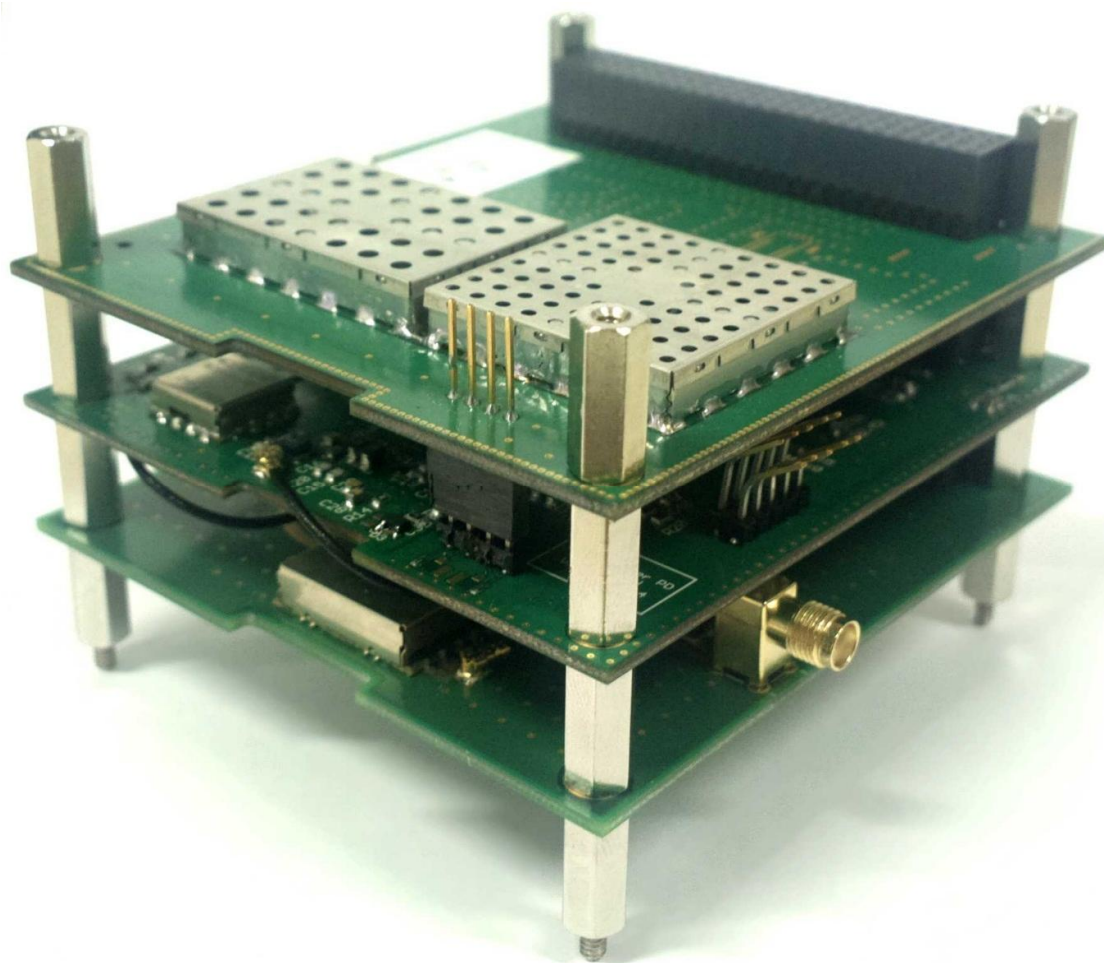


# MANUAL

## TRANSPONDER DCS





**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – Centro Regional Nordeste (CRN)**

**Rua Carlos Serrano, 2073, Lagoa Nova. CEP: 50976-740. Natal /RN - Brasil**

**Telefone: +55 84 3204 9100/9111**

**E-mail: [transponderdcs@crn.inpe.br](mailto:transponderdcs@crn.inpe.br)**

**Internet: [www.crn2.inpe.br](http://www.crn2.inpe.br)**

**VERSÃO 01**

**Novembro, 2014**

## REGISTRO DE PROPRIEDADE DO DOCUMENTO

<b>Autores/Revisores</b>	<b>Organização</b>	<b>Data</b>	<b>Assinatura</b>
José Marcelo Lima Duarte	INPE/CRN	05/11/2014	
Ana Carolina Salvador Ourique	INPE/LSI-TEC	05/11/2014	
Pedro Silva Aquino	INPE/CRN	08/11/2014	
João Carlos Pécala Rae	INPE/CRN	10/11/2014	
Manoel Jozeane Mafra de Carvalho	INPE/CRN	11/12/2014	

<b>Aprovação</b>	<b>Organização</b>	<b>Data</b>	<b>Assinatura</b>
Manoel Jozeane Mafra de Carvalho	INPE/CRN	08/11/2014	
João Carlos Pécala Rae	INPE/CRN	10/11/2014	



# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>5</b>
<b>RESUMO DO SISTEMA.....</b>	<b>6</b>
1. APLICAÇÃO .....	6
2. FUNÇÕES .....	6
3. CARACTERÍSTICAS .....	6
<b>CUIDADOS NA OPERAÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>ESPECIFICAÇÕES .....</b>	<b>7</b>
<b>DESCRIÇÃO FUNCIONAL.....</b>	<b>8</b>
<b>INTERFACE I2C .....</b>	<b>10</b>
1. INTRODUÇÃO .....	10
2. DEFINIÇÕES .....	11
3. ENDEREÇOS .....	11
4. TELECOMANDOS E TELEMETRIAS .....	12
<i>FPGA.....</i>	<i>12</i>
<i>MCP3425 – Analogic to digital converter.....</i>	<i>14</i>
<i>LM92 - Temperature sensor.....</i>	<i>14</i>
<b>DETALHES DOS CONECTORES .....</b>	<b>16</b>
<b>ESPECIFICAÇÕES FÍSICAS .....</b>	<b>19</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de blocos do Transponder DCS .....	9
Figura 2 - Descrição do protocolo I2C.....	10
Figura 3 - Algoritmo para leitura da sequência de 2048 amostras do ADC .....	13
Figura 4 - Vista superior do Transponder DCS.....	16
Figura 5 - Vista lateral do Transponder DCS.....	18
Figura 6 - Dimensões do Transponder DCS, vista superior .....	19
Figura 7 - Dimensões do Transponder DCS, outras vistas.....	20

