



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

DEMODULADOR DE BPSK COM RECUPERAÇÃO DE PORTADORAS DEFINIDO EM “SOFTWARE” PARA OS SATÉLITES DO SISTEMA BRASILEIRO DE COLETA DE DADOS

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Ramon Augusto Sousa Lins (UFRN, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: Ramon_asl@yahoo.com.br

Alexandre Guirland Nowosad (INPE/CRN, Orientador)
E-mail: agnowosad@crn.inpe.br

COLABORADOR

Manoel Jozeane Mafra de Carvalho (INPE/CRN)

Julho de 2007

RESUMO

Este trabalho, iniciado em agosto de 2006, tem por objetivo desenvolver um demodulador de *BPSK* com recuperação de portadoras para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados (SBCD). O SBCD é um sistema que coleta dados ambientais espalhados pelo nosso território e os retransmite via satélite para as estações terrenas de Cuiabá e Alcântara, onde são processados e enviados a instalação Cachoeira Paulista do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Esses dados são usados em pesquisas e assessoria à Administração Pública em geral. O SBCD tem por escopo funcionar em tempo real e com robustez. Em função deste objetivo, optou-se pelo uso da tecnologia denominada “Rádio Definido em Software” neste trabalho. Já havia no CRN/NT um demodulador em desenvolvimento na linguagem de programação visual LabVIEW, que foi testado neste trabalho em sinal IQ gravado em arquivo “datalog”, parte do qual estava funcionando. Este apresentava erros de operação devido a imperfeição na lógica que após sucessivas simulações foi corrigido. O demodulador usa filtro casado para extrair os bits do sinal, consistindo na comparação das formas de onda correspondentes aos bits um e zero com o sinal recebido, detectando-se então os bits e os armazenando. Para extrair esses bits corretamente, o “jitter” é anulado sincronizando a forma de onda correspondente ao bit um (neste caso simétrica ao bit zero) com o sinal recebido. A partir da recuperação dos bits, iniciou-se a implementação da monitoração e homologação das Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) e Míni Transmissores Remotos (MTRs), para substituir o atual Banco de Homologação.

Palavras-chaves :

Rádio

Demodulador de *BPSK*

LabVIEW

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 – Sistema Brasileiro de Coleta de Dados ambientais | 9 |
| Figura 2.2 – Exemplos de MTRs..... | 10 |
| Figura 2.3 – Exemplos de PCDs..... | 10 |
| Figura 2.4 – Satélites SCD1 e SCD2..... | 10 |
| Figura 2.5 – Sinal +1 e Sinal -1..... | 14 |
| Figura 2.6 – Mensagem em “ <i>Biphase_L</i> ” do sinal..... | 14 |
| Figura 2.7 – Arquitetura do Demodulador “ <i>BPSK</i> ”..... | 16 |
| Figura 2.8 – Fluxograma do “software” desenvolvido que contém o Demodulador BPSK..... | 17 |
| Figura 2.9– Dados recuperados e utilizados no Banco de Homologação do INPE..... | 18 |

LISTA DE TABELA

| | |
|---|----|
| Tabela 2.1 – Formato e estrutura da mensagem..... | 11 |
|---|----|

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BPSK – Chaveamento binário de fase (*Binary Phase Shift Keying*).

CBERS – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (*China-Brazil Earth Resources Satellite*).

CNAE – Centro Nacional de Estudos Espaciais, França (*Centre National d'Etudes Spatiales*).

ETR – Estação Terrena de Recepção de Sinais de Satélite.

INPE-CRN – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Centro Regional do Nordeste.

MECB – Missão Espacial Completa Brasileira.

MTRs – Minitransmissores Remotos.

NOAA – Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (*National Oceanic & Atmospheric Administration*).

PXI – Extensão PCI para Instrumentação (*PCI eXtensions for Instrumentation*).

PCD – Plataforma de Coleta de Dados.

PCI – Interconector de Componentes Periféricos (*Peripheral Component Interconnect*).

SBCD – Sistema Brasileiro de Coleta de Dados.

SCD – Satélite de Coleta de Dados.

UHF – Frequência de Ultra Alta (*Ultra High Frequency*).

