

6. Conclusão

Este trabalho teve o objetivo de apresentar a aquisição e processamento de sinais embarcados no Veículo Lançador de Satélites – *VLS*, utilizando as técnicas de modulação *FM* e *PCM*, evidenciando o cartão multifuncional programado como codificador *PCM*.

A comparação entre os resultados obtidos foi plenamente satisfatória, o que ajudou a concluir que o cartão multifuncional pode ser utilizado como substituto do sistema de telemetria atual.

Como resultado direto da utilização do cartão multifuncional tem-se:

- Substituição dos equipamentos de bordo e de solo da banda básica *FM*;
- Redução da taxa de bits dos codificadores comerciais de 500 *Kbps* para 125 *Kbps* para todos os monitoramentos de baixa frequência do veículo (mais de 90% dos monitoramentos);
- Aumento da capacidade de gravação magnética de 30 para 60 minutos para as informações de frequência baixa;
- Monitoramento de todos os 32 sinais de vibração em um único sistema ao invés de apenas 13 sinais no sistema de banda básica *FM*;
- Aumento da frequência máxima dos sinais de vibração de 1000 *Hz* para até 1400 *Hz* devido à configuração do quadro de canais;
- Através do recurso denominado “*paging*”, as configurações de 4 quadros de canais *PCM* pré-programados, totalmente diferentes e independentes entre si, podem ser trocadas durante o vôo através de emissão de ordens de telecomando e/ou através de temporização.

A implementação da configuração do quadro de canais do codificador *PCM* utilizando o cartão multifuncional resultou em uma frequência de amostragem de 2800 *Hz* permitindo-se aumentar as frequências máximas de todos os 32 sinais de vibração.

Isto representa uma grande vantagem em relação ao sistema atual, onde as informações do sistema analógico foram limitadas na frequência de 1000 *Hz* (índice de modulação igual a 2) para manter o erro próximo de níveis aceitáveis para este sub-sistema de telemetrias. Desta forma, sinais de frequências intempestivas e maiores que 1.000 *Hz* podem ser analisadas (naturalmente, o filtro “anti-aliasing” deve ser previamente ajustado para esta nova faixa).

Os resultados comparativos desta proposta de configuração de sistemas de aquisição e processamento de sinais de frequência alta utilizando as diferentes técnicas de modulação,

apresentam um erro porcentual da frequência de saída em relação à frequência de entrada menor que 0,30 % para todos os quatro sistemas.

Os sinais senoidais reconstituídos apresentam um erro de amplitude menor que 1%. Os resultados comparativos obtidos entre os codificadores *PCM* comerciais e o codificador implementado no cartão multifuncional apresentam valores muito próximos (menor que 0,8%). Todos os sub-sistemas digitais apresentam resultados melhores que os obtidos através do sistema analógico *FM*. No sub-sistema *FM* o erro porcentual está compreendido entre 0,74% e 0,98% enquanto no sub-sistema *PCM* comercial entre 0,50% e 0,78% e entre 0,49% e 0,80% para o cartão multifuncional.

Os resultados obtidos não indicam uma melhoria entre o sistema de aquisição atual e o proposto, que utilizam a mesma técnica de modulação, mas ratifica que a modulação utilizada é a mais adequada para este tipo de aplicação.

O domínio na manipulação e programação deste cartão multifuncional como um codificador *PCM*, bem como a possibilidade de montagem, qualificação, teste e fabricação para vôo no IAE representam um grande avanço em relação aos codificadores comerciais importados, dos quais se tem um restrito acesso ao software de programação, não se tem o programa fonte e não existe a possibilidade de reprodução nos laboratórios do instituto sem um alto investimento em desenvolvimento e pesquisa.

Tabela 6.1: Custos dos sistemas de telemedidas

Sistema de Telemedidas	Capacidade de Informação	Preço ³ (%)	Preço por informação⁴ (%)
Codificador PCM Comercial	300 ¹	100,00	12,65
Codificador PCM Modular	64 / 32 ²	46,05	54,70
Cartão Multifuncional	32	13,16	15,65
Multiplexador Analógico	13	34,21	100,00

1- Canais de frequência baixa e alta em um mesmo sistema.

2- Quantidade total de canais de informações disponíveis / quantidade de canais utilizados.

3- Preço em relação ao equipamento mais caro (codificador *PCM* comercial).

4- Preço em relação ao Multiplexador Analógico.

A tabela 6.1 apresenta de forma comparativa os custos dos sistemas de telemedidas. O preço do sistema mais caro é utilizado como referência para o cálculo do preço porcentual dos outros. O codificador *PCM* comercial é um sistema projetado para agregar centenas de informações, resultando no sistema com o menor custo por informação transmitida.

Inspecionando a tabela 6.1, pode-se observar que o cartão multifuncional é o sistema que apresenta o menor custo para transmissão de todas as 32 informações de frequência alta (13,16% do valor de um codificador *PCM* comercial) e possui um dos mais baixos custos por informação transmitida (15,65% de um multiplexador analógico).

6.1 Trabalhos Futuros

Pode-se afirmar que a configuração proposta nesta dissertação contribui principalmente na caracterização e detalhamento de um sistema de telemetria espacial para sinais de frequência alta e apresenta melhor desempenho, otimização na distribuição das informações e simplificação na redução de dados. Esta proposta abre possibilidades para desenvolvimento de novos temas de dissertações de mestrado em processamento digital de sinais de frequências altas no Veículo Lançador de Satélites, uma vez que todos os sinais de frequência baixa foram alocados em outros dois sub-sistemas.

Para continuidade deste trabalho, um sistema de telemetria adaptativo deverá ser implementado para aumentar a entropia dos dados transmitidos eliminando-se amostras redundantes da entrada de modulação do transmissor. Este processo é referido como compressão de dados.

Um dos métodos de compressão de dados que deve ser abordado para aplicações de telemetria espacial é a transformada de Wavelet cuja aplicação em sinais de frequência alta, particularmente os sinais de vibração é bastante recente e complexa (Newland, 1993; De Barros, 2001). Estudos devem ser realizados a fim de que seja definida qual o tipo de transformada de Wavelet que melhor representa os sinais de vibrações em sistemas espaciais embarcados.