



OPERAÇÃO DA MISSÃO ITASAT - ESTRATÉGIA E LIÇÕES APRENDIDAS

Emerson Henrique Silva de Oliveira^a; Lidia Hissae Shibuya Sato^a; Denis Guilgim Vieira^a; Renan Guilherme Soares Menezes^a; Hélio André dos Santos^a; Luis Eduardo Vergueiro Loures Costa^a; Thales Ramos Mânica^b; Leonardo Zavareze da Costa^b; Guilherme Schneider Ullrich^b; Nelson Schuch^b; José Marcelo Lima Duarte^c; Manoel Jozeane Mafra de Carvalho^c; Mailson Rodrigues de Medeiros Guimarães^c; Ricardo Sousa^c; Lúcio Jotha^c; Otávio Cupertino Durão^d; Fátima Mattiello Francisco^d

[a] Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, São Paulo, Brasil

[b] Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/COCRE/INPE-MCTIC, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

[c] Centro Regional do Nordeste de Pesquisas Espaciais – CRN/COCRE/INPE-MCTIC, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil

[d] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, Brasil

Resumo: O presente trabalho tem o objetivo de apresentar a estratégia de operação da missão ITASAT, em órbita desde dezembro de 2018. Neste trabalho serão apresentadas as características operacionais do ITASAT bem como das estações terrenas brasileiras envolvidas. Será apresentado a organização das equipes, a forma de coordenação das atividades e os desafios enfrentados pelas equipes durante a operação coordenada entre as diversas estações terrenas e as lições aprendidas ao longo desse processo de comissionamento de uma das cargas úteis.

Palavras-chave: ITASAT, Plano de Operação de Voo (POV), Estação Terrena, CubeSat.

1. INTRODUÇÃO

O segmento espacial da missão ITASAT é composto por um nanossatélite 6U padrão CubeSat [Sato et al, 2014] desenvolvido pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e lançado em 3 de Dezembro de 2018 da base da Força Aérea Americana em Vandenberg (Califórnia) pelo foguete Falcon-9 da Space-X. No lançamento contratado pela Spaceflight, o voo SSO-A foram lançados 64 satélites, sendo 15 micro-satélites e 49 CubeSats, representando 17 países neste lançamento: Estados Unidos, Austrália, Itália, Holanda, Finlândia, Coreia do Sul, Espanha, Suíça, Reino Unido, Alemanha, Jordânia, Cazaquistão, Tailândia, Polônia, Canadá, Brasil e Índia.

Fomentado pela Agência Espacial Brasileira (AEB), o projeto ITASAT foi concebido principalmente para a formação de recursos humanos para o setor aeroespacial desde a concepção de uma missão até a sua operação. Neste contexto, o ITA foi responsável pelo desenvolvimento da plataforma, bem como especificação e acompanhamento dos testes funcionais e ambientais necessários para o lançamento, assim como atualmente opera o satélite.

Os experimentos propostos para a missão ITASAT são:

- Receptor GPS desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) em parceria com o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE);
- Transponder de Coleta de Dados desenvolvido pelo Centro Regional Nordeste do INPE (INPE/CRN);
- Câmera comercial no espectro visível; e
- Experimento de comunicação com a comunidade de radioamadores (DXE-2).

Desde o seu lançamento, o ITASAT vem sendo operado pelo ITA por meio da Estação Terrena (ET) do INPE instalada no ITA, em cooperação com outras duas Estações Terrenas também do INPE instaladas nos seus Centros Regionais Sul e Nordeste, nas unidades do INPE em Santa Maria - RS e Natal - RN, respectivamente. O ITASAT conta também com a colaboração da comunidade de radioamadores em seu

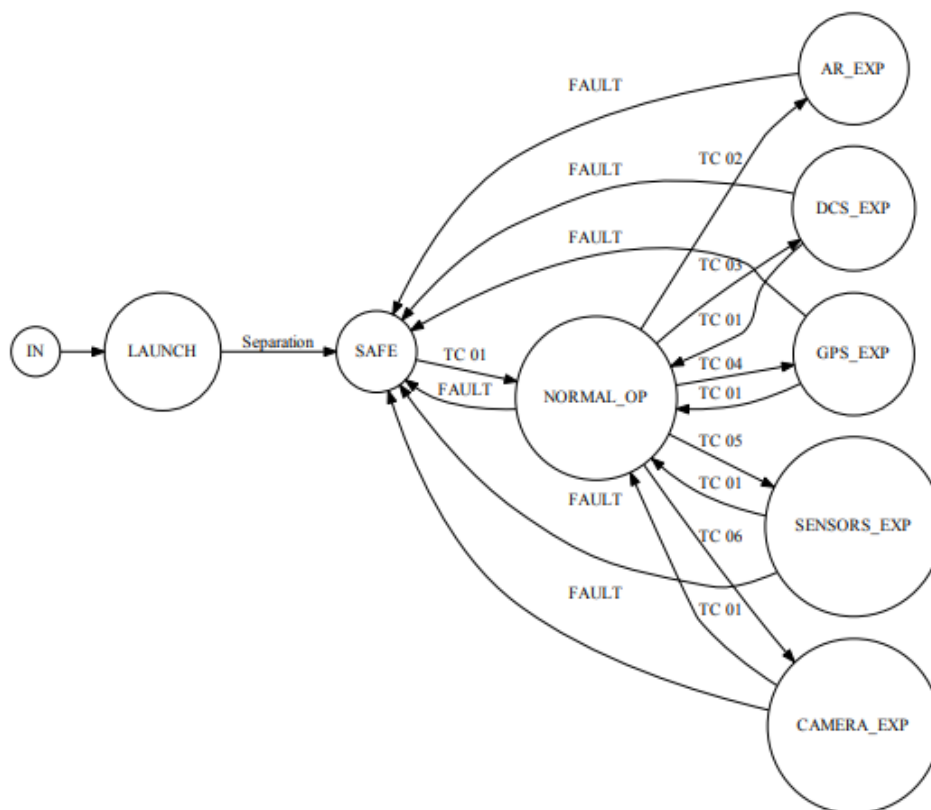
rastreio, sendo inclusive de um radioamador brasileiro (PY4ZBZ), em Sete Lagoas (Minas Gerais), o mérito de captar a primeira telemetria do ITASAT.

Neste artigo, o foco é apresentar a logística empregada na operação do ITASAT pelo ITA em conjunto com as demais estações, no esforço conjunto para comissionar e operar o transponder de coleta de dados, o experimento DCS (*Data Collection System* - sigla em inglês para Sistema de Coleta de Dados). Também serão apresentados os desafios e as lições aprendidas ao longo desse processo de operação conjunta entre diversas instituições.