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO..... | 7 |
| CAPÍTULO 2 – DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 9 |
| 2.1. O Sistema Brasileiro de Coleta de Dados..... | 9 |
| 2.2. Processo de Modulação..... | 12 |
| 2.3. Processo de Modulação do SBCD..... | 12 |
| 2.4. Modulação Angular..... | 12 |
| 2.5. Modulação PSK..... | 13 |
| 2.6. Filtro Casado..... | 13 |
| CAPÍTULO 3 –IMPLEMENTAÇÃO DO DEMODULADOR BPSK..... | 14 |
| CAPÍTULO 4 – RESULTADOS..... | 18 |
| CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS..... | 19 |
| REFERÊNCIAS..... | 20 |

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

O projeto em questão tem por objetivo desenvolver um demodulador de “*Binary Phase Shift Keying*” (BPSK) para o banco de homologação de Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) para o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Centro Regional de Natal (INPE-CRN).

O Centro Regional do INPE, com sede em Natal, foi estabelecido por volta de 1970, quando o INPE chamava-se Comissão Nacional de Pesquisas Espaciais (CNAE) e assinou um convênio com o Governo do Estado e Universidade Federal do RN, visando estabelecer um núcleo de apoio aos lançamentos de foguetes e balões operados na Barreira do Inferno.

Após algum tempo de trabalho, o INPE/CRN passou a desenvolver equipamentos destinados à conexão com satélites. Entre outros, montou uma Plataforma de Coleta de Dados (PCD) para operar com o Sistema CLS/ARGOS[1] e já em 1983 a primeira PCD brasileira era testada e homologada nos laboratórios da CNES (*Centre National d’Etudes Spatiales*) – França. De lá para cá a atividade de coleta de dados ambientais via satélite tem tomado dimensões nacionais, hoje com várias unidades operando em todo o Brasil, inclusive operando com os satélites brasileiros.

Após estar capacitado a montar PCDs, o INPE/CRN recebeu a outorga para realizar as homologações para os transmissores do sistema ARGOS que fossem atuar no Brasil. O próximo passo foi o desenvolvimento de um sistema capaz de homologar esses dispositivos no próprio INPE. Assim, por volta de 1986, foram adquiridos os equipamentos necessários para a construção do banco de homologação, fazendo com que o INPE-CRN seja o único local no Brasil autorizado a fazer a homologação de transmissores para que estes possam trabalhar com os satélites da NOAA (*National Oceanic & Atmospheric Administration*). O sistema do INPE é capaz de fazer a homologação tanto de transmissores que trabalharão no Sistema de Coleta de Dados (SCD) brasileiro, como dos do sistema ARGOS, bastando para isso pequenos ajustes de configuração, já que os testes de desempenho realizados são os mesmos.

[1] ARGOS : Serviço de geo-posicionamento e telemetria de dados global. O serviço possui transponder a bordo dos satélites NOAA para coleta de dados de PCDs, e é operado conjuntamente pela NOAA e CNES.

Porém, com o passar do tempo, as PCDs evoluíram e o banco de homologação não acompanhou esse desenvolvimento, tornando-se um sistema ultrapassado e de difícil manutenção. Outro problema surgiu quando as PCDs mais modernas não disponibilizavam em sua interface determinados sinais necessários para a operação do banco de homologação. Para não parar as homologações no INPE-CRN, um receptor francês do banco de homologação de transmissores chamados COSPAS/SARSAT, que é usado em aeronaves para o rastreamento em caso de pane na mesma, foi adaptado para que o banco do INPE pudesse homologar esses tipos de PCDs mais modernas.

Para modernização do banco de homologação fez-se uso da tecnologia “*PXI*” para aquisição de dados e da linguagem de programação “*LabVIEW*”. Havia em desenvolvimento um demodulador de “*BPSK*” definido na linguagem G do “*LabVIEW*” para recuperação das mensagens enviadas. O estágio final deste demodulador apresentava problemas, que foram corrigidos neste trabalho.

CAPÍTULO 2 – DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O SISTEMA BRASILEIRO DE COLETA DE DADOS

A partir do lançamento do primeiro satélite brasileiro o SCD1, foi iniciado a operação do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados (SBCD) ambientais. O SBCD foi desenvolvido no intuito de automatizar o processo de aquisição de dados ambientais e do desenvolvimento de tecnologia nacional. Na figura 2.1 abaixo é mostrado o sistema visto de um modo geral.



Figura 2.1 - Sistema Brasileiro de Coleta de Dados ambientais .

