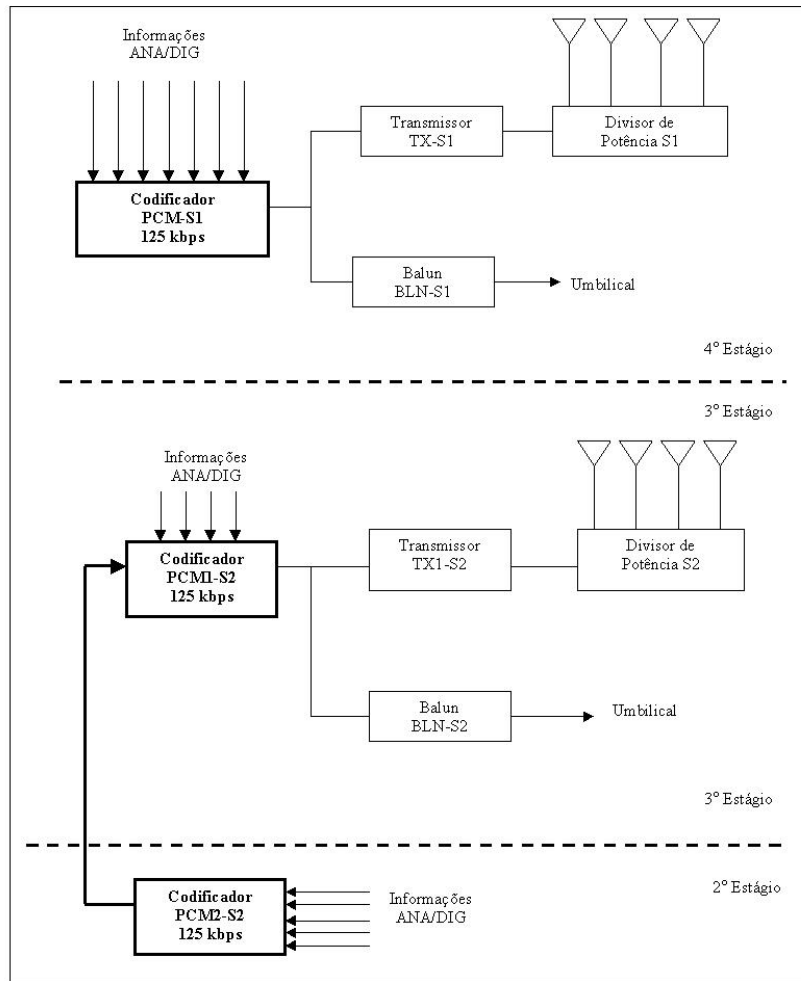
O sistema de aquisição de sinais proposto é composto de três subsistemas baseados em codificadores *PCM*. Os dois primeiros são compostos pelas unidades comerciais de aquisição, condicionamento e codificação *PCM* utilizadas nos vôos anteriores do *VLS*. Embora estas unidades sejam de custo elevado, as mesmas são extremamente eficientes em sua capacidade de agregar centenas de informações, além de atenderem aos requisitos espaciais já mencionados. Nesta nova configuração do quadro de canais para o sistema de telemédidas proposto, as unidades comerciais são programadas para adquirir somente os sinais de frequência baixa.

Um terceiro codificador *PCM* implementado num Sistema Micro-Controlado Multifuncional, desenvolvido pelo *Mobile Rocket Base (MORABA)* do Centro Aeroespacial Alemão (*Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt - DLR*) adquire e processa todas as demais informações analógicas de frequência alta, exceto a informação de acústica que é transmitida através de uma subportadora de áudio, especialmente projetada por um fabricante de transmissores.

### 4.1. Configuração do Sistema de Telemédidas Proposto

A figura 4.1 mostra o diagrama em blocos do sistema proposto e implementado para transmissão das informações analógicas e digitais de frequência baixa do 4° e 3° estágios do *VLS*. Estas informações estão distribuídas entre os codificadores *PCM-S1*, *PCM1-S2* e *PCM2-S2*, respectivamente.

A cadeia de transmissão *RF* e os critérios de transmissão através do cabo umbilical são os mesmos utilizados para os sistemas atuais.



**Figura 4.1: Proposta do Sistema de telemidas para informações de frequência baixa**

A configuração do novo sistema de aquisição de sinais proposta está representada na figura 4.2 e tem como característica principal ser dedicado à aquisição de todos os sinais de frequência alta.

