

Transponder de Coleta de Dados para um Nano-Satélite do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais

João Carlos Pécala Rae¹
Manoel Joseane Mafra de Carvalho¹
Sammuel Rubens Amaro de Oliveira Reis¹
Hélio de Sousa Peres¹
Marcelo Fonseca Barbalho¹
Érica Spencer Albuquerque¹
Rafael Araújo de Medeiros¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
R. Carlos Serrano, 2073 - Lagoa Nova - 59076-740 - Natal - RN, Brasil
{jcprae, manoel, sammuelreis, heliosp, mfonseca, spencer, rafaelma}@crn2.inpe.br

Abstract. This work aims to propose a model of Nano-Satellite Transponder with: low power consumption; high reliability; reduced dimensions and onboard processing. This project also, aims the qualification and training of human resources in strategic areas of the Brazilian space sector, and for so is supported by CNPq and AEB. The main goals proposed for this project in relation to Brazilian satellites SCD1 and SCD2, are to modify: the signal processing from a technology that is currently analogue to a digital technology in order to increase the range of applications of the transponder; to modify the component technology from discrete components to integrated ones, to reduce size and the launching costs. The Project uses ICs from manufacturers whose quality has been proved by certified organizations, but not necessarily certified to be used in the space. The goal is to dramatically reduce the cost of the components of the transponder.

Palavras-chave: Transponder Digital, Formação de Recursos Humanos, Sensoriamento Remoto.

1. Introdução

A operação do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais (SBCDA) iniciou-se em 1993 e este atualmente é composto: pelo conjunto dos Satélites de Coleta de Dados SCD1 e SCD2; pela Rede de cerca de 800 Plataformas de Coleta de Dados (PCD) instaladas no Território Brasileiro; pelo Centro de Missão de Natal-RN e pelas Estações de Recepção dos Sinais de Satélite de Cuiabá-MT e Alcântara-MA. Este Sistema tem o objetivo de coletar dados ambientais para que possam ser processados, armazenados e transmitidos para Usuários em tempo real. Com estes dados os usuários podem realizar a previsão do tempo, estudar as correntes oceânicas, realizar planejamento agrícola, rastrear embarcações e outras aplicações, como se pode observar em Tude (1986).

O Satélite, através do equipamento Transponder, recebe sinais transmitidos pelas PCDs em uma faixa determinada de frequência UHF, modula a informação e em seguida a transmite em outra faixa de frequência Banda-S às Estações Terrestres de coleta de dados do INPE, onde esta é destinada ao Centro de Processamento e Distribuição.

Os Satélites SCD1 e SCD2, já estão em operação a 19 e 15 anos, respectivamente, e próximos do final da vida útil, logo para manter a continuidade do SBCDA é necessário o desenvolvimento de novos satélites para compor o seu segmento espacial. Neste contexto, o INPE criou um projeto para desenvolver um Transponder de Coleta de Dados que possa ser embarcado a bordo de futuros Nano-Satélites desenvolvidos para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais, que também tem como objetivo: aplicar novas tecnologias digitais de telecomunicações e processamento de sinais, contribuindo para a continuidade do Sistema e para a formação, qualificação e capacitação de Recursos Humanos em áreas estratégicas do setor espacial brasileiro por meio da contratação de bolsistas graduados e graduandos de cursos superiores de instituições de ensino ligadas a área de tecnologia, em especial Engenharia Elétrica.

2. Método Proposto

De acordo com Ipolito Jr. (2008), Transponder é um dispositivo eletrônico do Satélite que recebe o sinal de *uplink*, amplifica, processa o sinal (caso necessário), e em seguida, formata e transmite o sinal de volta à Terra. A figura abaixo mostra, em diagrama de blocos, o esquema utilizado para a realização do projeto Transponder SBCDA.



Figura 1: Diagrama em blocos do Transponder SBCDA

A seguir explicita-se a operação do Transponder: Cada uma das PCD's envia, em um intervalo de tempo definido, um sinal, com as informações ambientais coletadas, na frequência de UHF em 401.635 MHz. Devido ao efeito *Doppler* da órbita do satélite, e aos desvios dos seus osciladores os sinais das PCDs chegam ao satélite como uma "nuvem" de sinais de frequência aleatórios que ocupa a faixa de UHF de 401.635 ± 30 kHz. Estes sinais chegam ao satélite com uma potência na faixa de -123 dBm a -98 dBm, são captados por uma antena UHF e enviados ao *front-end* do transponder. No Transponder o sinal passa por um filtro passa-faixa de microfita, desenvolvido com a estrutura em fractal, devido a sua economia de espaço na frequência de operação, de acordo com Araujo, T.C. (2012). O Receptor do transponder tem uma arquitetura heterodina que, de acordo com Mitola(2000), é caracterizado por fazer uma translação do canal RF para uma frequência intermediária, com o objetivo de facilitar o processo de filtragem. Ao final do primeiro estágio (*front-end*) o conjunto de sinais, após sofrer uma série de filtragens, ampliações e rebatimento, é digitalizado, em banda base, com a técnica sigma-delta, e encaminhado na forma serial para o bloco de processamento digital, separado nas suas duas componentes I e Q, conforme a figura a seguir:

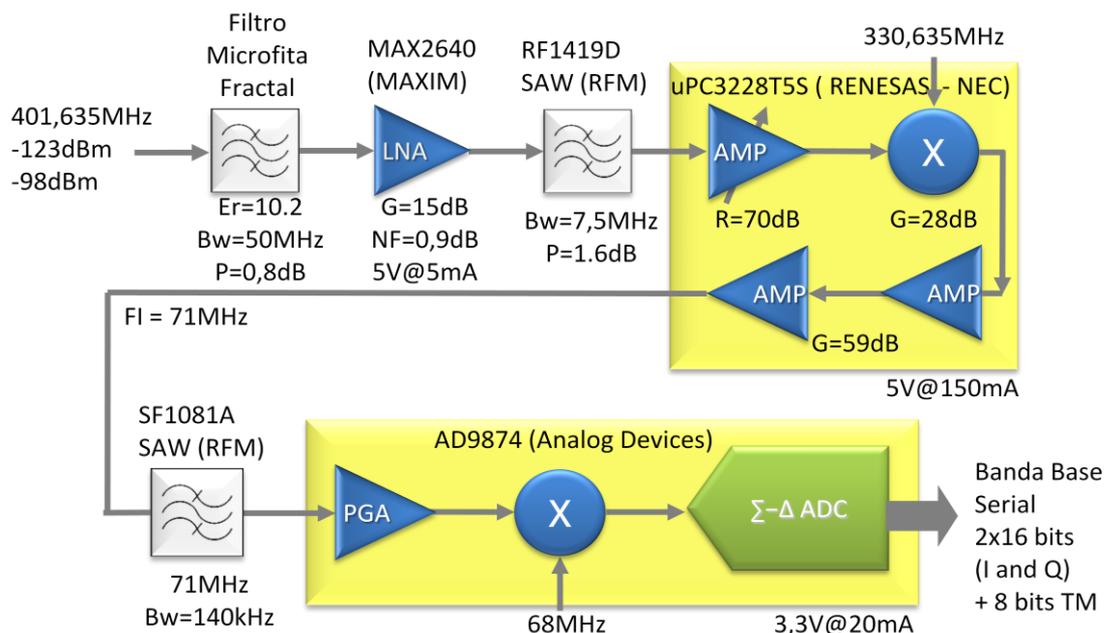


Figura 2: Diagrama em blocos do *Front-end*

Após a digitalização, os sinais são entregues ao processador digital que no nosso caso é um FPGA (*Field Programmable Gate Array*). De acordo com Maxfield (2004), o FPGA é um circuito integrado digital que contém blocos de lógica configurável com interconexões configuráveis entre estes blocos. Os sinais seriais seguem para o processador digital que irá transformar tanto a componente I quanto a componente Q em sinais paralelos. No próximo estágio cada componente passa por um filtro FIR e no DUC os sinais serão transladado de frequência base para uma frequência central de 95KHz. No próximo passo os sinais são filtrados e passam por uma etapa de rejeição de imagem, visando economizar potencia dos circuitos modulador e transmissor. O sinal na saída do processador digital está modulado em fase, digitalmente, uma portadora de frequência 24 MHz, e é então entregue ao Bloco *Up-Converter*. Ver figura abaixo do processador digital.

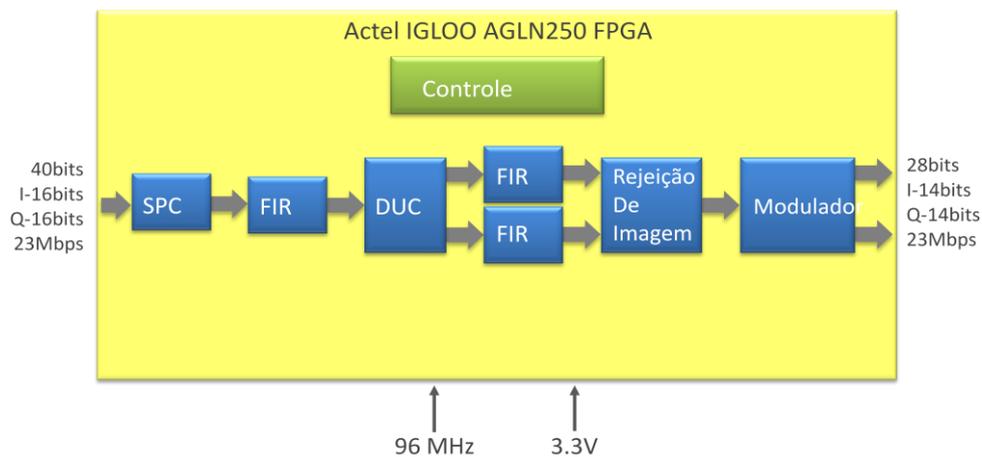


Figura 3: Diagrama em blocos do Processador Digital

No up-converter, os componentes I e Q são convertidos de digital para analógico no DAC AD9767 Analog Devices, em seguida passam por um filtro passa-faixa e são transladados para a Banda-S com uma frequência central de 2,26752 GHz e somados no modulador de quadratura ADL5372 da Analog Devices, que tem excelente Precisão de Fase e Balanço de Amplitude. O Transmissor proposto no projeto utiliza conversão direta pois Tuttlebee (2002) afirma que esta arquitetura simplifica o transmissor, além de trazer vantagens no tocante a filtros, rejeição de imagem, sendo ainda mais adequada para a implementação em Circuitos Integrados. No transmissor, o sinal filtrado é então Amplificado no CI ADL5323 da Analog Devices, que é um Amplificador com alta linearidade com 20 dB de ganho, e é enviado à Antena Transmissora Banda-S para recepção nas estações terrenas. O CI ADL5323 foi desenvolvido para aplicações Radio-Base Celular.

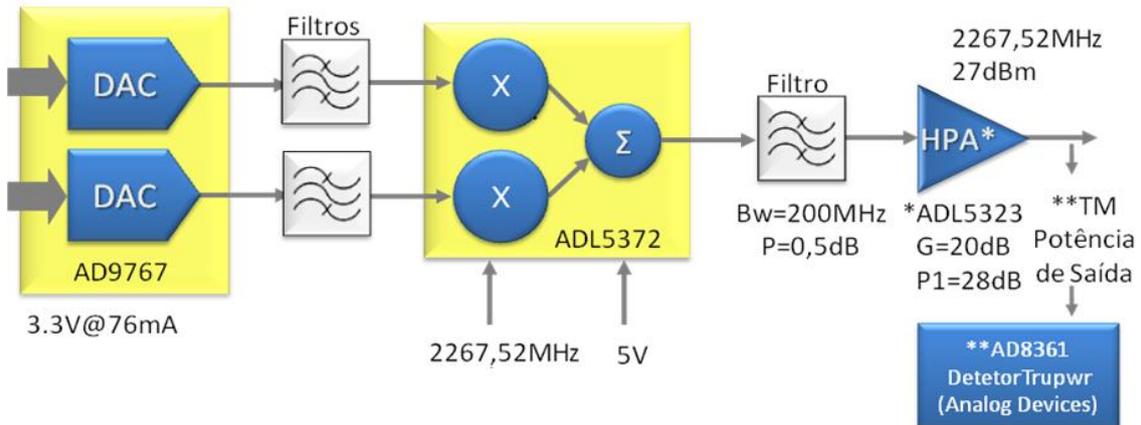


Figura 4: Diagrama em blocos do Up-Converter

Os Blocos de geração de frequências e distribuição de potência do Transponder estão apresentados abaixo e descritos conforme a seguir:

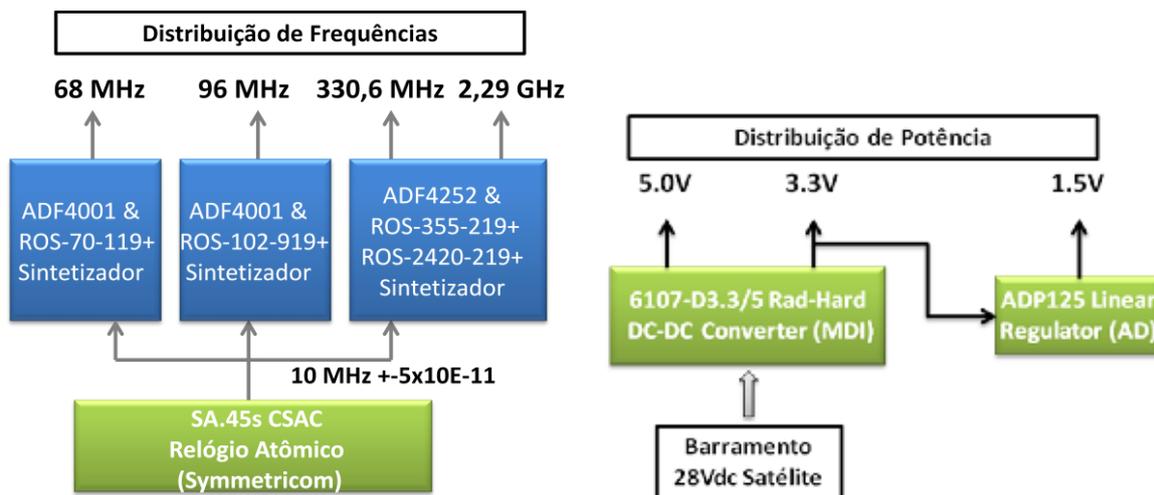


Figura 5: Diagrama de Blocos dos blocos de Distribuição de Frequência e Potência

O bloco de distribuição de frequência é um bloco importante para o funcionamento do transponder, pois é responsável por sintetizar sinais de frequência pré-estabelecidas que são usados para o clock interno do FPGA e translações de frequência no *up-converter* e *down-converter*. O SA.45s CSAC da Symmetricom, é um relógio atômico, de pequenas dimensões, com alta estabilidade e baixo consumo (menor que 115 mW), e é responsável por fornecer uma base de tempo estável de 10 MHz aos PLLs que irão sintetizar as frequências necessárias à correta operação do Transponder. Os PLLs que geram as Frequência de 68 MHz e 96 MHz são, cada um, constituídos por VCOs ligados por filtros em loop aos sintetizadores ADF4001 e os VCOs utilizados foram, respectivamente: o ROS-70-119+ e o ROS-102-919+ da Minicircuits. Para gerar as duas frequências mais alta utilizou-se um sintetizador duplo. Portanto com apenas um único CI (ADF4252) e dois VCOs (ROS-355-219+ e ROS-2420-219+) foi possível gerar as frequências de 330,635 MHz e 2,24352 GHz.

A fonte de energia da alimentação dos circuitos do Satélite vem de uma bateria que é carregada através do Painel Solar que é instalado no Satélite. A tensão de saída da bateria é de 28 V de tensão contínua. E a tensão de alimentação dos circuitos do transponder são: 5 V; 3.3V e 1.5V. Neste contexto surge o bloco de distribuição de Potencia que tem a função de

converter a tensão da bateria para os valores requeridos pelos dispositivos eletrônicos do transponder. No bloco de distribuição de potência utilizou-se um Conversor DC/DC híbrido 6107-D3.3/5 da MDI que tem resistência a radiação e alta confiabilidade. Este modelo pertence a uma família de conversores que é utilizada em aplicações espaciais. utilizou-se também o Regulador Linear ADP125 de Baixo *drop-out* da Analog Devices, responsável por fornecer a alimentação de 1,5 V ao bloco processador do Transponder;

3. Resultados

Todos os blocos que compõem o Transponder proposto já tiveram as suas placas de teste do modelo de *Breadboard* executadas e testadas de forma resumida. A figura a seguir apresenta-se as placas dos blocos de distribuição de potência e distribuição de frequência, que já estão testadas e funcionando perfeitamente. Ver figuras abaixo.

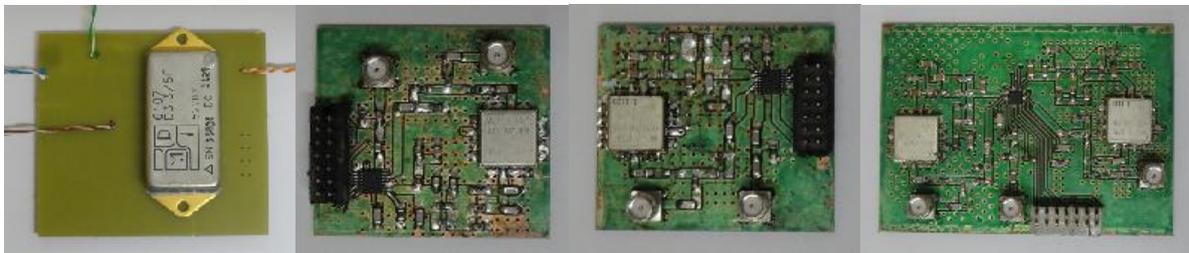


Figura 6: Conversor DC/DC 6107-D3.3/5 e PLLs para: 68 MHz; 96 MHz; 330 MHz e 2.26752 GHz.

Os blocos do *down-converter* e *up-converter* foram executados e testados individualmente e no estágio atual estão em fase de otimização de projeto. O conversor digital-analógico do *up-converter* está funcionando com desempenho degradado em relação às especificações e está sendo refeito. O bloco do processador digital está com o hardware executado e funcionando de acordo com o especificado. A programação da FPGA está em fase de execução. A figura a seguir apresenta as placas de circuito impresso que compõem o modelo *breadboard* do Transponder.

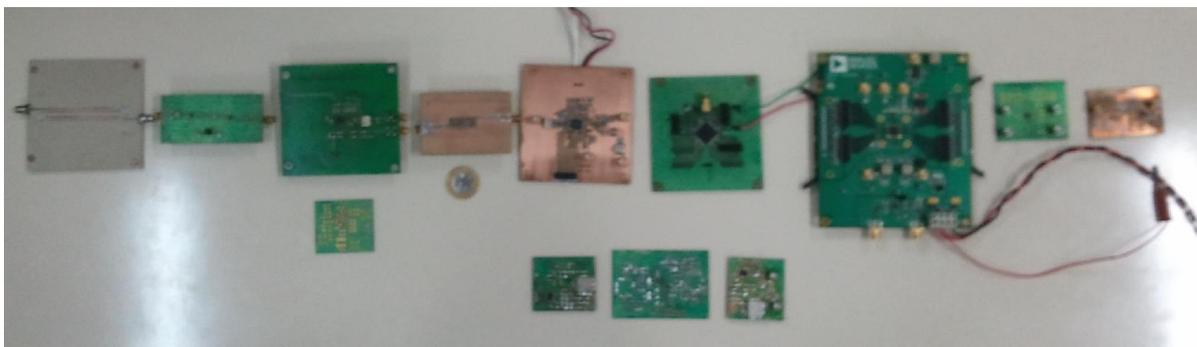


Figura 7: Circuitos do transponder dispostos conforme o Fluxo dos Sinais desde o filtro em fractal até o transmissor (da esquerda para a direita)

4. Conclusão

Até o presente momento os objetivos iniciais do projeto estão sendo alcançados. O projeto do Transponder está atingindo índices baixos de consumo de energia, na faixa de 6 W. A utilização de componentes integrados está apresentando bons resultados no que se refere a diminuição da área estimada das placas de circuito impresso, que inicialmente, para o futuro modelo de engenharia do Transponder, era estimado em 3 placas de 10x10 cm. No que se refere a confiabilidade, todos os CIs, utilizados são fabricados para aplicações que requerem confiabilidade, por exemplo: os filtros de entrada que são utilizados na área médica; o relógio atômico pode ser utilizado em aplicações militares; o transmissor é utilizado em aplicações de rádio-base, e outros. E acordo com Cavalcante (2011), o método de projeto utilizando um FPGA para realizar o processamento de dados a bordo de um Nano-Satélite, permite a realização de ajustes que promovam o aperfeiçoamento do Transponder, de modo que, em etapas subsequentes possa ser realizado o aumento da capacidade de processamento a bordo, o que permitirá a o aumento da capacidade do sistema e a utilização do Transponder em outras aplicações em coleta de dados, além do SBCDA. O também vem cumprindo seu objetivo de formação de recursos humanos na área espacial, no entanto de forma menos profunda e mais quantitativa, pois há uma razoável rotatividade de bolsistas, absorvidos rapidamente pelo mercado de trabalho, gerando inclusive alguns atrasos no desenvolvimento do projeto.

5. Referências

- [1] Tude, E. A. P. et al. **Análise do Sistema de Coleta de Dados MECB/SS**, São José dos Campos, 96 p. [INPE-3820-NTE/253]. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1986.
- [2] Ippolito Jr, I. J., **Satellite communications systems engineering: atmospheric effects, satellite link design, and system performance**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2008. 376 p.
- [3] Araújo, T.C. **Estudos e Projetos de Filtros Interdigital em Microfita para Aplicação Prática ao Transponder do Satélite ITASAT**. 2012. [CDU 621.372.54(043.3)]. Dissertação (Mestrado em Telecomunicações) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2012.
- [4] Mitola III, J., **Software radio architecture: object - oriented approaches to wireless systems engineering**. New York: John Wiley & Sons Ltd., 2000. 542 p.
- [5] Maxfield, C.M., **The design Warrior's Guide to FPGAs**. Burlington: Newnes 2004. 542p.
- [6] Tuttlebee, W., **Software defined radio - enabling technologies**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 2002. 402 p.
- [7] Cavalcante, V. A. **Processador digital embarcado em transponder especificado para o SBCD**, Natal.