O Sistema atual é composto pelas PCDs, MTRs e pelos Satélites SCD1, SCD2 e CBERS. As PCDs e MTRs coletam, através de vários sensores acoplados, dados ambientais e realizam a geo-localização de embarcações, pessoas e animais transmitindo os dados recolhidos em forma de mensagem na faixa de frequência UHF[2] aos satélites do sistema. Estes satélites, através dos seus “transponders”, recebem a mensagem e as retransmitem na faixa de banda-S[3] para as Estações Terrenas de Recepção de Sinais de Satélite. Essas estações demodulam as mensagens, recuperam os dados e as informações transmitida e encaminha para o Centro de Missão, em Cachoeira Paulista.

A seguir alguns exemplos de PCDs e MTRs :

[2] UHF – Sigla para “*ultra high frequency*”, que significa frequência ultra alta. Indica a faixa de radiofrequências de 300[MHz] até 3[GHz]. Estas frequências são comuns para propagações de sinais de rádio.

[3] Banda-S – Faixa de frequência de 2 até 4[GHz], englobando as frequências de UHF.

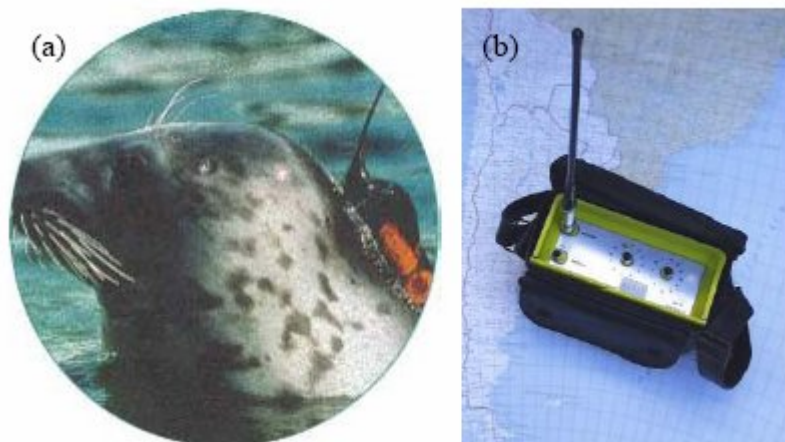


Figura 2.2 – Exemplos de MTRs.
(a) MTR em um elefante marinho; (b) MTR para comunicação e socorro.

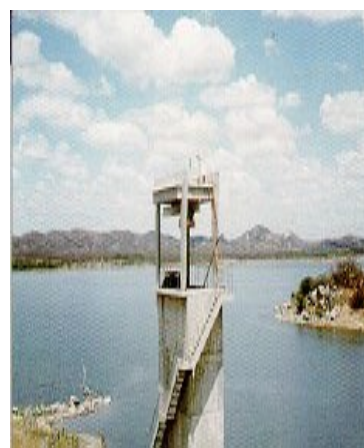


Figura 2.3 – Exemplos de PCDs.

Os satélites SCD1, SCD2 e o CBERS que fazem parte do SBCD são apresentados na figura 2.4 abaixo :

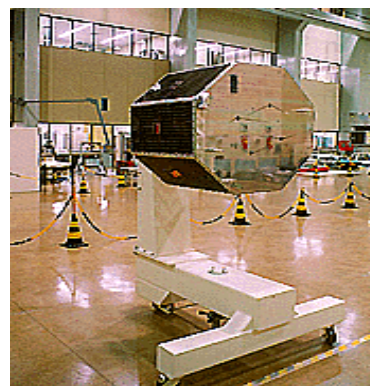


Figura 2.4 – Satélites SCD1 e SCD2 respectivamente.

As mensagens enviadas pelas PCDs e MTRs aos satélites obedecem a um padrão, estas são enviadas como mensagens de 360 a 920[ms] de duração, e transmitidas a intervalos regulares de 40 a 220[s]. Os dados são codificados em “*Biphase_L*” em 400[bps] e modulados em fase $\pm 60^\circ$ (com portadora residual) nas frequências de 401,62[MHz] (faixa MECB) ou 401,65[MHz] (faixa ARGOS).

Na tabela 2.1, apresenta-se o formato da mensagem :

| TRANSMISSÃO COMPLETA T3 | | | | |
|----------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Portadora pura T1 | Portadora Modulada T2 | | | |
| | Preâmbulo | Tamanho da mensagem | Identificação da Plataforma (ID) | Dados dos sensores |
| T1 = 160[ms] \pm 2,5[ms] | 24 bits (FFFE2F) | 4 bits | 20 bits | N x 32 bits (1 \leq N \leq 8) |

Tabela 2.1 – Formato e estrutura da mensagem.