2. OPERAÇÃO DO ITASAT

O ITASAT opera segundo o diagrama apresentado na Figura 1. Após o lançamento, a transição entre os modos de operação do ITASAT depende do envio de Telecomando ou ocorre autonomamente a bordo em decorrência de falhas (FAULT) identificadas durante o funcionamento. Em caso de falha, o sistema passa a funcionar em modo SAFE, que tem a característica de mínimo consumo de energia do satélite. O sistema de controle e determinação de atitude (ADCS) está desligado no modo SAFE e ligado no modo NORMAL. A partir do modo NORMAL o satélite pode operar os experimentos embarcados de forma isolada ou combinada, respeitando os limites de consumo de potência.

Figura 1. Modos de Operação do ITASAT



O ITASAT ao ser integrado ao dispositivo de lançamento (*dispenser* ou *deployer*) do lançador foi colocado em *standby* à espera do lançamento. Antes de ser embarcado, os últimos testes funcionais do ITASAT feitos em laboratório aconteceram durante a Revisão de Prontidão de Voo (FRR - *Flight Readiness Review*). Nesta etapa foram simuladas as sequências de eventos para o comissionamento e a sequência de telecomandos no cenário de operação nominal do satélite. Os resultados destes testes foram utilizados como *benchmark* para o comissionamento e operação nominal em órbita.

Durante a operação, parte dos eventos da fase de comissionamento acontecem de forma autônoma no ITASAT, como acionamento das linhas de alimentação do computador principal e do rádio UHF/VHF, abertura das antenas (dipolos) e início de transmissão do *Beacon*, que consiste de um pacote de dados com informações básicas do ITASAT, transmitido a uma frequência fixa. Após passar por essa fase inicial, o ITASAT inicia em modo SAFE e não possui mais nenhuma função autônoma, com exceção da *Fault detection, isolation, and recovery* (FDIR), ou seja, a partir do modo SAFE, as mudanças de modo de operação ocorrem somente por telecomandos. O acionamento das funções de operação do satélite também depende de telecomando, como por exemplo a determinação de atitude, acionamento de cargas úteis e transmissão de dados específicos do satélite. Sendo assim, o funcionamento do satélite depende de um Plano de Operação de Voo (POV) que contenha a sequência de comandos adequada a um específico teste ou a operação daquele dia (ou semana).

2.1. Conceito de Operação (ConOps)

Para o rastreamento e controle do ITASAT, inicialmente foi considerado somente a ET ITA para controle, sendo a ET de Santa Maria, ET INPE/CRS, o *backup*, mas ao longo da fase de comissionamento e operação verificou-se a necessidade de mudança de estratégia. Oportunamente, no mesmo período de lançamento do ITASAT a Estação Terrena do INPE/CRN EMMN (Estação MultiMissão de Natal) tornou-se operacional e foi incluída no plano de operação do ITASAT. Devido à diferença de latitude entre as estações terrenas envolvidas na missão, INPE/CRS no sul do país e INPE/CRN no Nordeste, como mostra na Figura 2, a área de cobertura das estações para a comunicação com o satélite aumentou significativamente. Com isso, se pode aumentar o tempo de operação do satélite e também o número de passagens diárias com visibilidade.

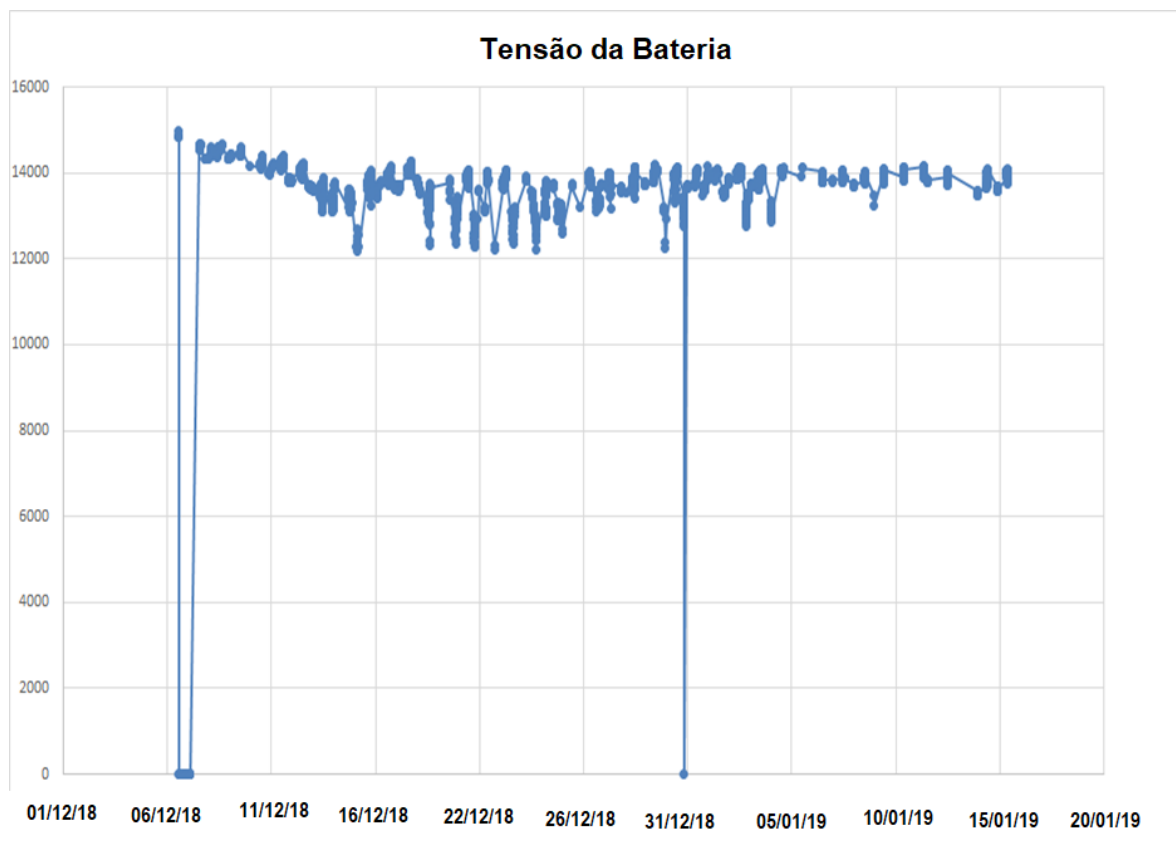
Figura 2. Estações Terrenas para a missão ITASAT