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Banco de Registradores do FPGA.....	15
Tabela 2 - Utilização dos Headers no Transponder DCS .....	17
Tabela 3 - Descrição dos pinos para Header H1 .....	17
Tabela 4 - Descrição dos pinos para Header H2 .....	18
Tabela 5 - Característica Mecânicas.....	19

# RESUMO DO SISTEMA

## 1. APLICAÇÃO

Transponder para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais (SBCDA) destinado à nano-satélites no padrão Cube Sat.

## 2. FUNÇÕES

O Transponder recebe sinais numa banda de 60 kHz, na frequência de 401,635 MHz com nível de potência entre -128 e -88 dBm. Converte o sinal recebido para a frequência de 95 kHz. Com o sinal convertido, modula em fase uma portadora mantendo o nível RMS (*Root Means Square*) do sinal de fase em  $1,8/\sqrt{2} \pm 0,2$  rad. Envia o sinal PM (*Phase Modulation*) na frequência de 2,26752 GHz com potência de 26 dBm.

Prover telemetrias para o computador de bordo com objetivo de fornecer informações sobre o estado do sistema, e caracterizar o sinal RF de entrada.

## 3. CARACTERÍSTICAS

- Consumo de 4.3W;
- Figura de ruído de 3 dB;
- Relógio atômico, excelente estabilidade de curto prazo (envelhecimento  $<3e-10$ /mês);
- Potência de saída de 26 dBm;
- Conector SMA para sinal RF de entrada e saída;
- Telemetria e Telecomando via interface I2C ;
- Telemetria de nível RMS da saída do receptor, da potência do sinal de saída e temperatura do HPA (*High Power Amplifier*).

## **CUIDADOS NA OPERAÇÃO**

**Energizar o sistema sem uma carga conectada a saída de RF, resulta na queima imediata do amplificador de saída.**



## ESPECIFICAÇÕES

Parâmetros	Min	Tip	Max	Unid	Condição
ENTRADA RF Frequência Banda Potência do sinal (50 $\Omega$ )		401,635 62	-75	MHz KHz dBm	
SAÍDA RF Frequência Banda Potência do sinal		2267,52 1,25 26		MHz MHz dBm	50 $\Omega$ Load
FONTE DE POTÊNCIA Fonte tensão AVDD Fonte tensão BVDD Corrente suprida ( $I_{AVDD}$ ) Corrente suprida ( $I_{BVDD}$ )		5 3,3 632 370		V V mA mA	Sensor de temperatura lig. Sensor de temperatura lig.
INTERFACE I2C Tensão de operação Taxa de transferência		3,3	400	V kB/s	

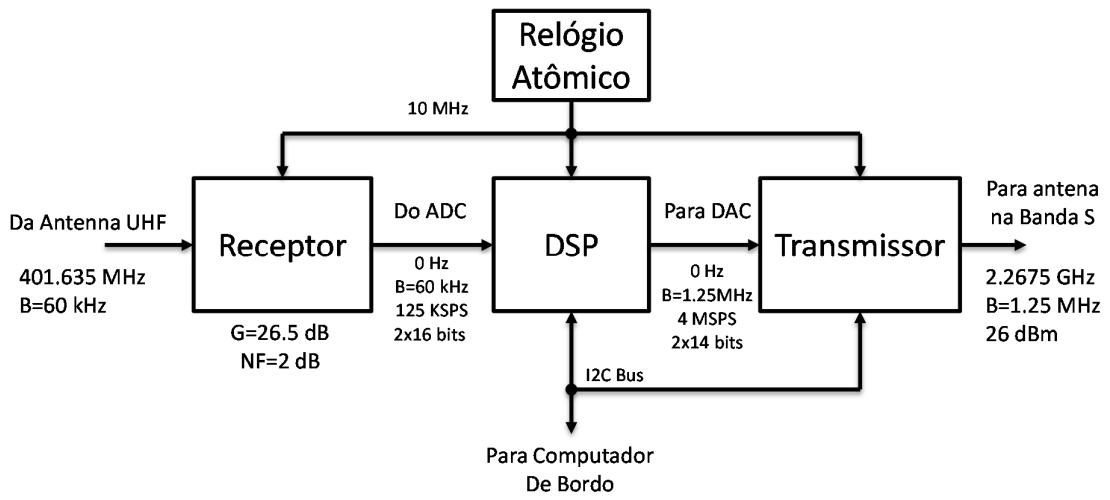
## DESCRIÇÃO FUNCIONAL

O Transponder DCS é composto por um receptor na banda UHF, uma unidade de processamento digital de sinal (*Digital Signal Processing* - DSP) e um transmissor na banda-S. O relógio atômico SA.45s da Microsemi fornece a frequência de referência para os PLL (*Phase Locked Loop*) internos, conferindo uma alta estabilidade nas frequências geradas. A comunicação com o computador de bordo é feita através de um barramento I2C, e pelo controle de ligamento/desligamento da alimentação do Transponder, sendo este o único método para ativar e desativar o sistema. A Figura 1 apresenta o diagrama de blocos do Transponder DCS.

