



CONASAT-0: VISÃO GERAL DO NANOSSATÉLITE DESENVOLVIDO

Alex C. R. Alves^a; Samaherni M. Dias^a; Kurios I. P. de M. Queiroz^a; Manoel J. M. de Carvalho^b; José M. L. Duarte^b

[a] Laboratório de Automação, Controle e Instrumentação, UFRN, Natal, RN, Brasil

[b] Centro Regional do Nordeste, INPE, Natal, RN, Brasil

Resumo: Desde o início da Corrida Espacial, uma grande quantidade de satélites artificiais foram colocados em órbita. O avanço tecnológico e a criação do padrão CubeSat permitiram que objetos cada vez menores (massa entre 1 kg e 10 kg) fossem lançados e utilizados em diferentes missões. Esses objetos se tornaram populares por apresentarem um custo de desenvolvimento baixo em comparação aos satélites maiores (massa acima de 100 kg), o que tornou possível a exploração espacial por parte de diferentes instituições e organizações. Nesse contexto, este artigo apresenta, com base em informações e documentos do projeto CONASAT (Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais), uma visão geral sobre o nanossatélite CONASAT-0, um CubeSat que tem sido desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) em parceria com a UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte), com o objetivo de oferecer uma alternativa de baixo custo ao SBCDA (Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais). Desse modo, serão apresentados neste trabalho os subsistemas, a carga útil e os modos de operação do nanossatélite. Por fim, serão apresentadas algumas considerações finais sobre o CONASAT-0.

Palavras-chave: Nanossatélite, CubeSat, SBCDA.

1. INTRODUÇÃO

O lançamento do primeiro satélite artificial do mundo, o Sputnik I, em 1957, marcou o início do período histórico conhecido mundialmente como Corrida Espacial, que culminou no desenvolvimento da tecnologia capaz de lançar o homem à Lua. Desde então, a indústria de satélites tem evoluído e permitido que diferentes instituições e organizações desenvolvam tecnologias e missões que têm como objetivo a ciência e a exploração do espaço.

No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) tem executado atividades de pesquisa e desenvolvimento na área espacial há anos. Entre as diversas atividades já realizadas, considera-se de grande importância a concepção, o projeto e a fabricação dos Satélites de Coletas de Dados SCD-1 e SCD-2, os quais foram lançados em 1993 e 1998, respectivamente (Winter and Prado, 2007). Esses satélites representam um marco das atividades espaciais no Brasil e continuam em operação, embora o primeiro já apresente algumas restrições (de Carvalho et al., 2013).

O SCD-1 e o SCD-2 fazem parte do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais (SBCDA) e foram lançados com a missão de retransmitir, em direção às estações receptoras, dados coletados por uma rede de Plataformas de Coleta de Dados Ambientais (PCDs) localizadas em diferentes pontos do território nacional (Winter and Prado, 2007). Atualmente, além do SCD-1 e do SCD-2, o satélite CBERS-4 também constitui o SBCDA e está em operação desde o seu lançamento em 2014. Esses satélites são de fundamental importância para que as funções básicas do SBCDA sejam realizadas. Entre essas funções, destacam-se a coleta de dados ambientais provenientes de plataformas fixas ou móveis, o processamento, o armazenamento e a dissemina-

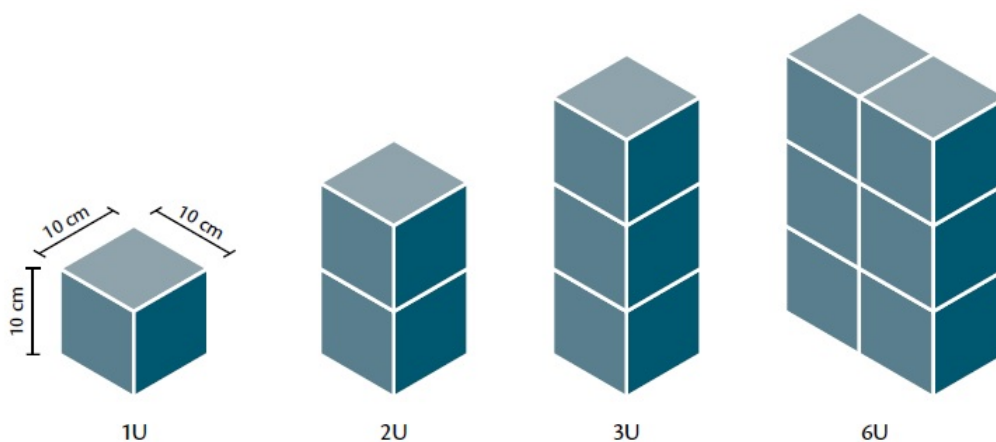
ção desses dados para usuários. Os dados coletados são utilizados para fins científicos, assim como, para o monitoramento ambiental e proteção ambiental (Yamaguti et al., 2009).