Para acompanhamento da operação e monitoramento da saúde do satélite (telemetrias de *housekeeping*) é necessária uma periódica caracterização funcional dos equipamentos embarcados. Essa constante obtenção de informações sobre o estado de saúde dos equipamentos do satélite é importante para detecção de falhas e para a elaboração de um estudo da causa das mesmas. Além disso, quanto mais rápido se detectar uma falha,

mais rápido se pode adequar o Plano de Operação de Voo (POV) do satélite e, assim, evitar um inadequado modo de operação ou estado de funcionamento de equipamentos. O *Beacon* provê a transmissão de alguns dados de *housekeeping* de forma automática, entretanto, telemetrias específicas de subsistemas precisam ser requisitadas através de telecomandos. Por exemplo, no ITASAT as informações detalhadas do subsistema de potência, Figura 3, ou EPS (*Electronic Power Supply*), foram levantados pelo envio dos comandos do tipo “GET EPS” com estas informações foi possível planejar os testes funcionais dos experimentos.

Figura 3. Curvas com parâmetros do subsistema de Potência do ITASAT



Os dados apresentados na Figura 3 mostram o perfil de carga da bateria do ITASAT lançado em uma órbita quase heliossíncrona, com 98,5 graus de inclinação e uma altitude de 575 km. Durante o período de um dia, o satélite completa 14 voltas ao redor da Terra. Das 14 órbitas, em média, quatro delas entram na área de aquisição de dados das ETs e, dessas, duas são passagens com condições favoráveis à sincronia de dados devido à posição do satélite em relação às ETs. São consideradas passagens com condições favoráveis aquelas que têm elevações maiores e que acarretam em um tempo de cobertura maior. Quanto maior a elevação, mais próximo o satélite passa pela estação terrena e maior é o tempo de comunicação. Com o ITASAT, uma passagem com elevação maior que 70° tem um tempo de visada de aproximadamente 13 minutos. Neste cenário, uma estação terrena operando sozinha teria este tempo de 13 minutos em uma única passagem para operar um experimento, desde enviar comandos para ligar os equipamentos até monitorar seu funcionamento. Com a operação coordenada entre Estações Terrenas do INPE, uma localizada em um extremo do país, em Natal/RN e outra localizada no outro extremo, em Santa Maria/RS, o tempo de operação do satélite em uma única passagem aumenta em aproximadamente 8 minutos. Ou seja, temos no total 21 minutos de comunicação com o satélite.

2.2. As Estações Terrenas

Nas subseções seguintes serão apresentadas sucintamente as configurações das estações terrenas envolvidas na operação do ITASAT.

Coordenadas geográficas da infraestrutura de solo envolvida na operação da missão: Estações Terrenas, e Centro de Rastreo e Controle de Satélites (CRC)

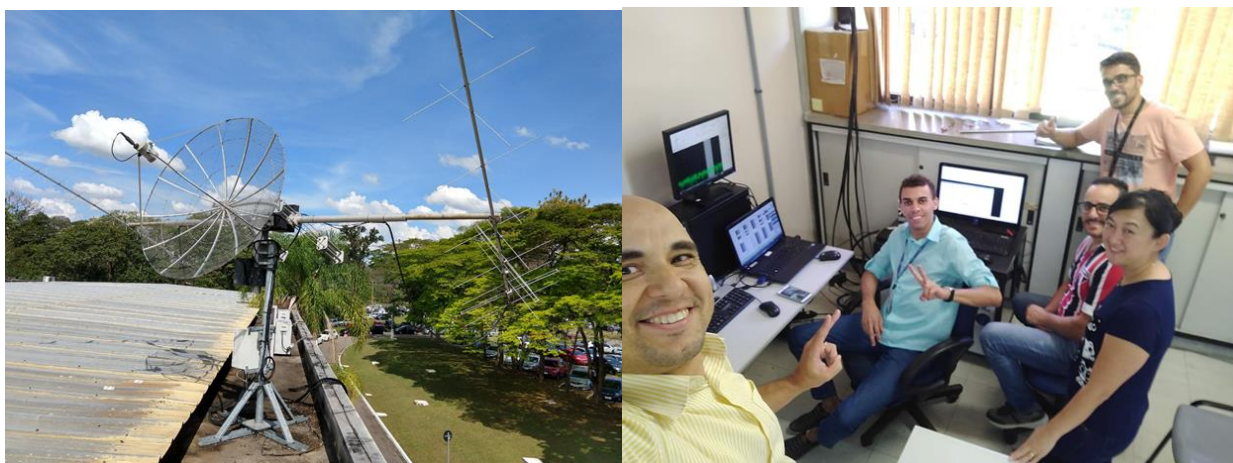
- ET (INPE-ITA): Latitude: 23.2099 S, Longitude: 45.8752 W, Altitude: 600 m
- ET (INPE/CRS): Latitude: 29.721855 S, Longitude: 53.715819 W, Altitude: 113 m
- ET INPE/CRN EMMN: Latitude: 5.795734 S, Longitude: 35.205394 W, Altitude: 30 m
- ETC: Latitude: 15.555324 S, Longitude: 56.070177 W, Altitude: 165 m
- ETA: Latitude: 2.338441 S, Longitude: 44.417156 W, Altitude: 13 m
- CRC: Latitude: 23.2099 S, Longitude: 45.8752 W, Altitude: 521 m

2.2.1. ET (INPE/ITA)

Estação Terrena ET (INPE/ITA) está instalada no ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica) localizada em São José dos Campos, SP. A estação, instalada na cobertura do prédio sede do Curso de Engenharia Eletrônica do Instituto Tecnológico da Aeronáutica - ITA foi instalada no âmbito da Parceria INPE/MCTI - ITA/DCTA/MD. Esta estação entra no âmbito da operação do DCS como a estação principal e responsável pela coordenação geral da operação do ITASAT.

A Estação Terrena de Rastreo e Controle é uma estação comercial com capacidade de comunicação solo-bordo em VHF e UHF, com potência de transmissão máxima de 100W, taxa de 1200 bps e 9600bps em modulação AFSK. Já no sentido oposto, bordo-solo, a estação terrena tem capacidade de comunicação em VHF, UHF e Banda-S, com taxas de 1200 a 9600 bps para VHF e UHF, e até 144000 bps em Banda-S em modulação BPSK. Essa estação conta com capacidade de rastreamento automático, configurado para um ou mais satélites de acordo com a TLE de cada um, atualizado automaticamente e periodicamente e permite acesso e controle remoto.