No sistema configurado para as missões anteriores, o sinal de pressão acústica está inserido em um canal do oscilador de subportadora de banda proporcional, onde a frequência máxima esperada para este sinal é  $f_{máx} = 10 \text{ kHz}$ , que limita toda a faixa de frequências do sistema *FM*.

Na nova configuração representada na figura 4.2, este sinal está conectado diretamente ao novo transmissor que opera em banda *S*, e que substitui o transmissor banda *P*.

A grande vantagem deste novo transmissor em banda *S* é a entrada opcional com subportadora de áudio sintonizada na frequência de  $7 \text{ MHz}$ . Esta opção permite uma maior flexibilidade na configuração do sistema proposto porque não requer uma modulação externa ou qualquer processamento digital do sinal de áudio.

O amplificador na saída do microfone condiciona o sinal de pressão acústica ao nível adequado para ser conectado diretamente à entrada de sub-portadora de áudio do transmissor banda S. A variação da amplitude do sinal do sensor de pressão acústica é condicionada em  $5 V_{pp}$  em torno de um nível de  $2,5 V_{DC}$ , provocando um desvio na subportadora de áudio de  $\pm 40 kHz$ . A resposta em frequência desta entrada é de  $1 Hz$  à  $10 kHz$ .

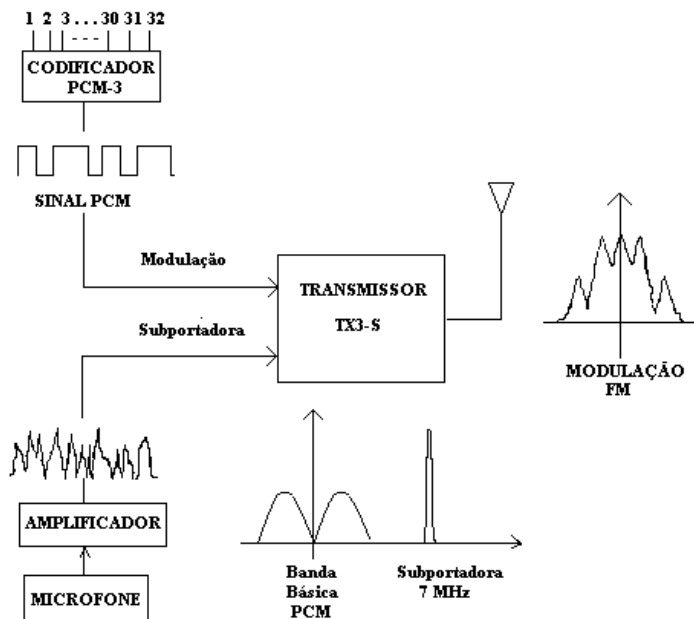


Figura 4.2: Proposta do Sistema de Aquisição de Informações de Frequência Alta.

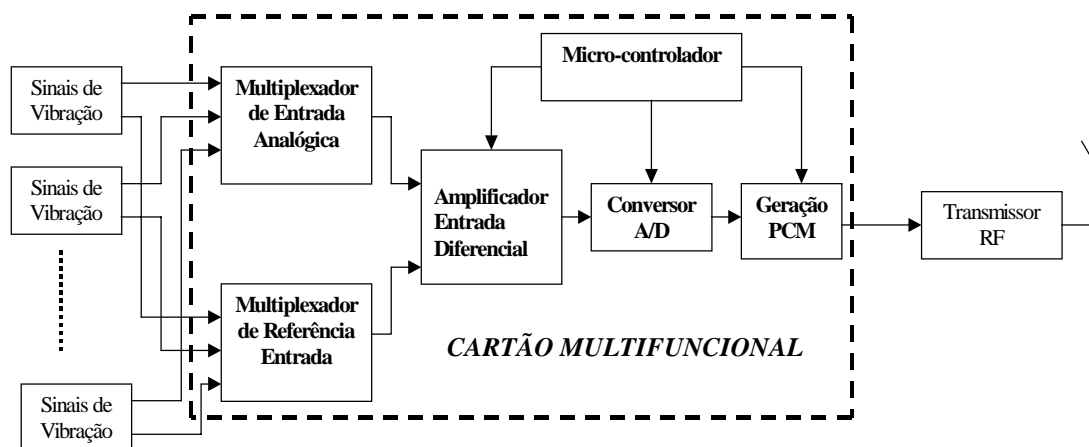
O Codificador *PCM-3* é denominado Sistema Micro-Controlado Multifuncional ou simplesmente Cartão Multifuncional. O sistema micro-controlado multifuncional amostra todas as entradas dos sinais de vibração, gera o formato *PCM*, e envia o sinal codificado e filtrado ao transmissor de RF, conforme estão representados na figura 4.2.