Apesar dos satélites que compõem o SBCDA continuarem em operação, sua reposição é de grande importância para continuidade dos serviços de coleta de dados, uma vez que todos se encontram em sobrevida em relação a vida útil estimada durante o projeto. Desse modo, a cada ano, aumenta a possibilidade de ocorrência de falhas que podem comprometer a operação de algum desses artefatos (Yamaguti et al., 2009).

Missões espaciais baseadas em satélites como os que constituem o SBCDA (com massa superior a 100 kg) apresentam um custo elevado e um longo tempo de desenvolvimento. Segundo informações apresentadas por Queiroz et al. (2018) e INPE (2019), as despesas referentes ao projeto e lançamento do SCD-1, SCD-2 e CBERS-4 estão na ordem dos milhões de dólares. De modo geral, o alto custo de missões com satélites representa um dos problemas enfrentados por instituições, pesquisadores e estudantes interessados em colaborar com a ciência e a exploração espacial. Uma forma de contornar esse problema foi proposta em 1999 pelos professores Jordi Puig-Suari da Universidade Politécnica da Califórnia e Bob Twiggs da Universidade de Stanford e ficou conhecida como padrão CubeSat (ISIS, 2019a).

O padrão supracitado contém especificações de dimensão, formato e massa para nanossatélites (massa entre 1 kg e 10 kg) e picossatélites (massa entre 0,1 kg e 1 kg). De acordo com CalPoly (2015), a dimensão básica de um CubeSat é 10x10x11,35 cm (em alguns textos, descrito como sendo um cubo com 10 cm de aresta), que corresponde a uma unidade (1U) com massa de até 1,33 kg. Várias unidades podem ser colocadas juntas para formar configurações de satélites maiores, como 2U, 3U e 6U (Figura 1). Muitas universidades e organizações possuem um programa espacial graças aos CubeSats. Isso pode ser verificado não apenas em grandes instituições de ensino, mas também em escolas de ensino médio, universidades de pequeno porte, agências governamentais e grupos comerciais espalhados pelo mundo (NASA, 2017).

Figura 1: Tamanhos de CubeSats.



Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE (2018)

Considerando a necessidade de reposição dos satélites que constituem o SBCDA e o crescente avanço da indústria de nanossatélites, impulsionado pela criação do padrão CubeSat, o INPE tem realizado, em parceria com universidades e institutos de pesquisa brasileiros, o estudo e o projeto de nanossatélites utilizando esse padrão. Nesse contexto, o Centro Regional do Nordeste (CRN) do INPE, localizado em Natal/RN, em parceria com a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), tem desenvolvido o projeto intitulado Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais (CONASAT). Tal projeto tem como objetivo oferecer uma alternativa com custos mais reduzidos e tecnologicamente mais avançada para garantir a continuidade do SBCDA. Desse modo, busca-se uma melhora na qualidade do serviço, no que se refere à capacidade, abrangência geográfica e tempos de revisita (de Carvalho et al., 2013). Estima-se que cada nanossatélite do projeto CONASAT terá um custo aproximado de 0,7 milhões de dólares, o que representa um valor bem menor em comparação aos projetos anteriores do INPE (Queiroz et al., 2018).

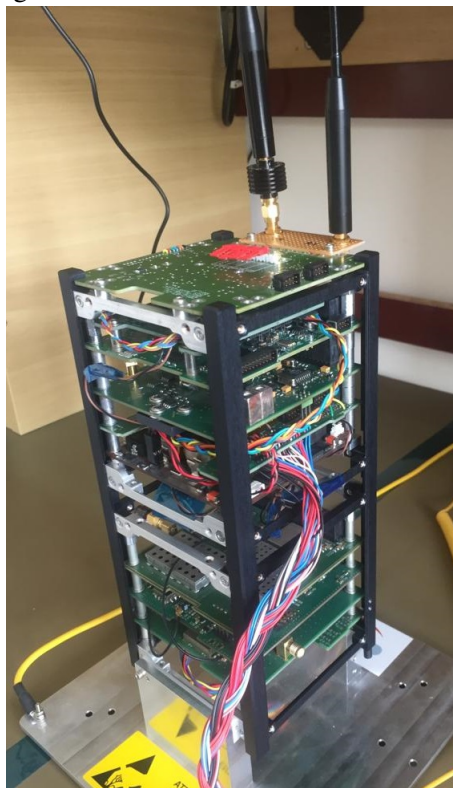
Atualmente, os laboratórios do INPE/CRN possuem plataformas de desenvolvimento equipadas com sub-