Na tabela acima T1 representa o tempo de transmissão da portadora pura que é de 160[ms] e pode variar em $\pm 2,5$ [ms].

T2 representa a portadora modulada, no T2 o preâmbulo representa uma mensagem fixa para facilitar a detecção do sinal recebido, o tamanho da mensagem indica o número de blocos que a mensagem possui (dos 4 bits 3 são para indicar o tamanho da mensagem e 1 bit é de paridade par). Cada plataforma possui um número de identificação (ID) de 20 bits, em que 14 bits são usados para indicar o número da plataforma e os outros 6 bits são utilizados para o código de checagem de erro. Os dados enviados podem variar de 1 a 8 blocos de 32 bits, com isso a duração mínima de transmissão de T2 é de $200 \pm 2,5$ [ms] (para 1 bloco de 32 bits) e de $760 \pm 9,5$ [ms] (para 8 blocos de 32 bits).

A transmissão completa T3 é a dada pela soma de T1 e T2, assim $T3 = T1 + T2$. O tempo total de duração da transmissão pode variar a partir dos limites a seguir : 360 ± 5 [ms] $\leq T3 \leq 920 \pm 12$ [ms].

2.2 PROCESSO DE MODULAÇÃO

O propósito de um sistema de transmissão é entregar sinal de mensagem de uma fonte de informação em formato reconhecível a um usuário final, com a fonte e o usuário fisicamente separados. Para fazer isso, o transmissor modifica o sinal de mensagem para uma forma apropriada à transmissão através do canal. Esta modificação é realizada por meio de um processo conhecido como modulação, o qual envolve variar algum parâmetro de uma onda portadora de acordo com o sinal de mensagem. O receptor recria o sinal da mensagem original a partir de uma versão degradada do sinal transmitido depois da propagação através do canal.

Essa recriação é realizada utilizando-se um processo conhecido como demodulação, o qual é o inverso do processo de modulação utilizado no transmissor. No entanto, devido à inevitável presença de ruído e distorção no sinal recebido, consideramos que o receptor não é capaz de recriar exatamente o sinal de mensagem original. A degradação resultante do sinal é influenciada pelo tipo de modulação utilizado, considerando-se que alguns esquemas de modulação são menos susceptíveis a ruídos e distorções.

2.3 PROCESSO DE MODULAÇÃO DO SBCD

O “*transponder*” dos satélites SCD1, SCD2 e CBERS recebem os sinais emitidos pelas PCDs e MTRs, acrescido de ruídos, na faixa de frequência de $401,635[\text{MHz}] \pm 30[\text{kHz}]$ e os transladam para a faixa de 65 a 125[kHz]. Em seguida esta faixa modula em fase uma portadora em banda-S de 2,267[GHz], que é transmitida para estações terrenas de recepção.

O sinal, na banda-S, do satélite do SBCD é recebido nas ETRs do INPE, onde é demodulado, recuperando-se a faixa de frequência de 65 a 125[kHz] que contém os sinais das PCDs. Esses sinais são entregues aos PROCODS, que detectam e demodulam os sinais das PCDs, resultando nos sinais “*BPSK*”. Estes últimos são demodulados para se obterem as mensagens desejadas.

2.4 MODULAÇÃO ANGULAR

O processo de transmissão dos sinais relacionado ao SBCD sofre a modulação por chaveamento de fase (modulação *PSK*) que é um segmento da modulação em fase (*PM*). A modulação “*PM*” por sua vez é um segmento da modulação angular, na qual o ângulo da portadora é variado linearmente com sinal de mensagem (banda base).

Admita-se que $\theta_i(t)$ indique o ângulo de uma portadora senoidal modulada, que se supõe ser uma função do sinal de mensagem. Expressa-se a onda modulada angular resultante como :

$$s(t) = A_c \cos[\theta_i(t)]$$

variando o ângulo como : $\theta_i(t) = 2\pi f_c t + k_p m(t)$

onde $2\pi f_c t$ representa o ângulo da portadora não-modulada, e a constante k_p , a sensibilidade à fase do modulador. Desta forma o sinal modulado em fase $s(t)$ é descrito no domínio do tempo por :

$$s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + k_p m(t)].$$

2.5 MODULAÇÃO PSK

O “PSK” é uma modulação em que a informação do sinal digital é embutida nos parâmetros de fase da portadora. Nesta modulação quando ocorre a variação de um bit “0” para um bit “1” ou um bit “1” para um bit “0” ocorre uma mudança na fase da portadora em 180° . Esta característica particular do “PSK” é conhecida como “BPSK”.