Figura 4. Estação Terrena ET(INPE-ITA) e Equipe ET-ITASAT
(Fonte: cortesia da equipe ITASAT)



Emerson Henrique Silva de Oliveira; Lidia Hissae Shibuya Sato; Denis Guilgim Vieira; Renan Guilherme Soares Menezes; Hélio André dos Santos; Luis Eduardo Vergueiro Loures da Costa; Thales Ramos Mânica; Leonardo Zavareze da Costa; Guilherme Ullrich; Nelson Schuch; José M. L. Duarte; Manoel J. M. de Carvalho; Mailson R. de M. Guimarães; Ricardo Sousa; Lúcio Jotha; Otávio Cupertino Durão; Fátima Mattiello Francisco
Operação da missão ITASAT - estratégia e lições aprendidas

2.2.2. ET(INPE-CRS)

Estação Terrena ET(INPE-CRS) instalada no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRCRS/COCRE/INPE-MCTIC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), localizada em Santa Maria, RS, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Esta estação entra no âmbito da operação do ITASAT no rastreamento e controle do satélite.

A ET(INPE-CRS) Possui sistema terreno de captura de dados (sensor) de direcionamento Azimutal em 360° e de Elevação em 180° de acordo com arquivo TLE de entrada.

A Estação Terrena é uma estação comercial com capacidade de comunicação solo-bordo em VHF e UHF, com potência de transmissão máxima de 100W, taxa de 1200 bps e 9600bps em modulação AFSK. Já no sentido oposto, bordo-solo, a estação terrena tem capacidade de comunicação em VHF, UHF e Banda-S, com taxas de 1200 a 9600 bps para VHF e UHF, e até 144000 bps em Banda-S em modulação BPSK.

Figura 5. Estação Terrena ET(INPE-CRS)

(Fonte: http://www.inpe.br/crs/nanosat/estacoes/estacao_santa_maria.php)



2.2.3. ET INPE/CRN EMMN

Estação Terrena do INPE/CRN EMMN (Estação MultiMissão de Natal) está localizada em Natal, RN. É uma estação solo projetada e desenvolvida pela equipe do INPE/CRN. Esta estação entra no âmbito da operação do ITASAT no rastreamento e controle do satélite.

A Estação Multimissão de Natal (EMMN) é um projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, com origem no reaproveitamento de uma estação francesa destinada aos Satélites de Aplicação Científica (SACI), desenvolvido pelo INPE. Ela está sendo projetada para agregar as funcionalidades de centro de controle e missão, com base em computadores interconectados através de rede Ethernet, Queiroz e Carvalho (2006).

A Estação Terrena tem capacidade de comunicação solo-bordo em VHF e UHF, com potência de transmissão máxima de 50W, taxa de 1200 a 9600 bps em modulação AFSK ou BPSK. Já no sentido oposto, bordo-solo, a estação terrena tem capacidade de comunicação em VHF e UHF, com taxas de 1200 a 9600 bps para VHF e UHF em modulação AFSK ou BPSK.

Figura 6. Antena, Unidade Interna e Controle da EMMN (Estação MultiMissão de Natal)
(Fonte: cortesia da equipe EMMN)



2.2.4. Estação Terrena de Alcântara (ETA)

A Estação Terrena de Alcântara (ETA) do INPE foi instalada em 1993 dentro do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) do Comando da Aeronáutica do Ministério de Defesa, em Alcântara, MA, com o propósito de apoiar a operação do Sistema Brasileiro de Coleta de dados Ambientais (SBCDA).

A ET de Alcântara entra no âmbito da operação do ITASAT no comissionamento e operação do transponder de coleta de dados do INPE/CRN, pois esta estação está apta a receber os dados deste transponder e decodificar os dados recebidos.

Figura 7. Estação de rastreio de Alcântara
[Fonte: <http://www.inpe.br/crc/>]



Emerson Henrique Silva de Oliveira; Lidia Hissae Shibuya Sato; Denis Guilgim Vieira; Renan Guilherme Soares Menezes; Hélio André dos Santos; Luis Eduardo Vergueiro Loures da Costa; Thales Ramos Mânica; Leonardo Zavareze da Costa; Guilherme Ullrich; Nelson Schuch; José M. L. Duarte; Manoel J. M. de Carvalho; Mailson R. de M. Guimarães; Ricardo Sousa; Lúcio Jotha; Otávio Cupertino Durão; Fátima Mattiello Francisco
Operação da missão ITASAT - estratégia e lições aprendidas

2.2.5. Estação Terrena de Cuiabá (ETC)

Estação Terrena de Rastreamento e Controle de Cuiabá (ETC), em Cuiabá, MT, foi instalada no Campus do INPE em 1992, onde já havia a Estação de Recepção e Gravação de Imagens do satélite americano LANDSAT. É a Estação Terrena principal de controle de todos os satélites operados pelo CRC. A ET de Cuiabá também entra no âmbito da operação do ITASAT no comissionamento e operação do transponder de coleta de dados do INPE/CRN, pois esta estação está apta a receber os dados deste transponder e decodificar os dados recebidos. Esta estação, no entanto, possui um fluxo de operação mais contínuo, sendo assim a estação backup para o comissionamento e operação do transponder de coleta de dados.

Figura 8. Estação de rastreamento de Cuiabá

[Fonte: <http://www.inpe.br/crc/>]



2.2.6. Centro de Controle de Satélites (CCS)

O Centro de Rastreamento e Controle de Satélites (CRC) do INPE é constituído pelo Centro de Controle de Satélites – CCS, em São José dos Campos, SP, e por estações terrenas em Cuiabá, MT, em Alcântara, MA. O CCS constitui-se no cérebro da operação das missões espaciais do INPE.

Na operação do ITASAT o CCS do INPE foi fundamental para coordenar a participação das estações de Alcântara e Cuiabá, bem como gerenciar possíveis conflitos na operação do ITASAT em conjunto com outros satélites monitorados e operados pelo INPE.