sistemas e tecnologias do padrão CubeSat. Essas plataformas têm sido utilizadas para testes e para construção do sistema de controle de bordo utilizado nos nanossatélites que devem ser lançados em breve. Neste artigo, será apresentado o CONASAT-0, padrão CubeSat 1U do projeto CONASAT. Serão descritos os subsistemas, a carga útil e os modos de operação do nanossatélite.

2. O CONASAT-0

Ao longo dos anos, com o desenvolvimento de novas tecnologias na área espacial e na eletrônica, as definições do projeto CONASAT foram sendo aprimoradas com o intuito de oferecer uma missão de baixo custo e tecnologicamente avançada ao SBCDA. Atualmente, estão sendo desenvolvidos modelos 1U (CONASAT-0) e 2U (CONASAT-1) de CubeSat para o projeto, com auxílio do modelo de desenvolvimento 2U observado na Figura 2.

Figura 2: Modelo de desenvolvimento 2U.



O CONASAT-0 é um nanossatélite baseado no modelo 1U do padrão CubeSat e que possui em sua estrutura quatro subsistemas principais e a carga útil. Cada subsistema se trata de uma placa de circuito impresso que se comunica com os demais através de um barramento de comunicação. Dessa forma, para o CONASAT-0, as equipes de desenvolvimento devem integrar os subsistemas e desenvolver os softwares necessários. Por fim, há a carga útil, que se trata de uma outra placa de circuito impresso desenvolvida pelo próprio INPE utilizando apenas componentes do tipo "comerciais de prateleira" (COTS, do inglês, *Commercial Off The Shelf*) ao invés de componentes específicos para aplicação espacial, os quais costumam ser caros e difíceis de se obter (Queiroz et al., 2018).

3. SUBSISTEMAS E CARGA ÚTIL

O CONASAT-0 é composto por quatro subsistemas principais: subsistema de controle de bordo (CDHS, do inglês, *Command and Data Handling System*); subsistema de energia (EPS, do inglês, *Electrical Power System*); subsistema de determinação e controle de atitude (ADCS, do inglês, *Attitude Determination and Control System*); e subsistema de telemetria e telecomando (TT& C, do inglês, *Telemetry, Tracking & Command*).

3.1 Subsistema de energia

O fornecimento, a distribuição, o armazenamento e o controle de energia elétrica em um CubeSat são funções desempenhadas pelo subsistema de energia (Wertz and Larson, 1999). Entre os componentes do EPS, tem-se painéis solares, baterias e conversores DC/DC para a geração das tensões de trabalho. Por meio desse subsistema, o computador de bordo é capaz de monitorar os níveis de tensão do nanossatélite.