2.6 FILTRO CASADO

O processo de demodulação acontece de diferentes formas seguindo o caminho inverso da modulação utilizada no processo de comunicação. Escolheu-se para o processo de demodulação do sinal “*Biphase_L*” a utilização de filtros casados, pela facilidade de implementação. Essa facilidade existe tendo em vista que o filtro casado pode ser expresso em termos de produto escalar. A partir da Desigualdade de Schwarz, onde $|\langle v, w \rangle| \leq \|v\| \|w\|$, é possível definir ângulo entre vetores, vetores padrões gerados e os segmentos de vetor do sinal recebido, não nulos em um espaço vetorial provido de um produto escalar. Com isso, obtém-se que $\left| \frac{\langle v, w \rangle}{\|v\| \|w\|} \right| \leq 1$, portanto existe um ângulo tal que $\cos \theta = \frac{\langle v, w \rangle}{\|v\| \|w\|}$. Realizando o produto escalar entre dois vetores $\langle v, w \rangle = \cos \theta \times \|v\| \|w\|$ tem-se o máximo valor quando o ângulo entre esses vetores é nulo, caracterizando o filtro casado.

CAPÍTULO 3 – IMPLEMENTAÇÃO DO DEMODULADOR BPSK

O Demodulador “BPSK” foi desenvolvido em linguagem G que é a linguagem de programação utilizada pelo “LabVIEW”. A demodulação baseou-se na implementação de um filtro casado para extração dos bits do sinal. A princípio geram-se duas formas de ondas representadas nas figuras abaixo :

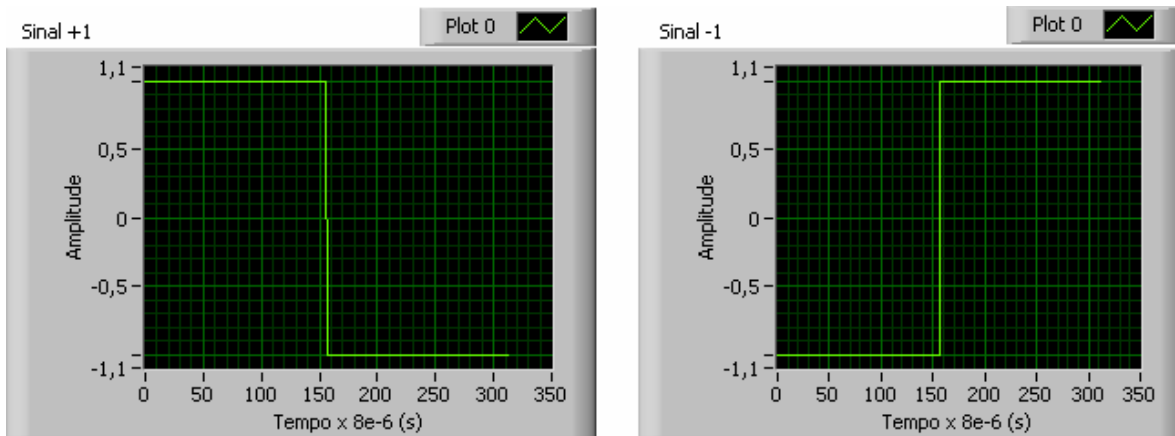


Figura 2.5 – Sinal +1 e Sinal -1.

A forma de onda gerada teve sua frequência baseada nas especificações de projeto do sistema ARGOS. Cada bit transmitido representa uma janela de tempo de 2,5[ms], que representada no sistema digital, com $dt[4] = 8 * 10^6$, gera uma janela com $\frac{2,5[ms]}{8 * 10^6[s]} = 313$ amostras.

Em seguida retira-se a portadora pura presente no sinal e obtém-se o sinal apenas com a mensagem em “Biphase_L” como é mostrado na figura abaixo.