O Cartão Multifuncional tem esta denominação devido a sua capacidade de ser programado para ser utilizado ou como um controlador de atitude, ou como um codificador *PCM* ou ainda como um executor das ordens de telecomando (Ettl, 1999).

O Cartão Multifuncional mostrado na figura 4.3 está programado como um codificador *PCM* para adquirir e codificar 32 informações analógicas de frequência alta com uma taxa de bits de  $1 Mbps$ . Este cartão apresenta-se como uma excelente opção para adquirir e processar os sinais de vibração para o *VLS*. O baixo custo e a possibilidade de montar, testar e programar no Instituto de Aeronáutica e Espaço possibilitaram um ganho significativo em termos de independência operacional e redução de custos, o que tem gerado uma grande expectativa na sua utilização nos próximos vôos.

O micro-controlador de 16 bits da *Siemens-Infineon Technologies* (SAB 80C 167) mostrado no diagrama em Blocos do Cartão Multifuncional da figura 4.3 é o seu principal

componente e está programado para executar as instruções de software rapidamente, e para atender as interrupções em um tempo de resposta mínimo (200 nanosegundos).



**Figura 4.3: Configuração do Sistema Micro-controlado Multifuncional para sinais de Vibração.**

O Cartão Multifuncional, mostrado na figura 4.4, é um sistema micro-processado montado em uma única placa de circuito impresso multicamadas (10 layers) denominado de “Euro Board” cujas dimensões reduzidas são compatíveis para aplicação espacial (160 x 100 mm).



**Figura 4.4: Sistema PCM Micro-controlado Multifuncional.**

No diagrama em Blocos do Sistema Micro-controlado Multifuncional, mostrado na figura 4.5, um CAD autônomo montado nesta mesma placa converte, com uma resolução de 16 bits, cada uma das 32 entradas analógicas independentes. Para cada entrada analógica pode-se selecionar uma das 8 referências de terra disponíveis ou pode-se controlar digitalmente cada um dos 4 ganhos programáveis (1, 10, 100, 1000). Além das entradas

analogicas do CAD autônomo, este micro-controlador pode processar outras 16 entradas analógicas, porém com uma resolução de 10 bits.

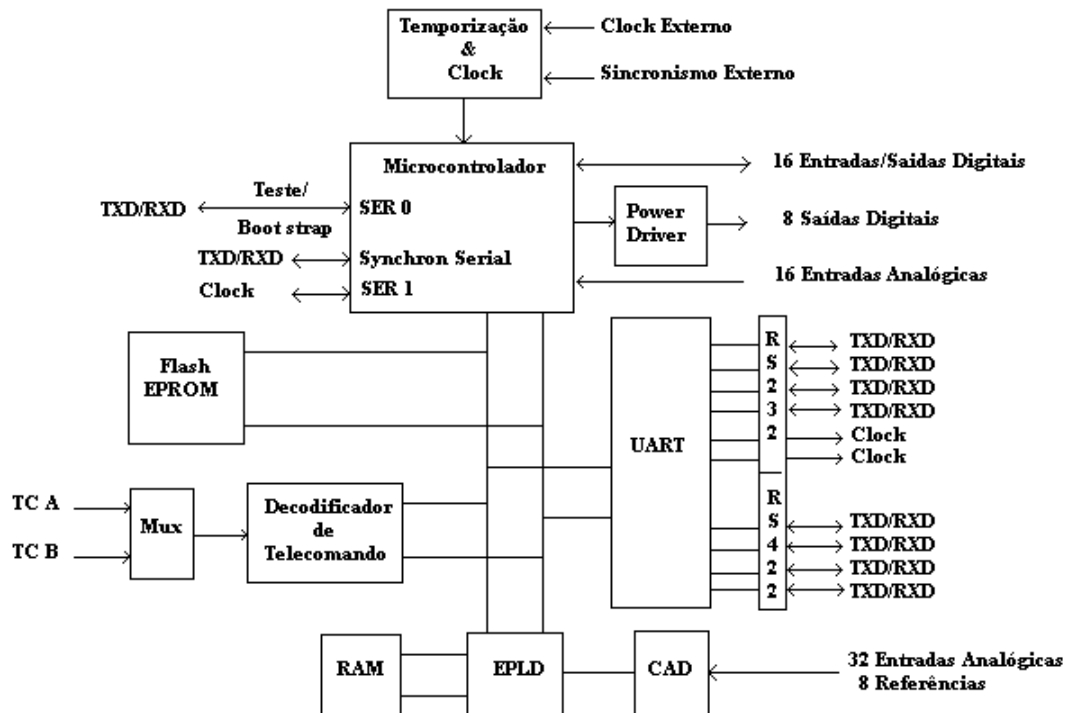


Figura 4.5: Diagrama em Blocos do Sistema Micro-controlado Multifuncional.