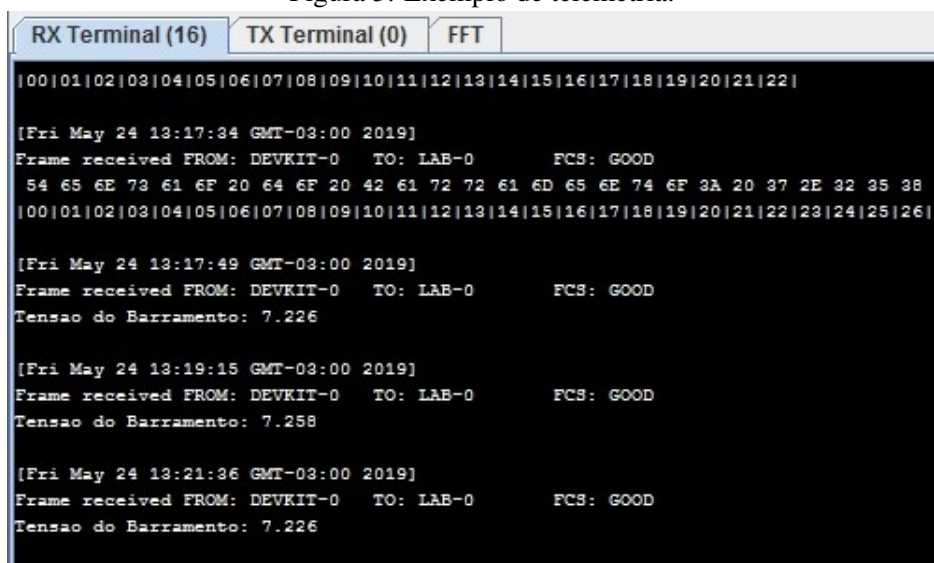
No CONASAT-0, o EPS tem capacidade máxima de 30 W e possui dois canais regulados de alimentação permanente +3,3 V e +5 V e seis canais de alimentação com ligamento comandado e tensão configurável entre +3,3V ou +5V, sendo um deles utilizado para a carga útil do sistema. Além disso, há um microcontrolador embarcado que disponibiliza medições de tensões, correntes e temperaturas do sistema por meio de uma interface de comunicação I²C, que também pode ser utilizada para controle e configuração de vários parâmetros do EPS (GomSpace, 2019).

3.2 Subsistema de telemetria e telecomando

O subsistema TT&C tem por finalidade permitir a comunicação entre o CubeSat e a estação terrestre. Essa comunicação ocorre por meio da transmissão de pacotes de telemetria e recebimento de pacotes de telecomando (Heunis, 2014). Sendo assim, a equipe localizada na estação de controle de missão é capaz de receber informações e dados do CubeSat e transmitir comandos quando ele está em órbita. No caso do CONASAT-0 esse subsistema conta com um *UHF/VHF Full Duplex Transceiver*, com possibilidade de ajuste do *range* de frequência e com AX.25 como protocolo de comunicação de camada de dado. A comunicação entre o TT&C e o computador de bordo ocorre através de uma interface I²C que possibilita a configuração do subsistema, bem como, o envio de dados de telemetria e a leitura de telecomandos emitidos pela estação de controle da missão. Os sinais de telecomando são recebidos pelo nanossatélite na faixa de frequência UHF (*Ultra High Frequency*) 435-438 MHz e os sinais de telemetria emitidos pelo CubeSat se encontram na faixa de frequência VHF (*Very High Frequency*) 145,8-146 MHz (ISIS, 2019b).

O modelo de desenvolvimento instalado no laboratório do INPE/CRN pode ser utilizado para testes com o subsistema TT&C. Na Figura 3, verifica-se um exemplo de teste, realizado no laboratório, em que foram obtidos dados de telemetria através de comunicação por radiofrequência.

Figura 3: Exemplo de telemetria.



```
RX Terminal (16) TX Terminal (0) FFT
|00|01|02|03|04|05|06|07|08|09|10|11|12|13|14|15|16|17|18|19|20|21|22|
[Fri May 24 13:17:34 GMT-03:00 2019]
Frame received FROM: DEVKIT-0 TO: LAB-0 FCS: GOOD
54 65 6E 73 61 6F 20 64 6F 20 42 61 72 72 61 6D 65 6E 74 6F 3A 20 37 2E 32 35 38
|00|01|02|03|04|05|06|07|08|09|10|11|12|13|14|15|16|17|18|19|20|21|22|23|24|25|26|
[Fri May 24 13:17:49 GMT-03:00 2019]
Frame received FROM: DEVKIT-0 TO: LAB-0 FCS: GOOD
Tensao do Barramento: 7.226
[Fri May 24 13:19:15 GMT-03:00 2019]
Frame received FROM: DEVKIT-0 TO: LAB-0 FCS: GOOD
Tensao do Barramento: 7.258
[Fri May 24 13:21:36 GMT-03:00 2019]
Frame received FROM: DEVKIT-0 TO: LAB-0 FCS: GOOD
Tensao do Barramento: 7.226
```

3.3 Subsistema de determinação e controle de atitude

O subsistema de determinação e controle de atitude tem como função medir a orientação do CubeSat e ajustá-la ou mantê-la de acordo com os requisitos da missão (Woellert et al., 2011). Geralmente o ADCS é composto por um computador para processamento de bordo, sensores do tipo magnético e solar, bobinas de

torque e/ou rodas de reação (Queiroz et al., 2018). No caso do CONASAT-0, o processamento é realizado no próprio OBC e o ADCS conta com sensores magnético e solar, sendo os atuadores três bobinas magnéticas, uma para eixo do corpo do nanossatélite.