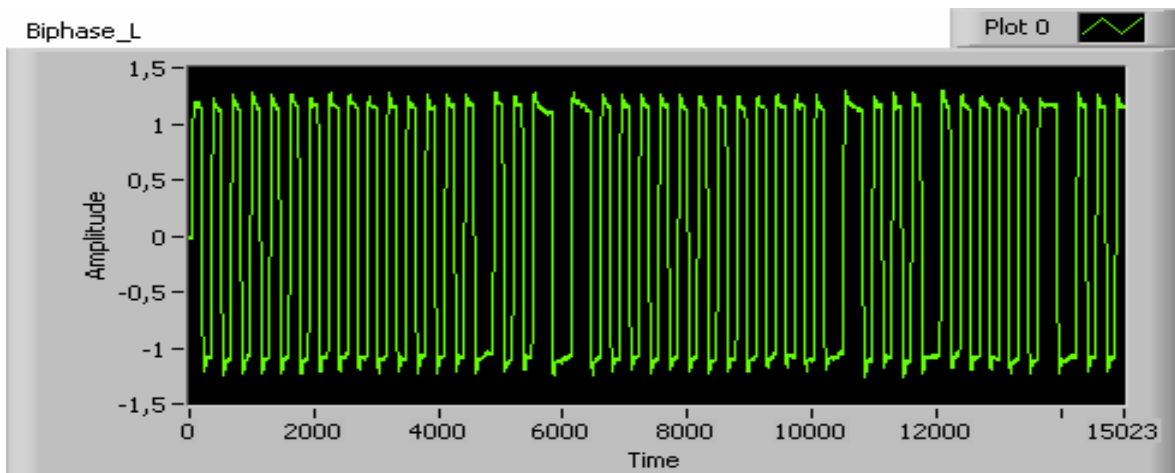


Figura 2.6 – Mensagem em “Biphase_L” do sinal.

^[4] dt é o tempo de amostragem utilizado na recepção do sinal.

Para a implementação dos filtros casados usam-se dois SubVis “*Dot Product*” para calcular a projeção do sinal de entrada em cada um dos sinais da modulação “*Biphase_L*”. O circuito em seguida compara os valores designados como $f+1$ e $f-1$, que são as saídas dos filtros casados para o sinal $+1$ e o sinal -1 respectivamente, onde para $f+1 > f-1$ tem-se um bit 1 e caso contrário $f-1 > f+1$ tem-se um bit 0.

Porém os filtros podem estar fora de sincronismo com o sinal de entrada, fenômeno chamado “*jitter*”. Neste caso, para a decisão ser feita corretamente é necessário centralizar o segmento do sinal de entrada a ser identificado com as formas de onda de teste. Como os dois sinais “*Biphase_L*” têm igual duração, basta sincronizar um deles. Isto é feito usando-se uma versão de tempo discreto do algoritmo mencionado por Proakis [6] para sincronizar símbolos. Esta versão usa o SubVi $Y[i]=X[i-n]$. Na figura 2.7 é possível visualizar o processo descrito acima.

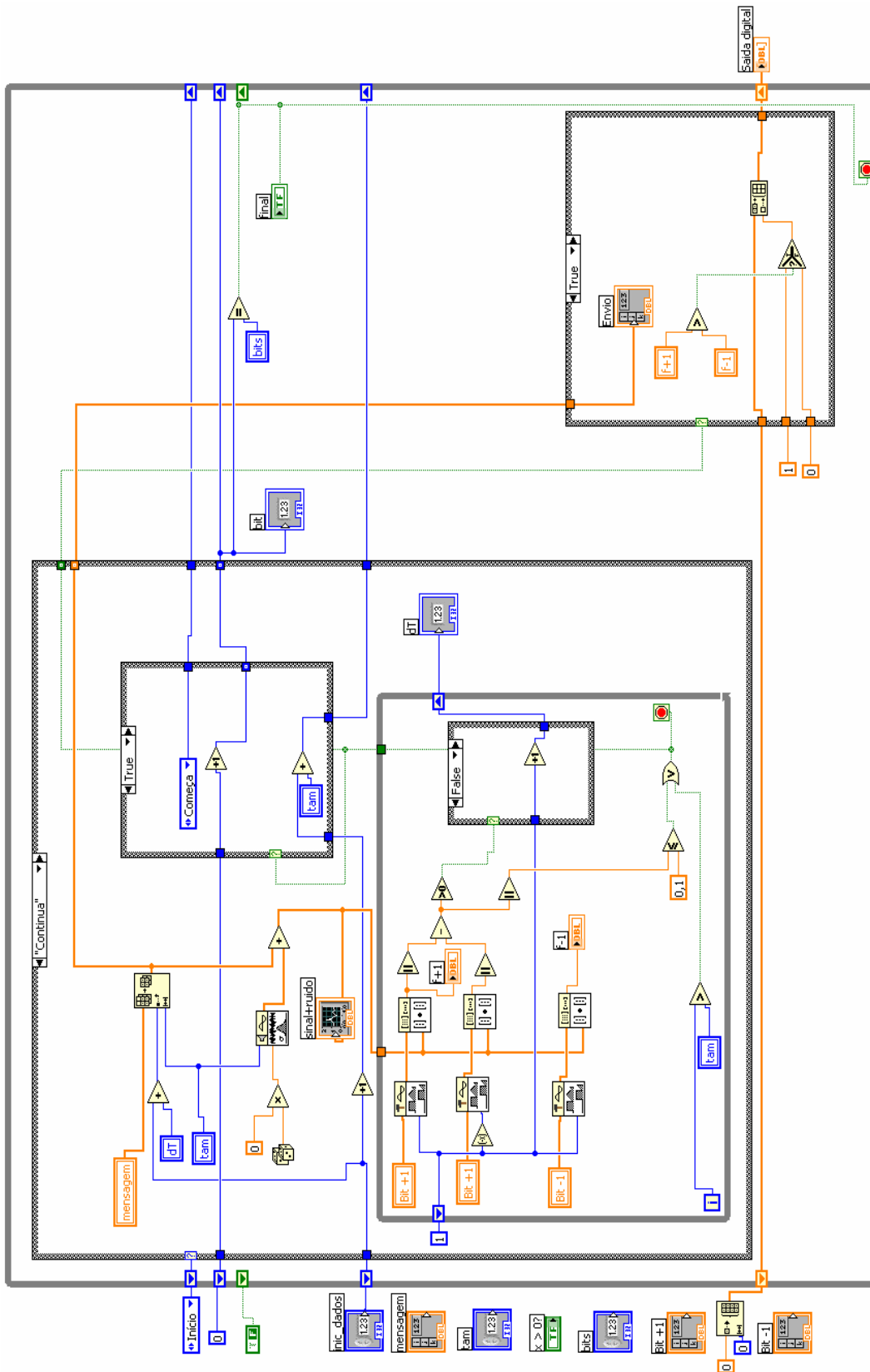


Figura 2.7 – Arquitetura do Demodulador “BPSK”.

A arquitetura do demodulador mostrada na figura 2.7 está contida em uma outra arquitetura onde suas etapas são demonstradas através do fluxograma abaixo.