O receptor amplifica, filtra e digitaliza em banda base o sinal de entrada. Suas características são frequência de entrada de 401.635 MHz, ganho de 26.5 dB, NF (*Noise Figure*) de 3 dB, taxa de amostragem de 250 kS/s, banda passante 1 dB de 125 kHz, 16 bits de resolução para o sinal I e Q, com fundo de escala do ADC (*Analog to Digital Converter*) de -30 dBm.

A unidade de processamento converte o sinal do ADC para frequência de 95 kHz e, com este sinal, modula em fase uma portadora em banda base. O índice de modulação é mantido constante, com o sinal de fase em  $1.8/\sqrt{2} \pm 0,2$  rad RMS, o que resulta em uma banda de aproximadamente 1,25 MHz. Além da modulação PM, a unidade de processamento também é responsável por configurar os sintetizadores de frequência do receptor e do transmissor, e por prover telemetrias para o computador de bordo. A principal telemetria fornecida é o valor RMS do sinal de saída do ADC, que permite diagnosticar o funcionamento do Receptor. O FPGA (*Field Programmable Gate Array*) A3PE1500 da Microsemi foi escolhido como dispositivo para implementação do DSP devido ao seu baixo consumo e por ser baseado em memória FLASH. Isto lhe confere uma maior robustez a problemas de *single event upsets*.

O transmissor executa a conversão digital Analógica do sinal PM, converte a frequência para banda-S e amplifica o sinal para potência de 26 dBm. Assim como o DSP, o transmissor fornece duas telemetrias para o computador de bordo: a potência detectada em sua saída e a temperatura do HPA. O sensor de temperatura foi implementado com o circuito integrado LM92 da Texas Instruments, e o nível da potência é fornecido pelo MCP3425 da Microchip.



**Figura 1 - Diagrama de blocos do Transponder DCS**

# INTERFACE I2C

## 1. INTRODUÇÃO

O Transponder DCS utiliza um barramento I2C para interface com o computador de bordo. O I2C é usado em Cube Sats por permitir a comunicação entre diversos dispositivos mestres e escravos por meio de apenas duas linhas: uma de dados serial **SDA**; e uma de *clock* **SCL**, ambas dotadas de resistor de *pull-up*. Os comandos deste barramento são detalhados na Figura 2 sendo a compreensão desses necessária para o entendimento do protocolo de comunicação entre Transponder e Computador de Bordo.

O domínio dos comandos deste barramento (detalhados na Figura 2) é necessário para o entendimento deste documento.

O barramento I2C do Transponder DCS opera com tensão de 3.3V. Na configuração padrão, não há resistor de pull-up no Transponder. Entretanto, a adição de um resistor de pull-up pode ser requisitada pelo cliente. Existem três dispositivos I2C escravos no Transponder, o FPGA, o sensor de temperatura do HPA, e o sensor de potência de saída. Nenhum deles utiliza “*clock stretching*”.

Para facilitar o processo de integração do Transponder com o satélite é disponibilizada uma biblioteca em linguagem de programação C (`dcs_transponder.h`) com funções, constantes e variáveis definidas para os telecomandos e telemetrias do sistema.

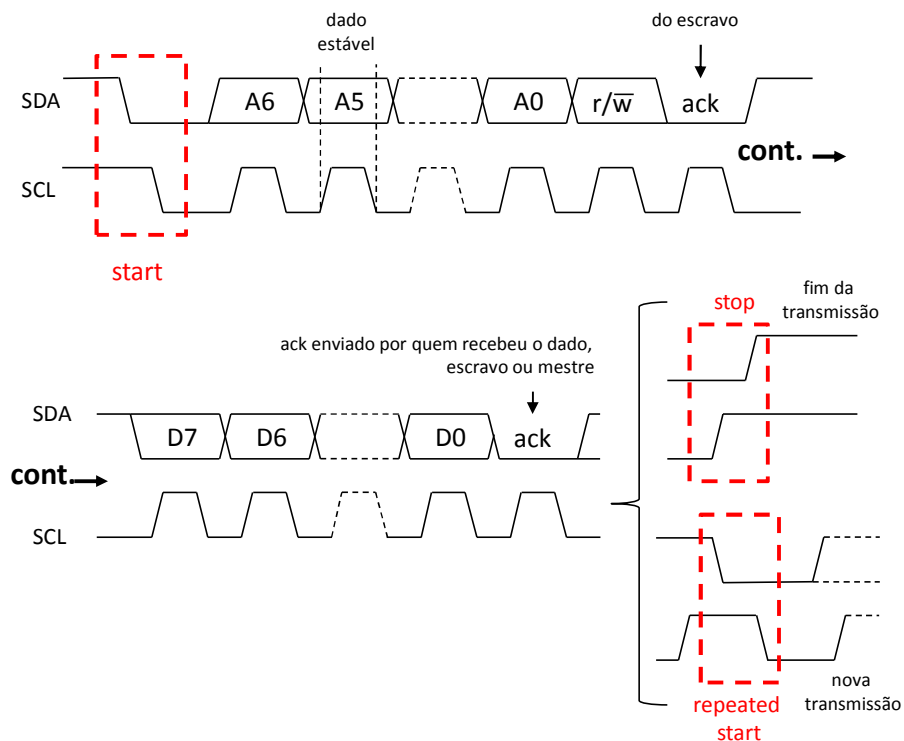


Figura 2 - Descrição do protocolo I2C

## 2. DEFINIÇÕES

Alguns dados de telemetria e telecomando possuem 16 bits. Esses dados são divididos em dois Bytes. O byte mais significativo é chamado de Higher Data Byte (HDB) e o menos significativo de Lower Data Byte (LDB).

Para atender a todos os dispositivos presentes no barramento I2C do Transponder, 3 sequências distintas de operação de leitura e escrita precisam ser definidas ou configuradas na biblioteca responsável pelo controle da interface I2C do sistema de gestão de bordo:

- I2C WriteRead – S+ADDR(W)+DATA\_1+Sr+ADDR(R)+DATA\_2+...+DATA\_N+P
- I2C Write – S+ADDR(W)+DATA\_1+DATA2+...+DATA\_N+P
- I2C Read – S+ADDR(R)+DATA\_1+...+DATA\_N+P

Em que,

- **S** – Start;
- **Sr** – Repeated Star;
- **ADDR(W/R)** – Endereço do componente slave;
- **DATAn** – Dado lido ou escrito;
- **P** – Stop;
- **N** – Número de palavras de 8 bits transferidas no barramento.

Constantes foram criadas na biblioteca `dcs_transponder.h` com nomes de dispositivos escravos, telecomandos e telemetrias, e contendo o endereço I2C do escravo ou as palavras que precisam ser transferidas para enviar o respectivo telecomando ou acessar a respectiva telemetria. A seguinte notação é utilizada aqui para representar essas constantes.

- **NOME\_DA\_CONSTANTE** - {DATA\_1, ..., DATA\_N}

Em que, o termo a direita do caractere “-“ corresponde ao array de palavras de 8 bit armazenado pela constante.

## 3. ENDEREÇOS

Os endereços dos 3 dispositivos escravos que compõe o subsistema do Transponder são dados pelos seguintes nomes e valores:

- **TRANSPONDER\_ADDR** – {1}
- **MCP3425\_ADDR** – {104}
- **LM92\_ADDR** – {72}

#### 4. TELECOMANDOS E TELEMETRIAS

##### *FPGA*

O FPGA possui um banco de registradores internos acessível pela interface I2C , ver Tabela 1. Numa operação de escrita do computador de bordo, a primeira palavra transferida sobrescreve o valor do ponteiro de endereço para acesso ao banco. A segunda palavra, se existente, é escrita no banco no endereço apontado. O ponteiro é incrementado automaticamente após cada palavra escrita ou lida no banco, permitindo a transferência de dados consecutivos em endereços subsequentes. Um comando “Repeated Start” mantém o valor do ponteiro, mas um “Stop” zera o valor. Por isso a operação de leitura se dá com a sequência I2C WriteRead, sendo DATA\_1 o endereço inicial da leitura no banco, DATA\_2 a palavra lida no endereço DATA\_1, e DATA\_N a palavra lida no endereço DATA\_1+N-2.

Existem quatro telecomandos no FPGA acionados pela sequência I2C Write com N=2, e definidos na Tabela 1. As variáveis para auxílio na implementação desses comandos são:

- **OUTPUT\_TONE\_95KHZ** - {0x02,0x03}
- **PM\_AND\_AGC\_OFF** - {0x02,0x06}
- **PM\_MODULATION\_OFF** - {0x02,0x07}
- **NORMAL\_MODE** - {0x02,0x40}

O FPGA possui duas telemetrias. A primeira, acionada pela sequência I2C Read com N=2, corresponde ao valor RMS da saída do ADC. A segunda corresponde à leitura de uma sequência de 2048 amostras do ADC. A leitura desta requer que o algoritmo apresentado na Figura 3 seja executado.

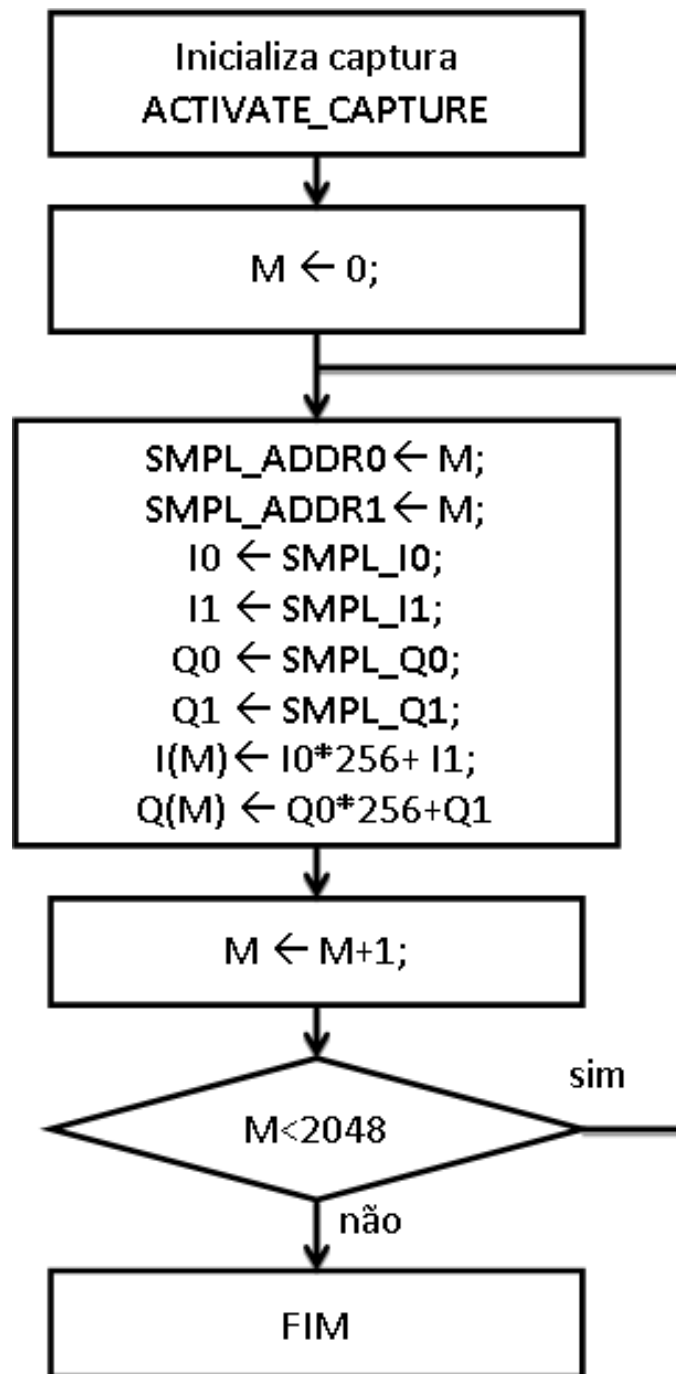


Figura 3 - Algoritmo para leitura da sequência de 2048 amostras do ADC

*MCP3425 – ANALOGIC TO DIGITAL CONVERTER*

Este dispositivo possui um telecomando que serve para tirar o dispositivo do modo de economia de energia e realizar uma medida utilizando a sequência I2C Write com N=1.

- **START\_CONVERSION** – {0x88}

Após executar o telecomando acima é preciso fazer uma leitura utilizando a sequência de I2C Read e o dispositivo vai retornar um valor de 24 bits dividido em 3 Bytes. Sendo eles apresentados na seguinte ordem **HDB, LDB, Configuration**.

*LM92 - TEMPERATURE SENSOR*

Este dispositivo possui 2 telecomandos, executados com a sequência I2C Write com N=2.

- **SHUTDOWN\_LM92** – {0x01,0x01}
- **WAKE\_UP\_LM92** – {0x01,0x00}

E uma telemetria, executada com a sequência I2C WriteRead com N=3.

- **READ\_TEMPERATURE** – {0x00}

Que retorna um valor de 16 bits compostos da seguinte forma:

b15	b14	b13	b12	b11	b10	b9	b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Signal	MSB	Bit10	Bit9	Bit8	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	LSB	X	X	X

Divididos em bits de estado (b2-b0) e bits de dados de temperatura utilizando complemento a dois (b3-b15). E transmitidos através de dois Bytes, **HDB** e **LDB**.

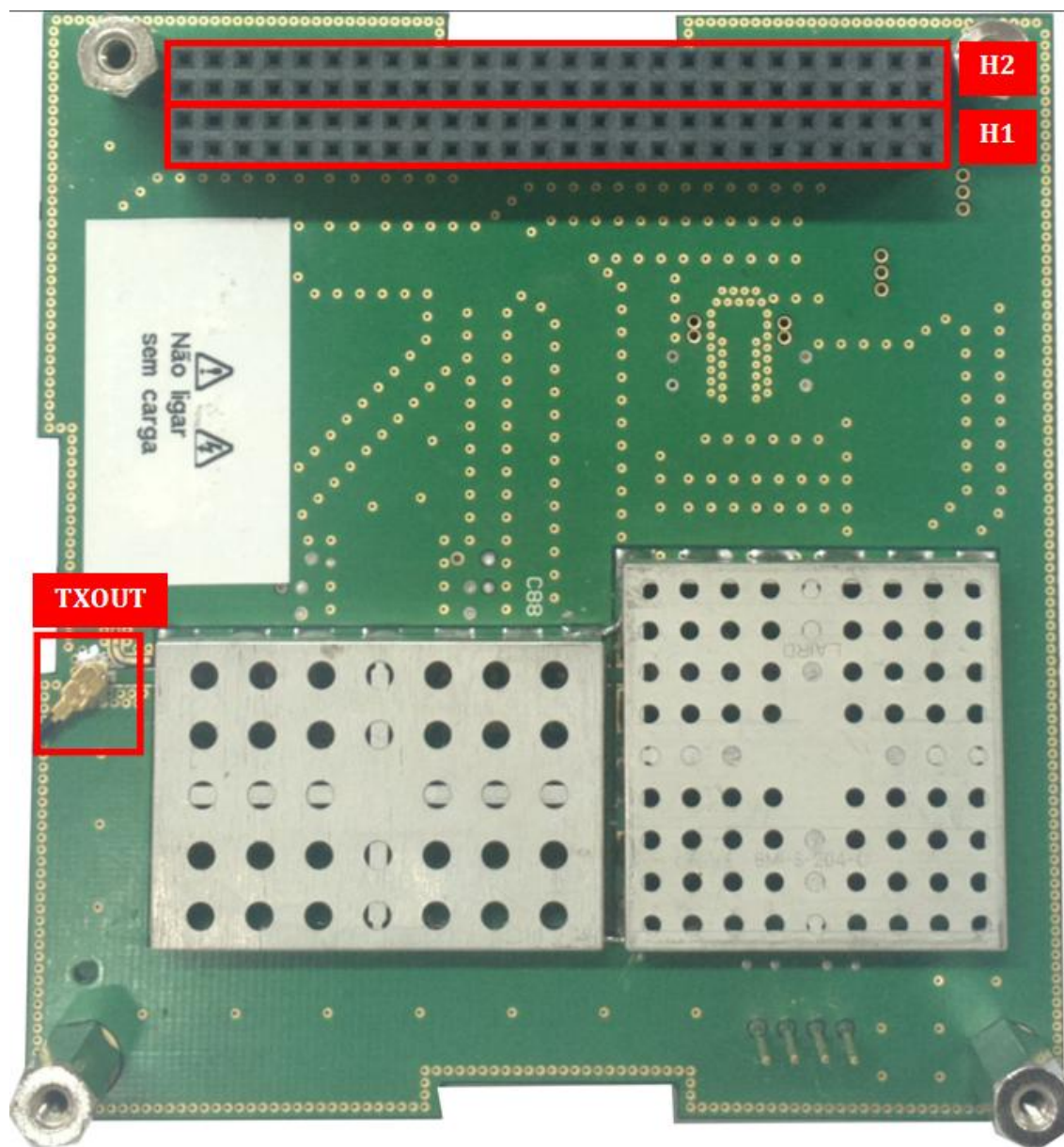


**Tabela 1 - Banco de Registradores do FPGA**

End. (HEX)	Nome	Bits	Acessibilidade	Valor padrão	Descrição
0x00	RMS0	[7:0]	Leitura	X	Valor RMS de saída do ADC armazenado. Bits MSB [15:8]
0x01	RMS1	[7:0]	Leitura	X	Valor RMS de saída do ADC armazenado. Bits LSB [7:0]
0x02	CONTROL	[7]	Leitura	0	Sem uso
		[6]	Escrita/Leitura		Ativa a captura de uma sequência de 2048 amostras do ADC. Retorna para zero logo após escrita.
		[5]	Leitura		Indica se uma captura de amostras do ADC está em andamento.
		[4]	Leitura		FPGA PLL lock
		[3]	Leitura/Escrita		Reservado para uso futuro
		[2:0]	Leitura/Escrita		011: Enviar tom em 95 KHz para o DAC em 4 MSPS/s 110: Ignorar modulação PM e AGC 111: Ignorar modulação PM Outros: Operação normal