Também estão disponíveis 16 entradas/saídas digitais o que permite o seu uso em aplicações em tempo real. Todas as saídas digitais podem ser conectadas diretamente às entradas de interrupções do micro-controlador. Existem 8 saídas digitais que podem ser moduladas em *PWM*, que são muito úteis para aplicações em sistemas de controle. Estas saídas digitais estão conectadas em 8 “Buffers” (sink drivers) que possuem capacidade de comutar cargas de até 48 *Volts* e 0,4 *Ampéres*.

Um controlador de comunicação serial *UART* (*Universal Asynchronous Receivers/Transmitter*) é implementado com 8 entradas seriais diferentes e independentes de alta velocidade. Quando um Cartão Multifuncional for utilizado como um codificador *PCM* “*Master*” podem ser conectadas às entradas seriais, até 8 cartões de interface (interface board). E podem ser conectadas a cada uma destas interfaces até 4 codificadores *PCM* utilizados como “*Slaves*” com uma velocidade de comunicação de 1,25 *Mbps* (duplex). Estas entradas do controlador de comunicação estão representadas na figura 4.5 como *TXD/RXD*.

Uma memória *RAM* (*Random Access Memory*) de 32 mil palavras armazena confortavelmente as variáveis e dados do sistema. O programa para o micro-controlador reside em uma memória *Flash EPROM* (*Erasable Programmable Read Only Memory*) de 512 mil palavras que pode ser programada via interface serial do *PC*.

O circuito de temporização e “Clock” para o sistema de telemédidas tem um “Master clock” altamente estável que é composto de um oscilador a cristal com temperatura controlada. Esta alta estabilidade do “Clock” ( $0,001 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ ) permite o rastreamento da trajetória do veículo utilizando o sistema de “Slant Range” na estação de solo.

O sistema “Slant Range” utiliza as coordenadas de azimute e elevação da antena de telemetria para determinação da trajetória do veículo no plano  $XY$  e do sinal da banda base  $PCM$  para determinação da distância radial entre a antena de telemetria e o veículo. O “Slant Range” é um sistema redundante ao Radar para determinação de uma trajetória segura do veículo e para a determinação de *IIP* (*Instantaneous Impact Point*). A determinação do *IIP* ajuda na decisão de destruição do veículo em caso de uma trajetória perigosa.

O cartão multifuncional permite a programação de quase todo tipo de formato de quadro de canais  $PCM$  segundo o padrão *IRIG* e possibilita a geração de vários códigos, tais como o *Bi-phase-L*, *NRZ-L*, *NRZ-S*, com comprimento de palavras de 6 a 16 bits e uma taxa de bit de até 4 *Mbps*. A taxa de bits do sinal  $PCM$  pode ser selecionada entre qualquer valor obtido da divisão sucessiva por 2, da maior taxa de bits do sistema (4 *Mbps*), até a taxa de bits mínima de 32,25 *kbps*.

A saída do sinal  $PCM$  está conectada a um filtro de pré-modulação passa baixa, tipo Bessel, de seis pólos com frequência de corte entre 1,3 e 1,5 da taxa de bit, na hipótese de utilização do código *Bi-phase-L*, e entre 0,5 e 0,8 da taxa de bit para o código *NRZ-L*. O filtro de Bessel ou “*Maximally Flat Delay Low Pass Filter*” é utilizado para evitar a interferência entre símbolos, devido à sua característica de fase linear e possuir um atraso constante no domínio do tempo, em todo o espectro do sinal  $PCM$ . O filtro possui ajuste da amplitude do sinal da saída de modulação para adequação do nível de sinal aplicado ao transmissor de *RF*.

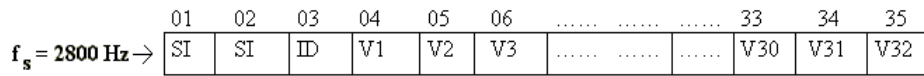
Todos os parâmetros necessários para a configuração do quadro de canais do sistema são totalmente programáveis, tais como: taxa de bits; bits por palavra; palavras por quadro (quadro secundário); profundidade do quadro (sub-quadros); supercomutação de palavras; sub-comutação de palavras, etc...

Uma outra vantagem deste cartão é devida ao recurso denominado “*paging*”, onde as configurações dos quadros de canais  $PCM$ , totalmente diferentes e independentes entre si, podem ser trocadas durante o vôo através de emissão de ordens de telecomando e/ou através de temporização de eventos embarcados.

## 4.2. Quadro de canais para sinais de frequência alta.

A estrutura do quadro de canais do codificador  $PCM$  implementado no cartão multifuncional para aquisição de sinais de frequência alta possui 32 canais analógicos, 2

palavras de sincronismo, 1 contador de quadros secundários, 10 bits por palavra e taxa de 1 *Mbps*, conforme figura 4.6.



**Figura 4.6: Quadro de Canais Proposto - Sistema Micro-controlado Multifuncional.**

Esta taxa de bits, embora alta para o sistema de gravação magnética, garante uma frequência de amostragem de 2800 amostras por segundo para todos os sinais de frequência alta.

O contador de quadros *ID* (0 a 1024) mostrado no quadro de canais da figura 4.6 é utilizado para a análise dos sinais de vibração. A inclusão deste contador *ID* é muito importante, pois permite identificar se ocorreram ou não perdas de quadros durante a transmissão. Através do *ID* pode-se identificar se a seqüência transmitida foi interrompida. Em caso afirmativo, introduzem-se zeros no conteúdo dos dados, mantendo-se a seqüência transmitida (0 a 1024). Como a análise é realizada a cada pacote de 1024 quadros secundários, os pontos corrompidos em um determinado quadro e não zerados influenciarão no resultado final da análise destes sinais, alterando o nível da amplitude da *DEP* (Densidade Espectral de Potência) do sinal.

Pontos que não representam o sinal original são denominados de pontos espúrios e podem ser introduzidos pelo próprio sistema de aquisição, principalmente pelos equipamentos utilizados, ou por captação de sinais estranhos do meio ambiente ou ainda pela perda na transmissão.

A eliminação destes pontos ilegítimos poderia ser realizada por meio de uma inspeção. Entretanto, devido à grande quantidade de pontos espúrios contidos no sinal amostrado de vibração, recomenda-se a implementação de um sistema automático através de um programa elaborado para tal fim.

A *DEP* do sinal é obtida através de transformada de Fourier. A transformada de Fourier converte informações do domínio do tempo, para o domínio da frequência. É uma importante ferramenta analítica em diversos campos como acústica, óptica, sismologia, telecomunicação, voz, processamento de sinais e processamento de imagens.

Em sistemas de tempo discreto, a transformada discreta de Fourier (*DFT* – Discrete Fourier Transform) é a contrapartida da transformada contínua de Fourier. Devido à sua baixa eficiência como uma ferramenta computacional (“*computation-intensive*”), o *DFT* tem relativamente poucas aplicações mesmo em computadores modernos.

O *FFT* (Fast Fourier Transform) é um nome genérico para uma classe de algoritmos computacionais eficientes que implementa o *DFT* e são amplamente utilizados no campo de processamento digital de sinais (*DSP*).

### 4.3. Programação do Cartão Multifuncional

Para o cartão Multifuncional atuar como um codificador *PCM*, sua programação deve ser alterada para adquirir 32 canais de frequência alta. Dado o quadro de canais da figura 4.6, suas especificações de configuração e conhecida a estrutura do cartão multifuncional, o método da abordagem utilizado para programação do codificador *PCM* é ilustrado na figura 4.7 em forma de um fluxograma.

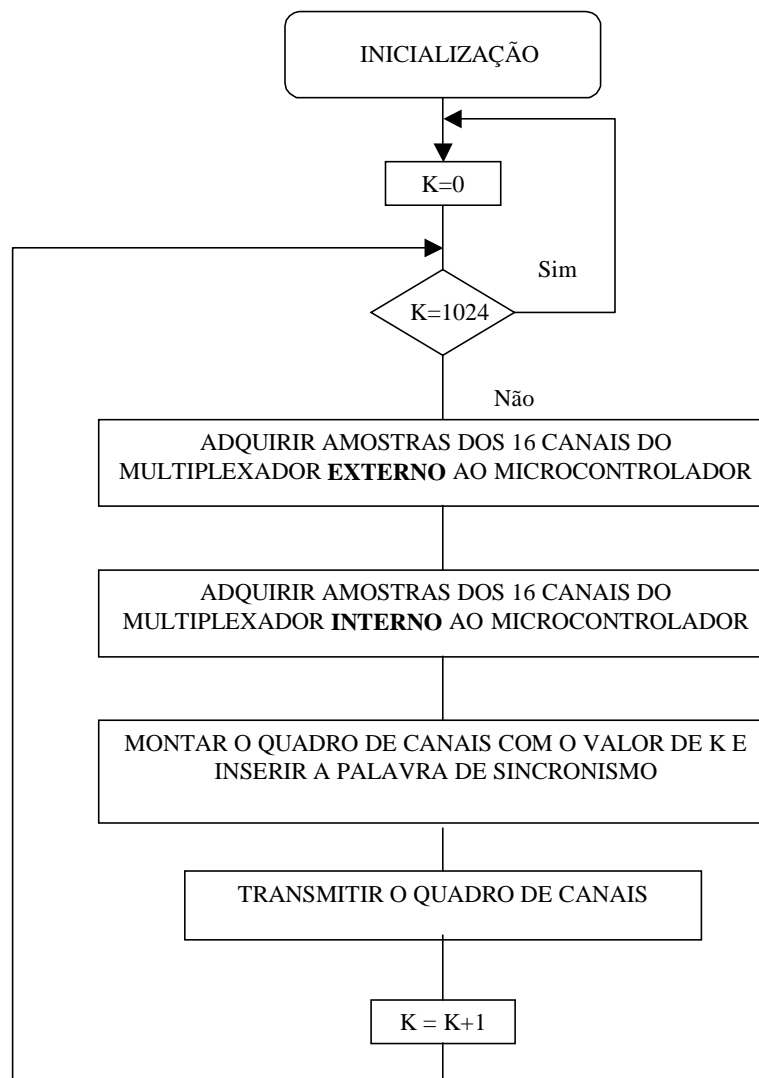


Figura 4.7: Método de programação do codificador PCM



Para a programação do codificador *PCM* são utilizados dois algoritmos. Um algoritmo é responsável pela montagem da estrutura e alocação das informações de cada quadro de canais do codificador *PCM*, o outro, pelo envio do mesmo através da interface serial rápida do micro-controlador.

Todos os programas utilizados para que o cartão multifuncional funcione como codificador *PCM*, são compilados e testados em um sistema de desenvolvimento próprio (*Keil Development System, 2001*). Os programas foram desenvolvidos em linguagem “C” e estão separados em dois arquivos principais identificados como “*FFT\_PCM.C*” e “*PCM.C*” e os seus respectivos fluxogramas estão mostrados na figura 4.8 e figura 4.9.

O programa principal denominado “*FFT\_PCM.C*” tem como tarefa: definir todas as variáveis e zerar todos os parâmetros para programação, inicializar todas as interrupções, adquirir e distribuir as informações dos multiplexadores internos e externos no mesmo quadro de canais *PCM* e gerenciar a chamada do programa “*PCM.C*” para transmitir o quadro.

O programa “*PCM.C*” tem como tarefa: organizar e selecionar alternadamente cada um dos quadros a ser transmitido. Enquanto um quadro está sendo montado, o outro está sendo transmitido.

O programa “*init.c*” representado no fluxograma da figura 4.8 tem como tarefa principal inicializar o micro-controlador e os parâmetros típicos do sistema de codificação *PCM* tais como:

- Definir as prioridades de interrupção na conversão *A/D*, e programar a interface serial de alta velocidade do micro-controlador como saída de transmissão de dados do formato *PCM*.
- Definir a área de memória para o Flash Memory, do *MODEM*, da *RAM* e do conversor *AD*.
- Definir os ciclos de *RD/WR* e Wait.
- Programar a transmissão do primeiro bit como *MSB*.
- Programar o número de bits por palavra.
- Programar a taxa de bits.
- Definir o número de canais do quadro.
- Definir o ganho de cada canal de entrada.
- Definir o número de referências analógicas do sistema de aquisição.

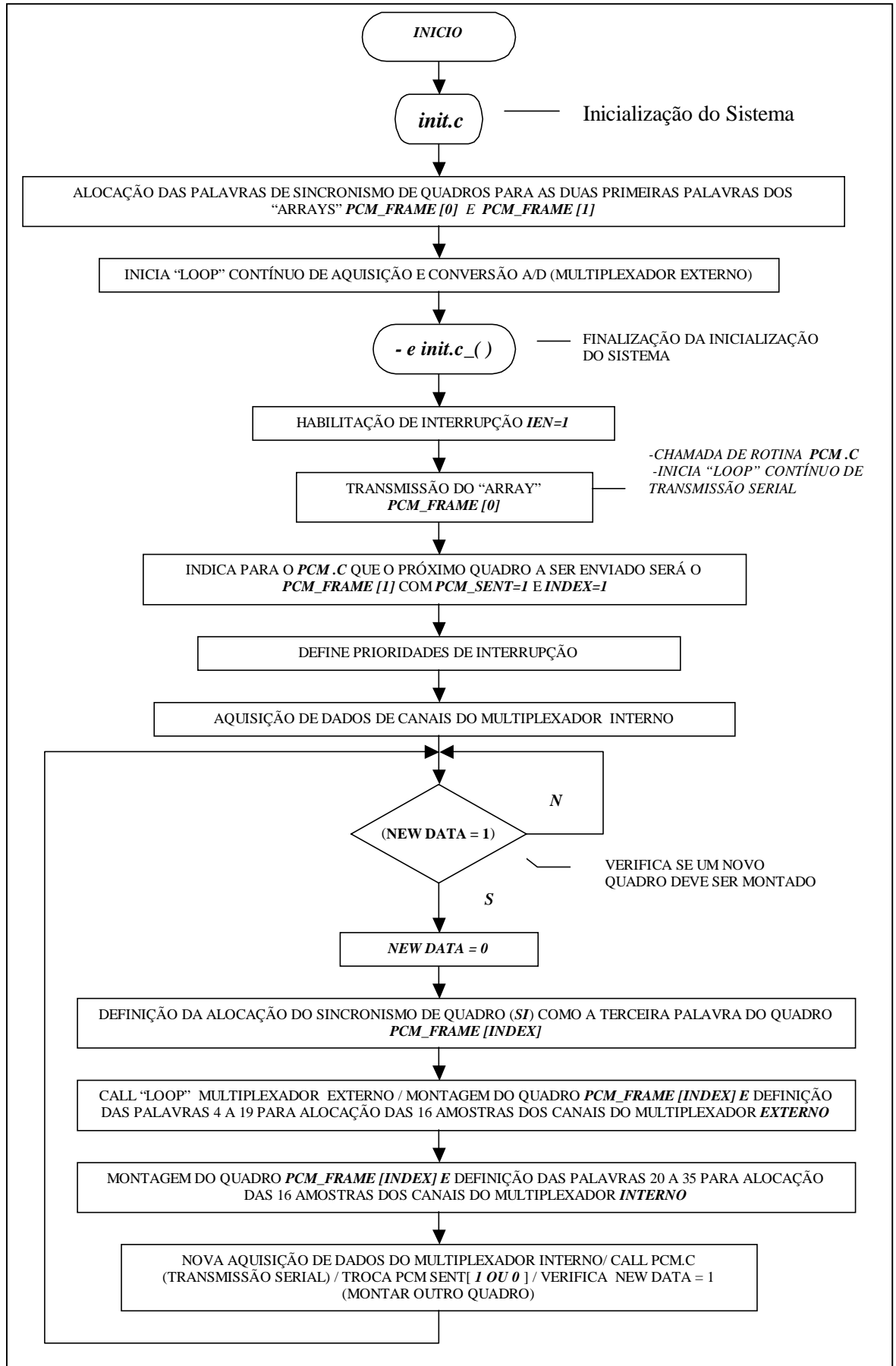


Figura 4.8: Programa Principal – estruturação dos quadros de canais

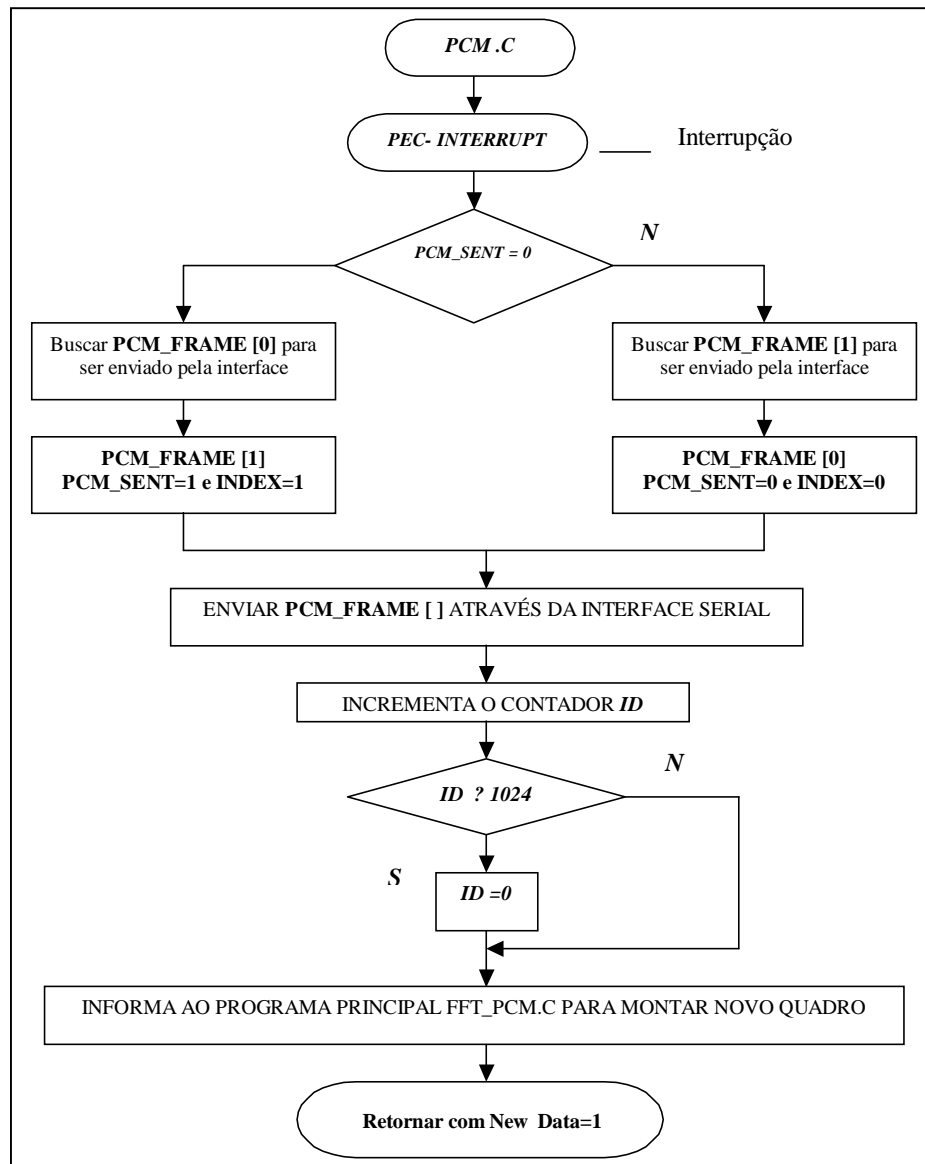


Figura 4.9: Rotina de interrupção para transmissão dos quadros de canais

#### 4.4. Considerações Finais

O primeiro sistema de aquisição de sinais proposto otimiza o processo de amostragem e gravação magnética das centenas de informações de frequência baixa e utiliza o mesmo tipo de codificador *PCM* comercial embarcado nos outros três veículos lançadores. A banda básica desse sistema utiliza dois transmissores de *RF* independentes.

O segundo sistema agrega todas as 33 informações de frequência alta e utiliza o Sistema Micro-controlado Multifuncional programado para a função de aquisição e codificação *PCM* para as informações de vibração. O transmissor utilizado no segundo sistema possui uma entrada para o sinal *PCM* e uma outra, com sub-portadora de áudio sintonizada na frequência de 7 MHz, para a única informação de pressão acústica.

A proposta do sistema de aquisição de informações de frequência alta simplifica muito o sistema de aquisição embarcado, mas exige um equipamento de demodulação de sub-portadora de áudio na estação de solo para gravação da informação de pressão acústica na coifa. Este sinal é gravado diretamente em fita magnética e posteriormente amostrado e codificado em um sistema de aquisição e processamento de dados do laboratório de Acústica do *IAE*.

No capítulo seguinte serão descritos o multiplexador analógico de sub-portadoras *FM* e os codificadores *PCM* comerciais do sistema de telemidas atual visando a comparação e validação dos resultados obtidos com o codificador *PCM* desenvolvido no sistema multifuncional.