O CONASAT-0 pretende utilizar o algoritmo de estimação QUEST (*QUaternion ESTimation*) e um controlador do tipo PD (Proporcional Derivativo) (de Ruiter et al., 2012). Uma vez no modo de operação nominal, o ADCS, com base nas medições dos sensores (magnético e solar) e do método QUEST, calcula a atitude (orientação) atual do nanossatélite em relação a um referencial inercial centrado na terra. Em seguida, essa estimativa é disponibilizada ao controlador PD que, por sua vez, com uso do erro entre a atitude desejada e a atual, gera os sinais que serão utilizados na alimentação das bobinas de toque. Esse ciclo se mantém até que o OBC altere o modo de operação do subsistema. O *software* do ADCS tem sido desenvolvido por pesquisadores da UFRN em parceria com o INPE/CRN. Até o momento (julho de 2019), duas dissertações de mestrado já foram produzidas nessa área. A primeira delas resultou em um simulador para testes de estratégias clássicas de estimação e controle de atitude. Já a segunda, concentrou-se no estudo de técnicas de estimação mais complexas, dentre elas, o Filtro de Kalman Estendido (FKE) (de Ruiter et al., 2012) e os observadores de estado para sistemas não-lineares (Khalil, 2017), (Borri et al., 2017). Existe ainda uma terceira dissertação, essa em andamento, cujo o tema abordará estratégias de controle não-lineares no controle de atitude de nanossatélites.

3.4 Subsistema de controle de bordo

O controle de bordo é responsável pelo gerenciamento, controle e armazenamento dos dados provenientes dos demais subsistemas do CONASAT-0. Além disso, o processamento das informações de telemetria e telecomando é realizado pelo computador de bordo (OBC, do inglês, *On-Board Computer*) que compõe o CDHS. No caso do CONASAT-0, o CDHS possui um processador ARM9, 64MB de memória SDRAM, dois *slots* de cartão SD para salvar dados não voláteis e canais de comunicação UART, SPI e I²C.

3.4.1 Funcionamento do OBC

O OBC, assim que alimentado, inicia um processo automático de *boot*, no qual carrega um Linux embarcado da memória não volátil para memória SDRAM. Um vez que o sistema operacional está carregado, o mesmo possui seis diferentes modos de operação, os quais são elaborados com o objetivo de otimizar o consumo de energia por parte do satélite, de modo que apenas subsistemas específicos são ativados a depender da necessidade da missão.

Inicialmente, o CONASAT-0 deverá operar em seis modos distintos:

- *Safe*: modo de segurança ativado sempre que ocorrer algum problema no satélite;
- *Idle*: modo de funcionamento padrão;
- *Detumbling*: modo para atenuar o momento angular do satélite;
- *Nominal*: modo de operação com todas as funcionalidades ativas (ADCS, carga útil, etc);
- *Payload*: modo em que apenas a carga útil permanece ativa;
- *Control*: modo de operação apenas do ADCS.

Os possíveis modos de operação e a transição entre eles podem ser verificados na Tabela 1. Nessa tabela, T_c caracteriza a transição por meio de telecomandos e C_s representa a mudança de modo ocasionada por comandos do sistema de controle de bordo. Tais comandos são disparados quando o sistema detecta alguma falha ou alguma condição crítica, como por exemplo, níveis de tensão inferiores ao necessário para manter o funcionamento correto do satélite e dos subsistemas em operação.

Tabela 1: Transição entre os modos de operação.

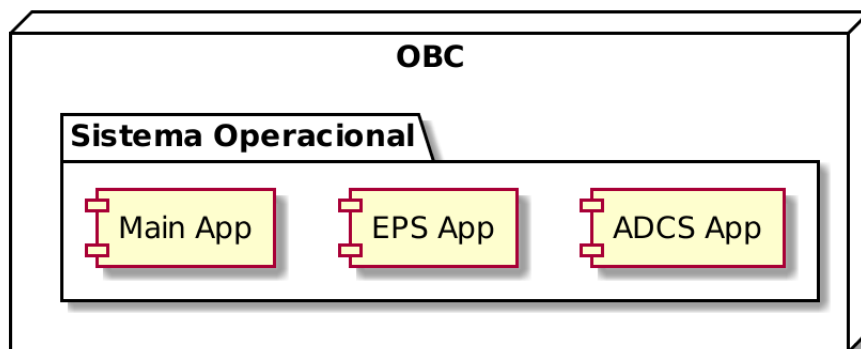
DE	PARA					
	Safe	Idle	Detumbling	Nominal	Payload	Control
Safe	-	T_c	T_c	T_c	T_c	T_c
Idle	T_c/C_s	-	T_c	T_c	T_c	T_c
Detumbling	T_c/C_s	T_c	-	T_c	T_c	T_c
Nominal	T_c/C_s	T_c	T_c	-	T_c	T_c
Payload	T_c/C_s	T_c	T_c	T_c	-	T_c
Control	T_c/C_s	T_c	T_c	T_c	T_c	-