Figura 9. Vista parcial da sala de controle principal do CCS

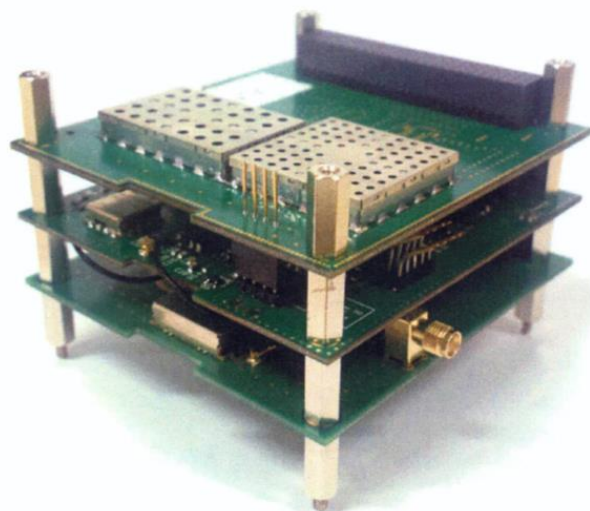
[Fonte: <http://www.inpe.br/crc/>]



3. A Operação Coordenada

A Operação Coordenada do ITASAT contou com a infraestrutura de solo listada em 2.2 para o comissionamento do Experimento DCS. O DCS, apresentado na Figura 10, é um Transponder de Coleta de Dados desenvolvido pelo Centro Regional Nordeste do INPE (INPE/CRN), que tem a função de coletar informações de centenas de Plataformas de Coletas de Dados (PCDs) instaladas por todo o território brasileiro e regiões costeiras e retransmitir para as Estações Terrenas do INPE, alimentando o Sistema Nacional de Dados Ambientais (SINDA).

Figura 10. Experimento DCS (*Data Collection System*)

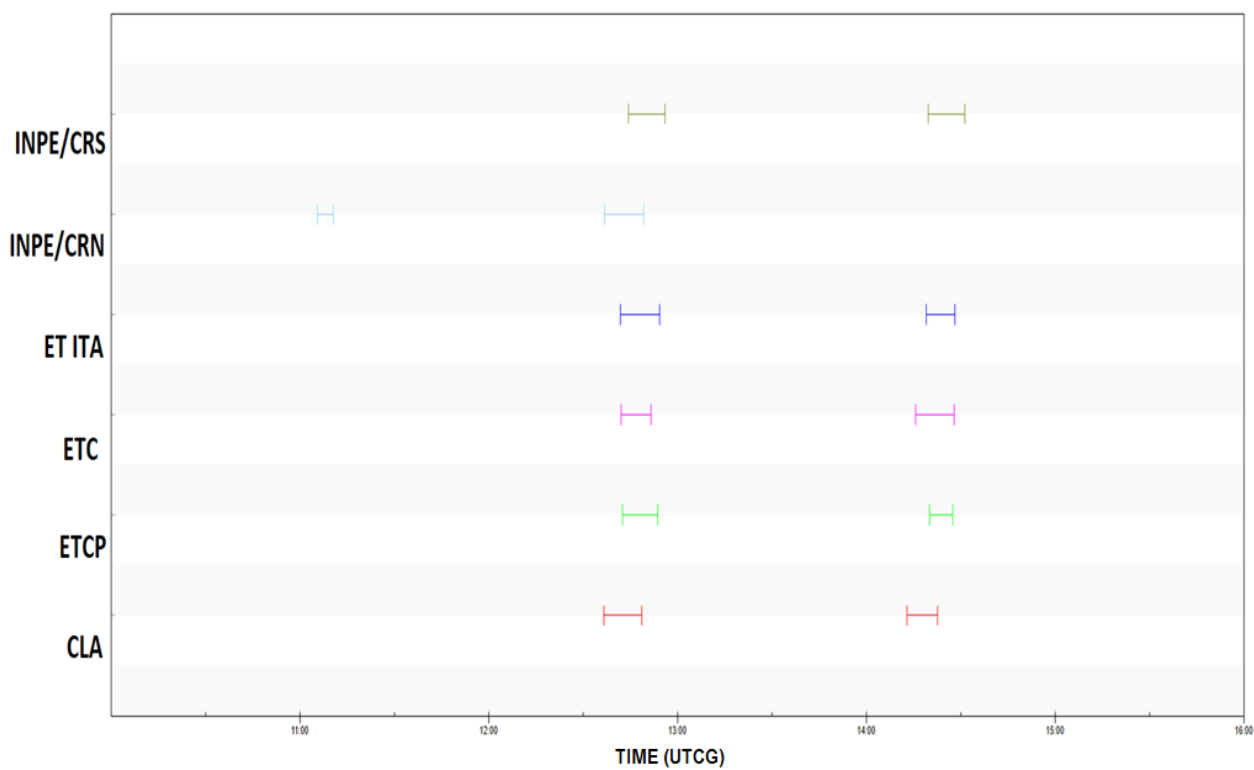


O DCS é um dos equipamentos a bordo do ITASAT que precisa ser ligado pelo satélite, por meio do envio de um telecomando específico, para começar a funcionar e transmitir os dados via Banda-S. Similarmente um telecomando para desligar o equipamento deve ser enviado.

A dinâmica de voo é responsável pela determinação e propagação de informações referentes a posicionamento orbital e apontamento de atitude de satélites. Ela utiliza medidas de rastreamento e calibração, obtidas por meio de execução de procedimentos em passagem, para determinação e propagação de parâmetros orbitais e de atitude. (TOMINAGA, 2010). Por meio de uma planilha das previsões de passagens e da dinâmica de voo, simulado no STK ou Orbitron, foi possível o gerenciamento de conflito entre os satélites controlados pelo CRC, são eles SCD1, SCD2 e CBERS-4, permitindo escolher as melhores janelas em que a passagem do ITASAT não estivesse em conflito com os demais satélites monitorados pelo CRC. Foi possível avaliar também, através de diagrama, os melhores períodos de passagem do ITASAT nas Estações Terrenas.

A Figura 11 apresenta um exemplo de diagrama com as previsões de passagens em todas as estações terrenas, ferramenta esta que auxiliou a decisão de quais passagens permitiam maior cobertura do território brasileiro pelas ET participantes.