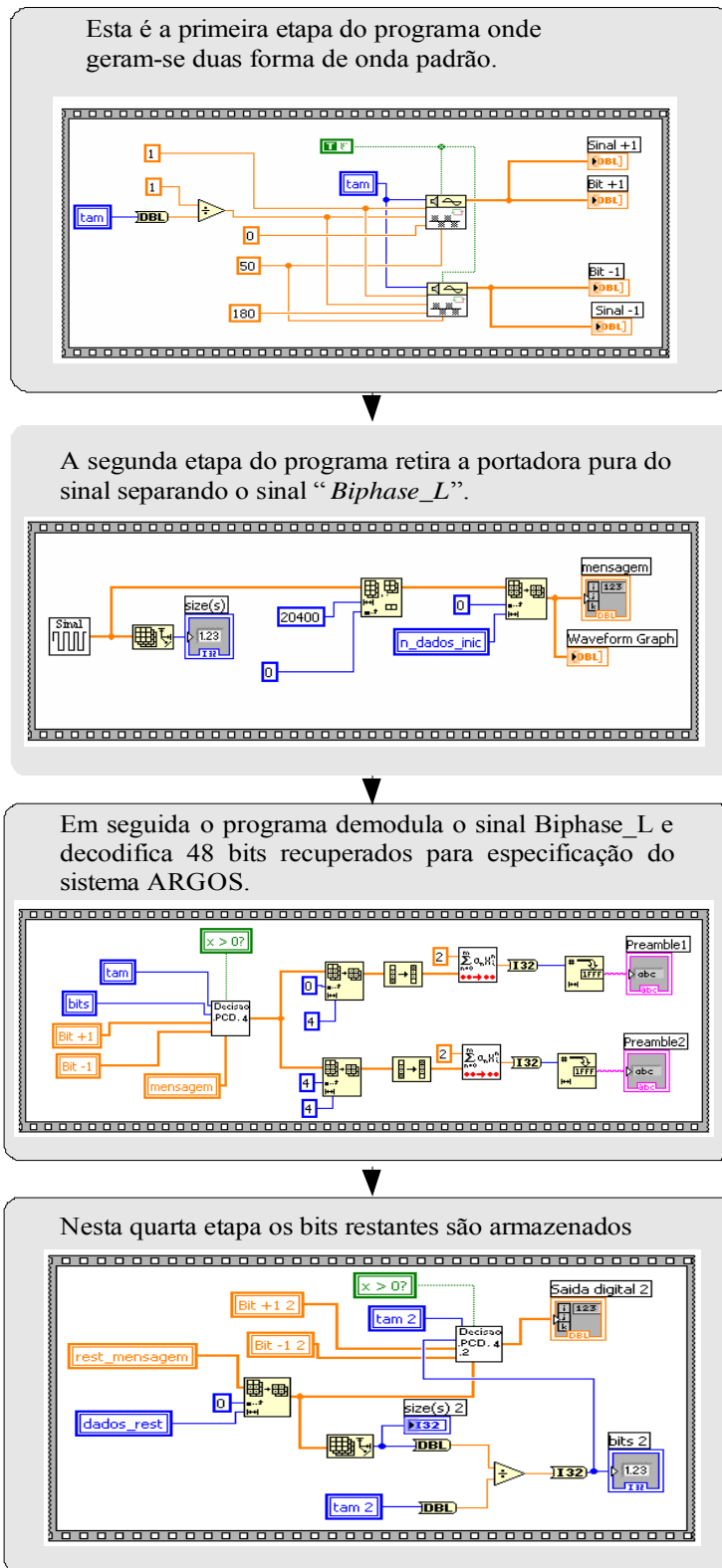


Figura 2.8 – Fluxograma do “software” desenvolvido que contém o Demodulador BPSK.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS

Com a implementação do demodulador “BPSK” foram feitas algumas simulações para testar sua funcionalidade. Este “software” foi testado em conjunto com o banco de homologação e atendeu satisfatoriamente a recuperação dos bits enviados das PCDs. Como o demodulador foi utilizado no bando de homologação do INPE, foram feitas algumas modificações no “software” em função das especificações do sistema Argos. Estas modificações seguem algumas características expressas na tabela 2.1. A seguir são demonstrados na figura 2.7 os resultados obtidos :

The image shows a software interface with various input fields and a digital output display. The parameters are as follows:

| Parameter | Value |
|----------------------|-------|
| Preamble1 | F |
| NPF | 16383 |
| Preamble2 | F |
| ECC | 6 |
| Preamble3 | F |
| Preamble4 | E |
| Preamble5 | 2 |
| Preamble6 | F |
| # blocos | 8 |
| # bits 2 | 256 |
| parity | 1 |
| Message Length Field | F |

The digital output, labeled "Saída digital 2", consists of 16 bits: 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0.

Figura 2.9 – Dados recuperados e utilizados no Banco de Homologação do INPE.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O estudo dos aspectos gerais do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados foi importante para se ter idéia da abrangência do projeto. Em seguida iniciou-se o estudo da teoria de telecomunicações e consertou-se o último estágio do Demodulador de “*BPSK*”, ainda em desenvolvimento, contendo os filtros casados capazes de recuperar os bits enviados pelas PCDs.

Para o futuro espera-se que o SBCD, em particular o INPE, tenha um Demodulador de “*BPSK*” com recuperação de portadora implementado em linguagem C, adaptável sem dificuldades a protocolos de comunicações e diferentes tipos de computadores onde for necessário ser instalado.

REFERÊNCIAS

- [1] *Centre National d'Etudes Spatiales, CNES. ARGOS PLATFORM TRANSMITTER TERMINALS: General Specifications and certification.* Versão2: Julho 1988. 32p.
- [2] *National Instruments Corporation, NIC. Introduction to LabVIEW CD-ROM.* 2004.
- [3] *National Instruments Corporation, NIC. (EBook - PDF - Engineering) LabVIEW Function and VI Reference Manual.* Maio de 1997. 689p .
- [4] *Rae, JCP. Detector de Sinais para os Satélites do Sistema Brasileiro de Coleta de dados usando Análise Espectral Digital.* Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. 2005. 123p.
- [5] *Simon Haykin. Sistemas de Comunicação Analógicos e Digitais.* 4^a Edição.2004. 837p.
- [6] *John G.Proakis. Digital Communications.*1983.608p.
- [7] *José Luiz Boldrini. Álgebra Linear.* 3^a Edição.1980.411p.