0x03 até 0x06	RESERVADO		Leitura/Escrita		Reservado para uso future.
0x07	SMPL_ADDR0	[7:0]	Leitura	0	Sem uso
		[2:0]	Escrita/Leitura	0	Endereço para leitura da seq. de amostras do ADC. Bits [10:8]
0x08	SMPL_ADDR1	[7:0]	Escrita/Leitura	0	Endereço para leitura da seq. de amostras do ADC. Bits [7:0]
0x09	SMPL_I0	[7:0]	Leitura	X	Amostra do canal I do ADC endereçada por SMPL_ADDR. Bits [15:8]. Representação em Complemento a 2.
0x0a	SMPL_I1	[7:0]	Leitura	X	Bits [7:0] de SMPL_I
0x0b	SMPL_Q0	[7:0]	Leitura	X	Amostra do canal Q do ADC endereçada por SMPL_ADDR. Bits [15:8]]. Representação em Complemento a 2.
0x0c	SMPL_Q1	[7:0]	Leitura	X	Bits [7:0] de SMPL_Q

## DETALHES DOS CONECTORES

A Figura 4 mostram as vistas do Transponder DCS, com seus conectores devidamente indicados. A descrição de todas as conexões indicadas é dada a seguir.



**Figura 4 - Vista superior do Transponder DCS**

**TXOUT** – Saída do Transmissor (2,26752 GHz com nível potência 26dBm). Neste ponto encontra-se conectado um adaptador UMC-SMA. Este adaptador tem como objetivo evitar o desgaste do conector UMC. Recomenda-se fazer uma única substituição de cabo nesta

interface. Além disso, deve-se **SEMPRE conectar uma carga a esta saída para evitar queimar o amplificador de saída.**

**H1 e H2** – Header principal do Transponder DCS. A numeração e utilização dos pinos segue o padrão apresentado na Tabela 3, Tabela 3 e Tabela 4.

**Tabela 2 - Utilização dos Headers no Transponder DCS**

H2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51
H1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51

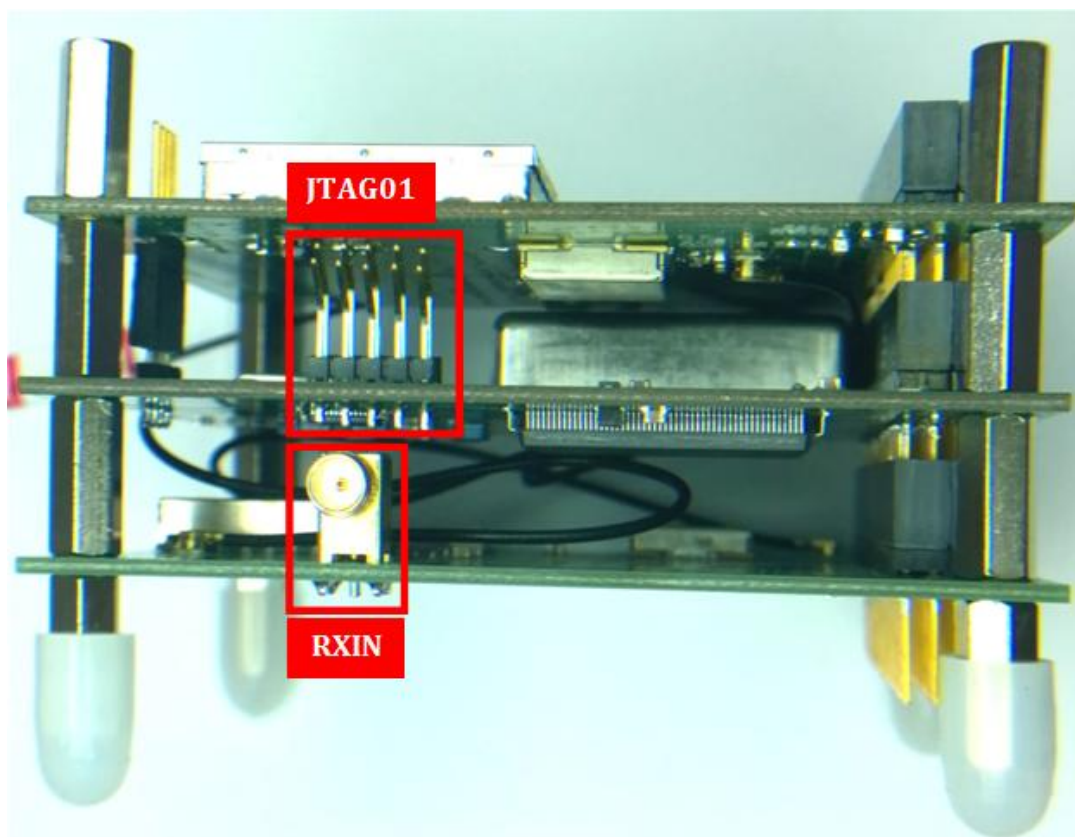
**Tabela 3 - Descrição dos pinos para Header H1**

Pino	Sinal	Definição
2	PAYLDO	Reservado para utilização futura (carga útil)
3	CANH	CAN bus high
4	PAYLD1	Reservado para utilização futura (carga útil)
5	PAYLD2	Reservado para utilização futura (carga útil)
6	PAYLD3	Reservado para utilização futura (carga útil)
7	CLK_SPI	Clock SPI
8	CLK_SPI	Clock SPI (redundância)
9	DT_SPI	Data SPI
10	DT_SPI	Data SPI (redundância)
11	ENB_471M	Enable 471MHz
12	ENB_471M	Enable 471MHz (redundância)
13	ENB_2G	Enable 2,26752 GHz
14	ENB_2G	Enable 2,26752 GHz (redundância)
15	PAYLD4	Reservado para utilização futura (carga útil)
16	PAYLD5	Reservado para utilização futura (carga útil)
21	I2C_SCL_SEC	Secondary I2C clock line Payload
22	I2C_SCL_SEC	Secondary I2C clock line Payload (redundância)
23	I2C_SDA_SEC	Secondary I2C data line Payload
24	I2C_SDA_SEC	Secondary I2C data line Payload (redundância)
47	5V_SW1	Switchable 5V #1 delivery by external power system
48	3V3_SW1	Switchable 3V3 #1 delivery by external power system
49	5V_SW2	Switchable 5V #2 delivery by external power system
50	3V3_SW2	Switchable 3V3 #2 delivery by external power system
51	5V_SW3*	Switchable 5V #3 delivery by external power system*
52	3V3_SW3*	Switchable 3V3 #3 delivery by external power system*

\* pinos utilizados pelo Transponder DCS. A mudança pode ser requisitada pelo cliente.

**Tabela 4 - Descrição dos pinos para Header H2**

Pino	Sinal	Definição
29	DGND	Terra Digital
30	DGND	Terra Digital
31	GND	Terra Analógico
32	DGND	Terra Digital
45	V_BAT	Unregulated battery supply delivery by external power sytem
46	V_BAT	Unregulated battery supply delivery by external power sytem
47	#	Reservado para uso futuro
48	#	Reservado para uso futuro
49	3V3_SW1	Switchable 3V3 #1 delivery by external power system (redundância)
50	#	Reservado para uso futuro
51	3V3_SW2	Switchable 3V3 #2 delivery by external power system (redundância)
52	3V3_SW1	Switchable 3V3 #1 delivery by external power system (redundância)



**Figura 5 - Vista lateral do Transponder DCS**

**JTAG01**- Conector usado para programação do FPGA.

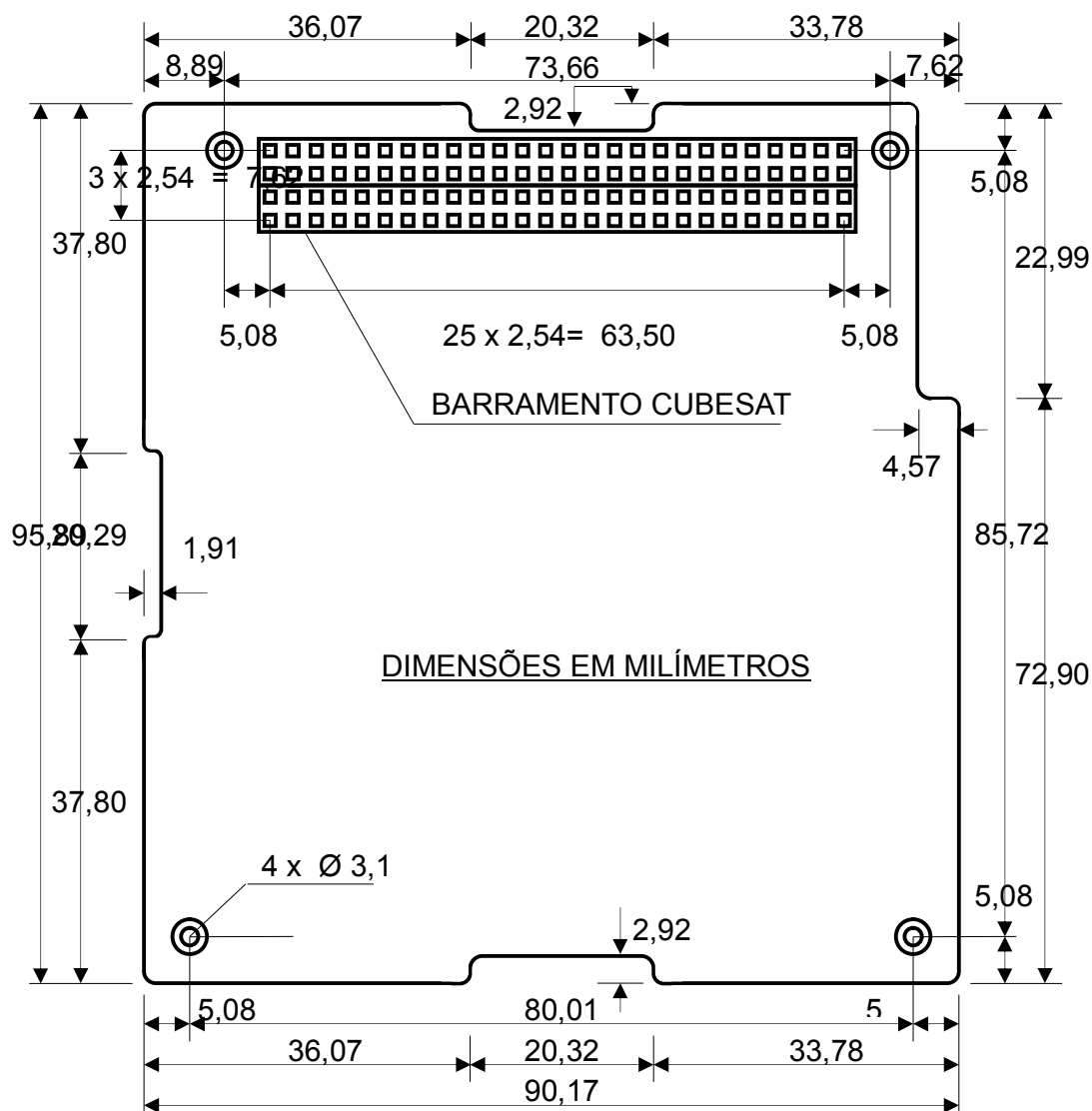
**RXIN** – Conector SMA de entrada do receptor (401,635 MHz com nível potência entre -128 e -88 dBm).

## ESPECIFICAÇÕES FÍSICAS

A Tabela 5 apresenta as características mecânicas do Sistema, e as Figura 6 e Figura 7 detalham suas dimensões.

**Tabela 5 - Característica Mecânicas**

Massa da Unidade (g): 300			Tolerância (g): $\pm 5$			
Dimensões (mm)	L: 89,61	$\pm: 0,01$	B: 95,33	$\pm: 0,01$	H: 22,10	$\pm: 0,01$



**Figura 6 - Dimensões do Transponder DCS, vista superior**

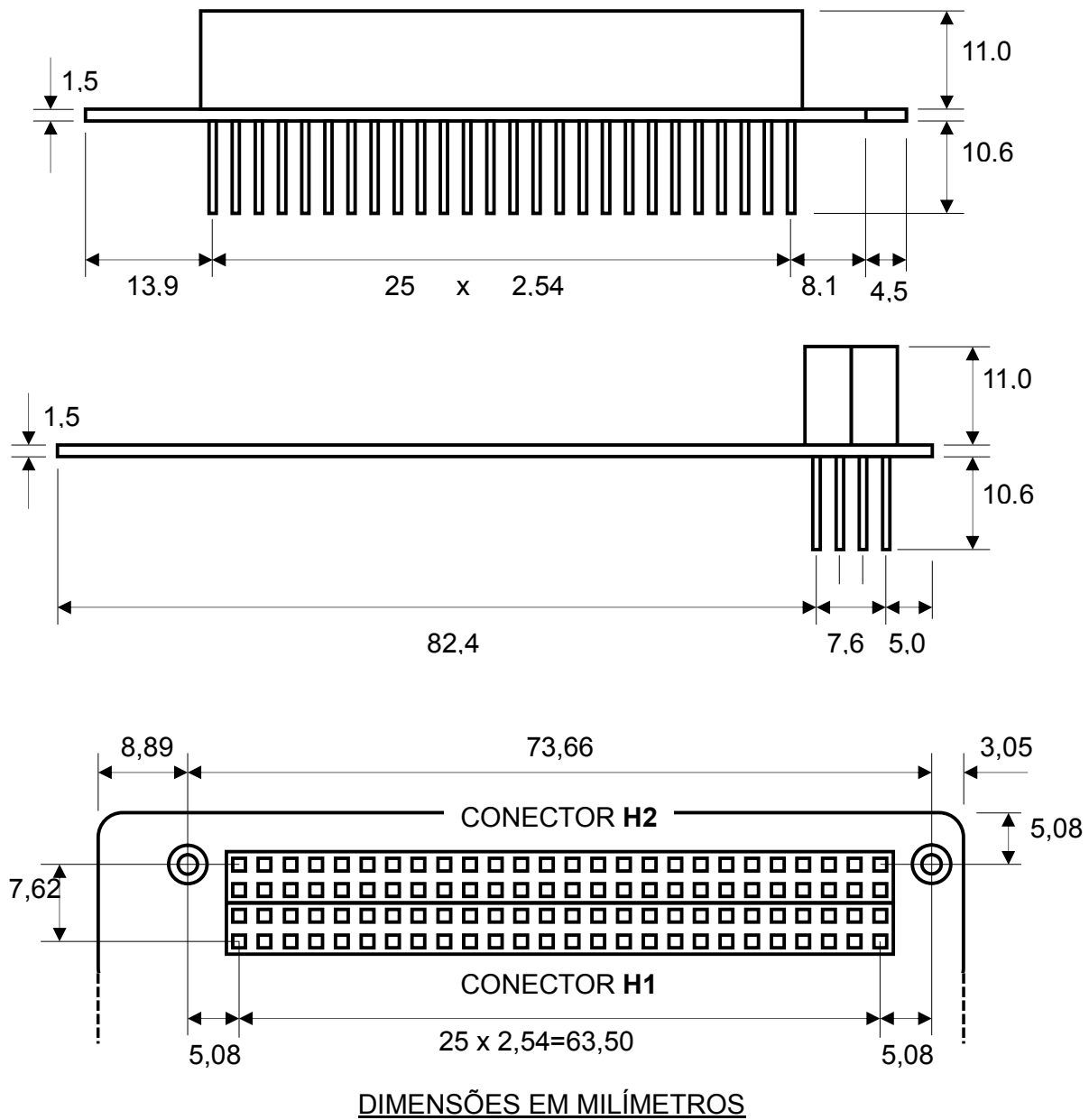


Figura 7 - Dimensões do Transponder DCS, outras vistas

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – Centro Regional Nordeste (CRN)**

**Rua Carlos Serrano, 2073, Lagoa Nova. CEP: 50976-740. Natal – RN. Brasil**

**Telefone:** +55 84 3204 9100

**E-mail:** [transponderdcs@crn.inpe.br](mailto:transponderdcs@crn.inpe.br)

**Internet:** [www.crn2.inpe.br](http://www.crn2.inpe.br)