Figura 11. Diagrama dos Períodos de passagens do ITASAT nas Estações Terrenas simulado no STK



3.1. POV da operação ITASAT

A sequência das atividades e as informações pertinentes à operação coordenada do ITASAT foram organizadas e compartilhadas a partir da implementação de um Plano de Operação de Voo (POV). Para cada passagem, um novo POV precisa ser gerado. O POV do ITASAT foi elaborado pela equipe de operação do ITASAT em conjunto com todos os participantes da missão, e contempla as seguintes informações:

- **Agenda:** Data e horário das passagens escolhidas para cada ET;
- **Objetivo:** Objetivo da operação coordenada, exemplo o “Comissionamento do DCS”;
- **Órbita:** Descrição da Órbita, inclinação, altitude e TLE;
- **RF:** Frequência de operação de TC e TM;
- **Cenário de operação:** situação das equipes e recursos disponíveis, clima atmosférico;
- **Equipes envolvidas:** Lista das estações terrenas e centros de controle de prontidão.
- **Previsões de Passagens:** Datas e horários de Prontidão, *Acquisition of Signal* (AOS), *Loss of Signal* (LOS), *Time of Closest Approach* (TCA) para Estações de Solo;
- **Passagens escolhidas:** Análise dos melhores períodos de passagem, das concorrências e das disponibilidades das antenas;
- **Procedimentos de Operação:** Sequência de ações e avaliações para cada estação terrena de acordo com o objetivo da missão;
- **Resultados esperados:** Funcionamento normal do satélite conforme configuração;
- **Relatos da operação:** Ocorrências de não conformidade no processo, comportamentos inesperados e análise da sua saúde do satélite;
- **Dados coletados:** Dados recebidos, armazenados e compartilhados por arquivos texto ou em formato de planilhas.
- **Comunicação:** Lista de contatos e aplicativos de comunicação, como E-mail, Whatsapp e Skype.

A atribuição de atividades no Procedimento de Operação é realizada conforme requisitos de operação pré-estabelecidos, como a sequência de telecomandos, modos de operação e estado de saúde do satélite.

Antes de repassar o POV para as equipes envolvidas na operação, a equipe de engenharia responsável pelo satélite fez uma verificação das atividades e dos modos de operação do satélite de acordo com o planejamento da missão ITASAT. Esta verificação pode ser feita por meio de análise de dados obtidos por testes funcionais do Modelo de Engenharia do satélite disponível em laboratório, com simulação de estados e modos e monitoramento do comportamento dos equipamentos.

3.2. Resultado da operação do ITASAT/DCS

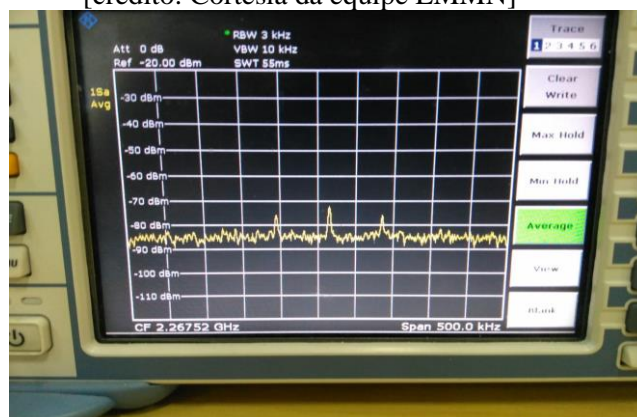
Durante um período de três semanas foram definidas as passagens diurnas do ITASAT pelo Brasil para operação coordenada, pelo motivo de disponibilidade dos operadores e presença do sol nos painéis solares, maximizando o fornecimento de energia para o satélite.

Em uma mesma passagem pelo território brasileiro foi necessário configurar o satélite e tentar receber os dados do Experimento DCS. Por ser uma passagem descendente (ITASAT passando no sentido norte-sul), a ET de Natal foi escolhida para enviar o comando de ligar o experimento por estar mais ao norte do país. As ETs de Alcântara e de Cuiabá ficaram em prontidão para receber os dados em banda S, coordenados pelo CRC de São José dos Campos. A equipe de engenharia do ITASAT acompanhou as atividades a partir da ET do ITA. A ET de Santa Maria recebeu os últimos sinais de Beacon com as informações de *housekeeping* do satélite. Durante a passagem com a operação do ITASAT, toda equipe de operação e comissionamento do Experimento ITASAT/DCS, formada pelas ETs, estavam conectadas em uma sala de videoconferência, acompanhando em tempo real a execução do POV. A ação foi coordenada também por *email* e aplicativos de mensagens por celular.

Para monitorar a saúde do satélite e do experimento foram enviados telecomandos de solicitação de dados específicos do subsistema de energia e do transponder do DCS. Uma vez ligado, telemetrias do experimento indicavam o seu funcionamento, mas ainda pendente de informação sobre a decodificação dos dados. Comparando-se o consumo do DCS em voo, resultantes da análise e tratamento dos dados de telemetria do experimento e do EPS, com o consumo obtido pelo DCS nos testes em bancada, verificou-se uma potência 35% menor que o esperado na fonte de 5V.

Devido ao frequente *reset* do satélite durante o período de eclipse não foi possível manter a estabilidade do Sistema de Controle de Atitude do Satélite. Consequentemente não foi possível manter o apontamento da antena de Banda-S do Experimento ITASAT/DCS para a adequada recepção do sinal, entretanto os resultados apresentados, de recebimento do sinal em um analisador de espectro foram usados para confirmação de que o transponder estava em operação e que havia presença do sinal em Banda-S, como mostra a Figura 12.

Figura 12. Analisador de Espectro sintonizado para recebimento do sinal do DCS em Banda-S
[crédito: Cortesia da equipe EMMN]



As Estações Terrenas de Alcântara e de Natal conseguiram detectar a presença do sinal do ITASAT/DCS utilizando um analisador de espectro sintonizado na frequência do sinal de saída. Entretanto, o sinal captado não possuía relação sinal ruído suficiente para permitir a correta decodificação do mesmo pela Estação de Alcântara. Além disso, foi verificado que o sinal “desaparece” quando o satélite passa no zênite das estações, o que pode indicar um possível erro de apontamento do satélite.

3.3. Avaliações da participação das ETs

Segue uma breve análise e relatos da participação da Estação Terrena na operação do ITASAT/DCS.

3.3.1. ET INPE/ITA - São José dos Campos

Na ET INPE/ITA a operação rotineira do ITASAT é realizada por ao menos dois operadores em cada passagem. Uma escala dos operadores era estabelecida em base diária para operação do ITASAT. Fez-se parte da rotina de operação a verificação da estação antes de cada passagem que incluíam as atividades de: verificar atualização da TLE, verificar a movimentação dos rotores, verificar a operação correta do *software* aplicativo da estação (*softwares* comerciais) e do *software* aplicativo de controle do ITASAT (*software* proprietário). Essa rotina precisava ser executada ao menos 15 minutos antes de cada passagem, para que em caso de anormalidade, rapidamente pudesse ser reiniciado todo o sistema.

No período de operação do ITASAT/DCS houve problemas no funcionamento do rádio transmissor da estação solo, inviabilizando a estação INPE/ITA de comandar o ITASAT, o que foi sanado com a participação das estações terrenas de Natal e Santa Maria com esta função.

As passagens e previsões acompanhadas diariamente utilizando o software Orbitron com a TLE atualizada viabilizaram a rotina de trabalho na operação e monitoramento do ITASAT.

O revezamento entre os integrantes da equipe na operação diária da Estação Terrena INPE/ITA permitiu uma melhor flexibilidade e continuidade da operação e monitoramento do ITASAT, incluindo nos finais de semana. Ao todo cinco operadores se revezaram durante a operação coordenada. Durante a operação, dois operadores estavam presentes em cada passagem, melhorando o desempenho durante aquela passagem em questão, dado que diversos parâmetros precisam ser monitorados simultaneamente e tomadas de decisão também eram necessárias ao longo de uma passagem.

A elaboração do Plano de Voo (POV) foi identificada como uma atividade fundamental para a operação do satélite em órbita e para a evolução da missão. Esta é uma atividade que precisa ser realizada periodicamente, exigindo que uma pessoa fique alocada para esta função no projeto. O POV do projeto ITASAT foi evoluindo ao longo da operação, com a colaboração das equipes e soluções encontradas para situações inesperadas.

3.3.2. ET(INPE-CRS) - Santa Maria

Em Santa Maria, as operações são realizadas pela Equipe de Rastreo e Controle de Nanossatélites do Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats, atualmente composta por três operadores.

Da mesma forma que a ET INPE/ITA, o *software* Orbitron é utilizado pelos operadores para compor a escala de operação. A escala de trabalho da Estação é atualizada a cada três dias, conforme são atualizados os arquivos TLE, e requer ao menos dois operadores à postos por operação. Também consta qual operador é responsável pela manutenção de rotina do sistema que consiste em: certificar a calibração correta dos rotores; verificação das configurações de *hardware* e *software*; assegurar a conexão dos computadores via rede e verificar a condição das antenas e conexões na unidade externa da estação.

As operações de rastreo na Estação de Rastreo e Controles de Nanossatélites de Santa Maria, ET(INPE-CRS) em cooperação com o Projeto ITASAT, iniciaram no dia 4 de dezembro de 2018 em *down* e *uplink* em

frequência radioamadora. No entanto, a recepção de TC pelo ITASAT só foi confirmada durante rastreamento no dia 6 do mesmo mês.

Todos os Telecomandos, ou TCs, foram enviados de acordo com o POV elaborado pela equipe do Projeto ITASAT, que os disponibiliza aos operadores em formato bruto hexadecimal.

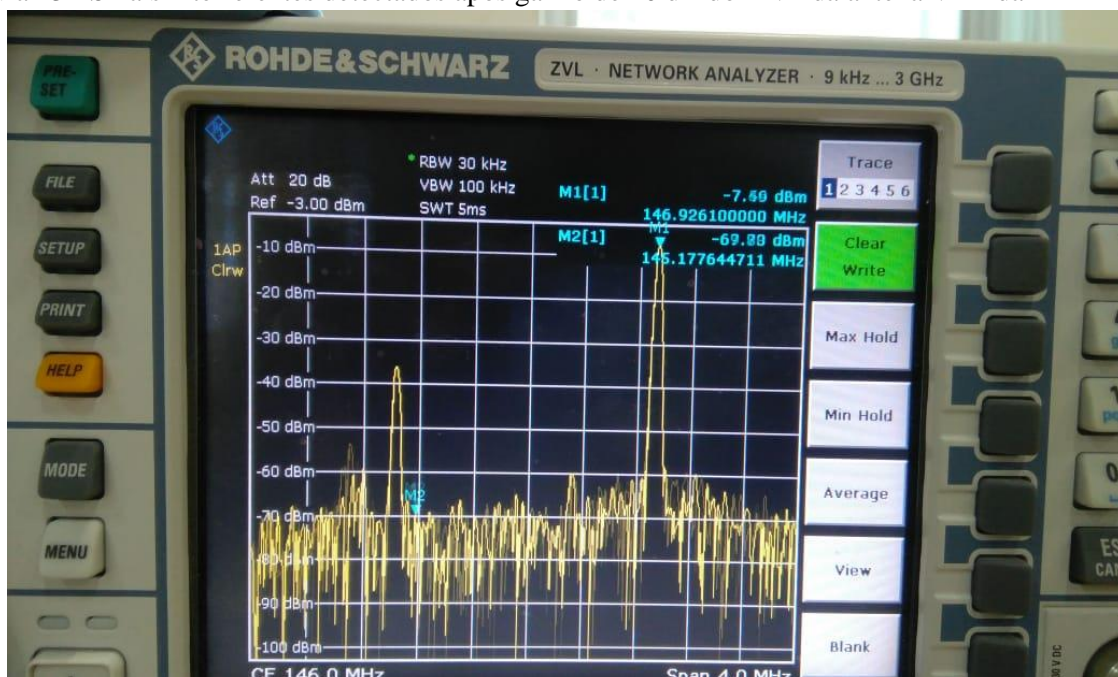
Após cada procedimento de rastreamento, um dos operadores da Estação é responsável por enviar os frames recebidos durante o rastreamento bem como o documento chamado de “Log do Operador”. O “Log do Operador” é realizado em arquivo “.txt” com o intuito de proporcionar fácil leitura e armazenamento, nele constam: data, horário, ângulos de elevação e azimute nos pontos máximos da passada, valores de frequências utilizados para *Uplink* e *Downlink* de dados e o relatório geral de atividades, onde o operador reporta todos os telecomandos que foram enviados, dados recebidos e operações realizadas. O “log do operador” é uma ferramenta essencial para documentação de erros e aprendizado em conjunto dos operadores.

3.3.3. ET INPE/CRN - Natal

Em Natal as operações são realizadas por um dos bolsistas que trabalha no desenvolvimento da EMMN. Inicialmente, o processo de recepção de telemetrias exigia a presença do operador, que encaminhava as mensagens recebidas por e-mail para a equipe do ITASAT. Este processo foi posteriormente automatizado, com as mensagens recebidas sendo armazenadas em um banco de dados, de forma bruta e também decodificada, e disponibilizadas para acesso remoto. Para isso, foi utilizado o aplicativo Grafana que simplificou o desenvolvimento de uma interface web para visualização de dados armazenados em banco de dados. O processo de transmissão de telecomandos, entretanto, ainda requer a presença de um operador para inserir os telecomandos do POV da equipe do Projeto ITASAT no software do transceptor da EMMN. Além disso, o operador deve elaborar um relatório descrevendo o resultado da operação para a equipe do ITASAT.