Todo o desenvolvimento dos softwares utilizados no OBC é realizado pela UFRN em parceria com o INPE/CRN. Cada modo desenvolvido tem sido implementado e testado no modelo de desenvolvimento disponível no laboratório do projeto CONASAT.

3.4.2 Software de controle de bordo

O *software* de controle de bordo tem sido projetado com base em técnicas de tolerância a falhas. Desse modo, busca-se minimizar eventuais falhas em órbita decorrentes dos efeitos da radiação sobre os componentes eletrônicos do nanossatélite (LaBel et al., 1996). Uma das abordagens adotadas é a arquitetura de *software* modular em que cada aplicação do sistema é desenvolvida com baixa dependência em relação as outras, de modo a evitar que eventuais falhas em uma das aplicações se propague por todo o sistema (Heunis, 2014). Na Figura 4, observa-se um exemplo da arquitetura modular, onde três aplicações diferentes são implementadas no sistema operacional instalado no OBC. A aplicação principal (*Main App*) pode ser desenvolvida para monitorar informações do computador de bordo, enquanto a aplicação *EPS App* se encarrega da interação entre o OBC e o EPS, obtendo dados referentes as tensões e correntes do sistema. Entre outras possíveis aplicações, tem-se a *ADCS App*, responsável por processar o controle de atitude do nanossatélite.

Figura 4: Arquitetura modular.



3.5 Carga útil

O CONASAT-0 é constituído por uma carga útil, denominada de Environmental Data Collector (EDC), cuja função é decodificar o sinal das PCDs captados pela antena do satélite. Essa carga útil vem sendo desenvolvida no INPE/CRN (Queiroz et al., 2018), e aprimorada ao longo do tempo. A verificação do funcionamento do EDC é o principal objetivo da missão CONASAT-0.

O sinal das PCDs possui uma banda de aproximadamente 1.6 kHz, e os transmissores possuem diferentes frequências de transmissão dentro de uma banda de 60 kHz centrada em 401.635 MHz. Não existe nenhum tipo de sincronismo entre as transmissões de diferentes PCDs. Assim, o EDC executa uma busca contínua por sinais de PCD no espectro da banda esperada para recepção desses sinais. Para cada suposto sinal detectado

é gerada uma mensagem contendo o instante de tempo, a frequência e a potência desse sinal, além dos dados decodificados, ou um código de erro, no caso de ocorrência de falha no processo de decodificação desse sinal. Essas mensagens são então disponibilizadas para o computador de bordo, aguardando numa fila para leitura, com capacidade de armazenamento de até 16 mensagens.

Além da função de decodificação de sinais, o EDC permite a amostragem de uma janela temporal de 16 ms do sinal recebido. Isto permite que uma análise espectral seja feita para caracterização do sinal captado no espaço.

Finalmente, o EDC também provê telemetrias sobre sua saúde para permitir a identificação da causa de uma eventual falha. Tais telemetrias incluem a tensão e a corrente de sua alimentação, nível do sinal na saída do receptor, taxa de ocorrência de corrupção de memória, temperatura da placa e estado de sincronismo do PLL do RF Front-End.