Um dos problemas que se verificou na operação foi a presença de sinais interferentes muito forte em frequências muito próximas a utilizada pelo *downlink* do ITASAT. Essas interferências se apresentam de forma intermitente e, quando presentes, inviabilizam a recepção dos frames do ITASAT por ultrapassarem o ponto de compressão de 1 dB (P1dB) do receptor, especificamente do módulo digitalizador de sinal de RF. A presença dessas interferências foi aferida por um analisador de espectro, Figura 13.

Figura 13 - Sinais interferentes detectados após ganho de 20 dB do LNA da antena VHF da EMMN.



Emerson Henrique Silva de Oliveira; Lidia Hissae Shibuya Sato; Denis Guilgim Vieira; Renan Guilherme Soares Menezes; Hélio André dos Santos; Luis Eduardo Vergueiro Loures da Costa; Thales Ramos Mânica; Leonardo Zavareze da Costa; Guilherme Ullrich; Nelson Schuch; José M. L. Duarte; Manoel J. M. de Carvalho; Mailson R. de M. Guimarães; Ricardo Sousa; Lúcio Jotha; Otávio Cupertino Durão; Fátima Mattiello Francisco
Operação da missão ITASAT - estratégia e lições aprendidas

Um estudo foi conduzido sobre esse problema em que verificou-se que as faixas de frequência imediatamente adjacente à faixa de rádio amador de 144-148 Mhz, utilizada pelo ITASAT, eram destinadas a uso privado para aplicação de segurança, tendo sido inclusive detectado o uso da faixa de 148,0-149,9 MHz pelos *walk-talk da* equipe de segurança do INPE-CRN. Apesar de esses serem um dos sinais que causavam problema na recepção, detectou-se que o principal problema ocorre na própria faixa reservada ao radioamadorismo. Segundo o Plano de Banda do *International Amateur Radio Union* (IARU) - Região 2, a faixa de 144-148 MHz é subdividida em diversas aplicações, sendo a faixa de 145,80-146,00 Mhz exclusiva para uso de satélites. Entretanto, as faixas de 145,20-145,50 e de 146,60-146,99 MHz são destinadas a saída de repetidoras, em que potências de transmissão de até 1500W são permitidas segundo a Resolução nº 697 de 2018 da Anatel. Infelizmente, descobrimos a existência de tais repetidoras nas proximidades do INPE de Natal. Com isso, chegou-se a conclusão que o desenvolvimento e instalação de um filtro passa faixa em 145,9 MHz com banda passante de 300 kHz seria uma solução para o problema.

O ITASAT foi de extrema importância para a EMMN, que se encontrava em desenvolvimento na data de lançamento do satélite, em um estado que ainda não permitia seu uso para operação de um satélite. A missão contribuiu para acelerar o desenvolvimento da EMMN ao prover condições para testar e para validar o sistema de rotação das antenas, o sistema de gerência de rastreamento e o transceptor da EMMN.

4. Conclusão

Os resultados obtidos e lições aprendidas com a operação conjunta e das estações é fato inédito no país para missões de satélites de pequeno porte. Os conhecimentos adquiridos pelas equipes serão utilizados na própria missão e servem como base para novas operações.

Apesar de não ter sido possível realizar a decodificação dos dados de PCDs retransmitidos pelo Experimento DCS, foi possível verificar por analisador de espectro que seu sinal Banda-S estava presente durante a passagem, confirmando o funcionamento do equipamento.

A elaboração e compartilhamento do POV possibilitou criar rotinas de execução para as atividades de operação das equipes nos horários programados. Foi uma experiência que agregou não somente conhecimentos técnicos, mas também capacitação gerencial e logística operacional.

A cooperação entre as estações terrenas implica num aumento significativo do campo de visada e conseqüentemente na recepção de dados enviados pelos nanosatélites em órbita espacial. A participação de estações terrenas de Natal e Santa Maria para operação do ITASAT se mostrou fundamental para o sucesso da execução das atividades, aumentando o tempo de funcionamento do Experimento DCS e o tempo de visada para estações de Alcântara e Cuiabá.

Os objetivos do projeto ITASAT, na formação de recursos humanos em projetos de aplicação espacial foram atingidos, com equipes de operadores sendo formados e treinados em um projeto real. O objetivo do ITA de desenvolver um satélite desde sua concepção até a sua operação foi igualmente atingido.

Agradecimentos: Agradecemos a Agência Espacial Brasileira pelo suporte financeiro ao projeto ITASAT. Agradecemos ao INPE pelo apoio técnico e Operacional e ao ITA pela oportunidade de realização do projeto.

5.REFERÊNCIAS

Sato, L. H. S, Fonseca, E.; “ITASAT Project - The new project philosophy and lessons learned”. 1st IAA Latin America Cubesat Workshop, At Brasilia, Brazil.

Tominaga J., Silva J. D. S., Ferreira M. G. V. “Verificação de planos de operações de satélites via simulador baseado em regras”. Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada (LAC) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, Brazil.

Ivo, A. A. S.. “UMA FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DE PLANOS DE VOO DE SATÉLITES USANDO MODELOS DE ESTADOS”. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, Brazil.

Kuga, Valcir Orlando e Hélio Koiti. “A CONQUISTA DO ESPAÇO - Do Sputnik à Missão Centenário” 2007, CAPÍTULO 6 - Rastreo e controle de satélites do INPE.

Marcos Aurélio Ferreira dos Santos; Mattiello-Francisco, Fátima; Yamaguti, W. - O Sistema Nacional de Dados Ambientais e a Coleta de dados por Satélite. In: XVI SBSR Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu. XVI SBSR Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013

QUEIROZ, K. I. P. M., CARVALHO, M. J. M., "Descrição Funcional do Subsistema de Controle e Rastreo da Estação Multimissão de Natal (EMMN)" Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006.

Mattiello-Francisco, M. F. and Gatto, R.C. “Environmental data system for Brazilian data collection satellite”, Proceedings of the Annual European Symposium on Satellite Remote Sensing II, edited by SPIE Vol. 2583, 25-28 September, Paris, France, 1995, pp. 515-525.