A comunicação entre o EDC e o computador de bordo pode ser feita através de uma interface I2C ou RS-422/UART.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, o CONASAT-0 está em fase final de desenvolvimento. Dessa forma, está prevista para esse ano de 2019 a aquisição dos módulos que irão constituir o nanossatélite que será lançado, ou seja, o projeto manterá em solo uma cópia do satélite que será lançado a fim de simular testes e realizar análises do comportamento do satélite em órbita. Como última etapa, serão realizados testes nos equipamentos adquiridos e, após a finalização desses testes, o nanossatélite deve ser lançado e utilizado como parte do SBCDA, o que representa uma renovação do sistema e uma alternativa com custos de desenvolvimento mais reduzidos em comparação com o SCD-1, SCD-2 e CBERS-4. Com os resultados obtidos no desenvolvimento do CONASAT-0, busca-se fomentar o interesse pelo estudo da engenharia aeroespacial por parte de estudantes e pesquisadores da UFRN e do INPE/CRN. Espera-se ainda colaborar com o atual cenário de desenvolvimento de nanossatélites, em especial no Brasil.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

5. REFERÊNCIAS

- Borri, A., Cacace, F., De Gaetano, A., Germani, A., Manes, C., Palumbo, P., Panunzi, S., and Pepe, P. (2017). Luenberger-like observers for nonlinear time-delay systems with application to the artificial pancreas: The attainment of good performance. *IEEE Control Systems Magazine*, 37(4):33–49.
- CalPoly (2015). Cubesat design specification rev. 13. Disponível em: <http://www.cubesat.org/s/cds_rev13_final2.pdf>. Acesso em: 16 de abril de 2019.
- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE (2018). Cubesats. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/CGEE_resumoexecutivo_CubeSats_Web.pdf>. Acesso em: 20 de julho de 2019.
- de Carvalho, M. J. M., Lima, J. S. S., Jotha, L. S., and de Aquino, P. S. (2013). Conasat - constelação de nano satélites para coleta de dados ambientais. In *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Foz do Iguaçu, Brasil.
- de Ruiter, A. H., Damaren, C., and Forbes, J. R. (2012). *Spacecraft Dynamics and Control: An Introduction*. John Wiley & Sons.
- GomSpace (2019). Nanopower p31u datasheet. Disponível em: <<https://gomspace.com/UserFiles/Subsystems/datasheet/gs-ds-nanopower-p31u-27.pdf>>. Acesso em: 15 de julho de 2019.
- Heunis, A. E. (2014). *Design and Implementation of Generic Flight Software for a Cubesat*. Dissertação de Mestrado, Stellenbosch University, África do Sul.
- INPE (2019). Perguntas frequentes: Cbers. Disponível em: <<http://www.inpe.br/faq/index.php?pai=17>>.

Acesso em: 16 de abril de 2019.

ISIS (2019a). Cubesats. Disponível em: <<https://www.isispace.nl/cubesats/>>. Acesso em: 16 de abril de 2019.

ISIS (2019b). Isis uhf uplink/vhf downlink full duplex transceiver. Disponível em: <<https://www.isispace.nl/product/vhf-downlink-uhf-uplink-full-duplex-transceiver/>>. Acesso em: 15 de julho de 2019.

Khalil, H. K. (2017). High-gain observers in feedback control: Application to permanent magnet synchronous motors. *IEEE Control Systems Magazine*, 37(3):25–41.

LaBel, K. A., Gates, M. M., Moran, A. K., Marshall, P. W., Barth, J., Stassinopoulos, E. G., Seidleck, C. M., and Dale, C. J. (1996). Commercial microelectronics technologies for applications in the satellite radiation environment. In *1996 IEEE Aerospace Applications Conference. Proceedings*, volume 1, pages 375–390 vol.1.

NASA (2017). Cubesat 101: Basic concepts and processes for first-time cubesat developers. Disponível em: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_csli_cubesat_101_508.pdf>. Acesso em: 16 de abril de 2019.

Queiroz, K. I. P. M., Dias, S. M., Duarte, J. M. L., and de Carvalho, M. J. M. (2018). Uma solução para o sistema brasileiro de coleta de dados ambientais baseada em nanossatélites. *HOLOS*, 7:132–142.

Wertz, J. M. and Larson, W. (1999). *Space Mission Analysis and Design*. Microcosm Press, 3 edition.

Winter, O. C. and Prado, A. F. B. A. (2007). *A Conquista do Espaço: do Sputnik à Missão Centenário*. Editora Livraria da Física, São Paulo, Brasil.

Woellert, K., Ehrenfreund, P., Ricco, A. J., and Hertzfeld, H. (2011). Cubesats: Cost-effective science and technology platforms for emerging and developing nations. *Advances in Space Research*, 47(4):663–684.

Yamaguti, W., Orlando, V., and Pereira, S. P. (2009). Sistema brasileiro de coleta de dados ambientais: Status e planos futuros. In *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil.