

Projeto Conceitual da Missão FireSat-BR para Monitoramento de Incêndios Florestais

Isabela Peixoto¹, Raquel S. Cordeiro da Silva¹, Alessandro R. dos Santos^{1,2}, Victor D. Mira¹, Willer Gomes dos Santos¹, Pedro de Albuquerque¹

¹Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

²Centro de Coordenação de Estudos da Marinha em São Paulo – CCEMSP

Resumo – Os impactos decorrentes dos incêndios florestais na região amazônica têm causado cada vez mais prejuízos em função da crescente ameaça à biodiversidade, sociedade e vidas. Visto que o Brasil precisa de um sistema mais eficiente para identificar e monitorar esses eventos, este trabalho descreve o projeto conceitual do desenvolvimento de uma solução satelital, denominada FireSat-BR, de baixo custo com o objetivo de detectar, identificar, monitorar e reportar incêndios, dando apoio aos órgãos responsáveis para permitir maior velocidade na tomada de decisão e na contenção do princípio de incêndios florestais.

Palavras-Chave – FireSat-BR, SME, Engenharia de Sistemas.

I. INTRODUÇÃO

Os aspectos negativos de queimadas florestais em um país abrangem diversas esferas, englobando não só a ambiental, mas também questões econômicas e políticas (nacionais e internacionais). Queimadas em larga escala ameaçam a biodiversidade e afetam a qualidade do ar, influenciando a saúde pública, a economia e o cenário político. Assim, meios para a detecção e monitoramento de queimadas são cruciais para um país como o Brasil, que possui mais de 60% de seu território coberto por florestas.

Satélites são um meio efetivo para monitoramento de grandes extensões do globo terrestre. Para monitoramento de incêndios florestais, busca-se soluções por meio de missões espaciais, conforme apresentado em [1], o qual faz um levantamento de alguns sistemas com essa finalidade pelo mundo. No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) possui os satélites CBERS e Amazônia-1 que realizam o monitoramento de queimadas no território brasileiro [2][3].

Para entender o desenvolvimento de uma missão espacial a partir da pré-concepção dos principais subsistemas de um satélite, este artigo apresenta o projeto denominado FireSat-BR para monitoramento das queimadas florestais. Embora tenha sido optado a missão em questão, outras missões poderiam ser paralelamente atendidas pelo sistema. A adição de objetivos pode diminuir o custo de um programa espacial, ao diminuir o número de lançamentos de satélites previstos, mas, por outro lado, pode aumentar significativamente o custo do satélite em desenvolvimento, ou mesmo inviabilizar a concepção do mesmo face à introdução de requisitos, que podem ser conflitantes.

No cenário de defesa, a Força Aérea Brasileira (FAB) é apontada como a responsável pelo setor espacial. A FAB, em 2018 publicou o Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE) [4], para a implementação de longo prazo dos projetos de sistemas espaciais, cujos produtos têm uso dual (civil e militar). O PESE identifica a necessidade de criar as

arquiteturas de satélite, de forma que este trabalho fornece uma exemplificação do processo a ser seguido, independente da missão final prevista.

O desenvolvimento do projeto conceitual do FireSat-BR foi baseado no processo de Engenharia de Missão Espacial (SME, do inglês *Space Mission Engineering*), apresentado em [5], cuja abordagem preconiza a definição de uma missão espacial voltada para o atendimento dos requisitos do cliente, dentro dos valores mínimos de custo e prazo possíveis. O método foi aplicado também no desenvolvimento conceitual de uma solução satelital para auxílio no monitoramento de desastres naturais no Brasil [6]. O desenvolvimento de uma missão espacial foi apresentado também em [7], no qual foi realizada a conceitualização de um *CubeSat* para exploração de asteroides.

Embora incêndios florestais possam ocorrer em todo o território nacional, o escopo deste trabalho estabelece a Amazônia Legal como sendo a região de monitoramento a ser estudada, considerando uma área geográfica de cerca de 5 milhões de quilômetros quadrados.

Este trabalho está organizado da forma que segue. A Seção II introduz as etapas iniciais do processo SME, enquanto o projeto da órbita utilizada na missão FireSat-BR é apresentado na Seção III. A Seção IV descreve o projeto conceitual dos subsistemas de propulsão, determinação e controle de atitude, gerenciamento de bordo, comunicações e energia, além de apresentar os modos de operação do satélite. As considerações finais são discutidas na Seção V.

II. PROCESSO SME

O método SME [5] estabelece um processo de 4 etapas na análise de decisões para soluções de sistemas espaciais:

1. Definir Objetivos e Restrições;
2. Definir Conceitos Alternativos de Missão;
3. Avaliar Conceitos Alternativos de Missão, e
4. Definir/Alocar requisitos de sistemas.

A solução final é obtida a partir de iterações, cujo objetivo é refinar a solução, levando-se em conta as restrições impostas no projeto.

Nesta seção serão abordadas as fases da Etapa 1 que visam definir os objetivos e restrições da missão.

A. Declaração da Missão

A declaração da missão apresenta os objetivos e as necessidades que deverão ser eventualmente atendidos pela missão: “O Brasil precisa de um sistema provido de uma

maior eficiência para identificar e monitorar os incêndios florestais. Além disso, é desejável, mas não requerido, monitorar tais eventos em outras nações; coletar dados estatísticos de surtos de incêndios, seu espalhamento, velocidade e duração e fornecer outros dados de gerenciamento florestal. Isso deve ser feito a baixo custo, para que o sistema seja acessível ao Serviço Florestal sem que haja a sensação de desperdício de dinheiro, que poderia ser mais bem gasto em equipamentos e equipes de combate a incêndios. Finalmente, o escritório de monitoramento de incêndios do Serviço Florestal, os oficiais de gerenciamento de incêndios em campo, os bombeiros e os guardas individuais que combatem os incêndios usarão esses dados. Os fluxos e formatos de dados devem atender às necessidades de todos os grupos, sem treinamento especializado e devem permitir que eles respondam pronta e eficientemente as mudanças nas condições do sistema.”

B. *Objetivos Qualitativos e Restrições*

A partir da declaração da missão, descrita na subseção A, são definidos os objetivos e as restrições para a missão FireSat-BR.

Objetivo Principal: Detectar, identificar, monitorar e reportar incêndios florestais no território brasileiro em tempo hábil a baixo custo.

Objetivos Secundários: (a) Monitorar incêndios em florestas de outros países; (b) coletar dados estatísticos de início, propagação, duração e velocidade de incêndios florestais; (c) prover dados de gerenciamento da floresta; e (d) mostrar à população a preocupação e o combate a incêndios florestais.

C. *Principais Stakeholders*

Uma vez definidos os objetivos, o próximo passo é identificar os principais interessados (*stakeholders*) na missão.

O **cliente primário** seria o Ministério do Meio Ambiente (MMA), e seu objetivo é detectar e monitorar incêndios florestais em todo o território nacional.

O **cliente secundário** seria o Governo Federal e seu objetivo é demonstrar para a população, e aos demais países, as ações tomadas contra a degradação ambiental causada por incêndios florestais.

O **operador do sistema** seria o Centro de Operações Espaciais (COPE), cuja função é prover dados aos usuários finais, assim como armazená-los; monitorar e manter a saúde do satélite.

Os **usuários finais** seriam o Corpo de Bombeiros, Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM), e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), cujo objetivo é localizar e combater prontamente incêndios florestais, evitando sua propagação.

D. *Requisitos e Restrições*

A última fase desta primeira etapa consiste na identificação dos requisitos e restrições do projeto. Os requisitos funcionais e operacionais identificados, somados às restrições impostas tiveram grande influência na tomada de decisão dos elementos que compõem a missão.

Requisitos Funcionais:

- Realizar reconhecimento de áreas de 5 x 5 m;
- Monitorar diariamente a área da Amazônia Legal;
- Informar a ocorrência de incêndio em, no máximo, 12 horas.

Requisitos Operacionais:

- O Ministério do Meio Ambiente é responsável pelo comando da missão;
- O sistema deve operar ininterruptamente 24 horas por dia;
- Tempo de vida do sistema deve ser de, no mínimo, 5 anos;
- Os dados devem ser protegidos, garantindo a segurança da informação.

Restrições:

- Estar comissionado com total controle do COPE até o final de 2025;
- Ser compatível com as interfaces do COPE;
- O sistema deve atender às legislações nacionais e internacionais;
- Em caso de aquisição do sistema, o mesmo deverá ser adquirido, prioritariamente com empresas da Base Industrial de Defesa (BID) brasileira;
- Deve ser livre de embargos de transferência de tecnologia.

III. PROJETO DA ÓRBITA

O design orbital é determinado a partir dos requisitos levantados para a missão do FireSat-BR, sendo confrontados com os elementos da missão e as seguintes restrições determinadas ao projeto:

- O sistema FireSat-BR deverá consistir em apenas 1 satélite; e
- A órbita deve ser aproximadamente circular com altitude superior a 300 km e inferior a 1000 km (órbita terrestre baixa –LEO, do inglês *Low Earth Orbit*).

A. *Identificação das Queimadas*

Para distinguir a formação de nuvens da distribuição de fumaças causadas pelos incêndios, é comum empregar o uso de sensores de infravermelho. Entretanto, essa opção foi descartada em função de seu elevado custo [8]. Em contrapartida, o uso de câmeras digitais capazes de detectar ondas de infravermelho próximo (NIR) tem se mostrado uma solução viável e eficaz para este tipo de emprego. Utilizando um sensor com sensibilidade na faixa de 400 a 900nm é possível detectar queimadas e mensurar a área devastada pelas chamas a um baixo custo. Além disso, é possível monitorar o desmatamento de florestas, sem a necessidade de sensores adicionais, visto que um sensor nessa faixa pode captar todo o espectro óptico e uma parte da banda NIR [8].

Dessa forma, definiu-se que identificação das queimadas pode ser realizada através de imageamento nos espectros óptico (comprimento de onda entre 400 e 700nm) e infravermelho próximo (NIR, entre 700 e 1400nm), verificando a presença de fumaça e calor emitido.

B. Definição da Órbita

Queimadas na superfície terrestre devem ser monitoradas com órbitas referenciadas à Terra, cujos parâmetros dependem dos requisitos da missão. No caso do FireSat-BR, o objeto a ser monitorado é a Amazônia Legal, com uma área de aproximadamente 5 milhões de km².

A definição da altitude da órbita foi realizada, primeiramente, considerando a taxa de decaimento e o tempo de vida do satélite, definido em 5 anos, adicionado ao fato que a reentrada do satélite deve ocorrer em, no máximo, 25 anos [9].

Para obter a faixa de altitude desejada para a órbita, foi considerado um intervalo de altitude inicial de 300 a 1000 km e um coeficiente balístico de 108,9 kg/m². Por meio de modelos analíticos de cálculo de altitude, foi analisado quais órbitas, no intervalo, atenderiam as condições de reentrada mencionadas, e aquela que ofereceria uma área de acesso que permitiria uma melhor cobertura, em cada passagem, para a área da Amazônia Legal. A resposta obtida foi um intervalo de altitude entre 460 a 520 km.

A definição da inclinação foi feita considerando a cobertura do alvo ao longo de um dia. Também recorrendo a modelos analíticos, os resultados da simulação mostraram que uma inclinação de 8° fornece uma boa cobertura para as latitudes de 5°N e 15°S - extensão aproximada em latitude da Amazônia Legal. Dessa forma, a órbita desejada para o FireSat-BR é proposta conforme apresentado na Tabela I.

TABELA I. ÓRBITA DESEJADA PARA O FIRESAT-BR

Altitude	Inclinação
460 – 520 km	8°

IV. PROJETO DOS SUBSISTEMAS

Para este trabalho foram definidos os subsistemas de Propulsão, Determinação e Controle de Altitude, Controle de Bordo, Comunicações, e de Energia. Foram adotados os métodos propostos na Referência [5] para realizar os projetos conceituais dos subsistemas apresentados nesta seção.

A. Subsistema de Propulsão

O subsistema de propulsão foi definido a partir das características básicas do satélite, conforme descrito na Tabela II.

TABELA II. CARACTERÍSTICAS DO SATÉLITE

Característica	Valor
Massa Seca	20 kg (microsatélite)
Delta-V Total	50 m/s
Maior Delta-V Parcial	5 m/s
Impulso do Propulsor	1 a 10 mN
Número de Propulsores	4
Material do Tanque	Titânio

Foram avaliados três sistemas propulsivos, a saber: gás frio, monopropelente e bipropelente, com o uso de uma ferramenta paramétrica desenvolvida pelo Centro Espacial ITA (CEI) [10]. A metodologia associada à escolha do subsistema propulsor baseia-se na definição das variáveis de

entrada para cada tipo de sistema propulsivo, e na avaliação da melhor relação massa/volume do sistema.

Após a avaliação dos três sistemas propulsivos estudados, considerando o custo como uma restrição imposta e que o desempenho não deveria ser comprometido, optou-se pelo sistema a Gás Frio, cujas características são apresentadas nas Tabelas III e IV:

TABELA III. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE GÁS FRIO

Propelente	Potência Elétrica requerida para acionamento dos propulsores
Butano	8 W

TABELA IV. MASSAS DOS ELEMENTOS DO SISTEMA DE GÁS FRIO

Componente	Massa Unitária (kg)	Quantidade	Massa Total (kg)
Propelente	1,859	-	1,859
Tanque	1,500	1	1,500
Propulsor	0,380	4	0,460
Sistema Alimentação*	1,626	-	1,273
Massa total			5,092

* Válvulas, filtros, linhas e acessórios, transdutores de temperatura de pressão e aquecedores.

O sistema de gás frio possui a vantagem de não ser um sistema complexo, o que implica em baixos custos de construção e operação, além de possuir um peso seco baixo (menor que 25 kg) demandando um baixo empuxo para controle de altitude.

B. Subsistema de Determinação e Controle de Altitude (ADCS)

O FireSat-BR tem como premissas ser de baixo custo, em órbita baixa quase equatorial (inclinação de 8°), com um curto tempo de vida, e possuir estabilidade em 3 eixos. Com isso, entende-se que a técnica passiva de controle Gradiente de Gravidade + *Momentum Bias* com Apontamento Terrestre e acurácia (3σ) aproximada de 5 graus permite o controle de atitude na missão em questão. O FireSat-BR é um satélite pequeno com um baixo delta-V, onde grandes sistemas propulsivos não são aplicáveis, não sendo mandatório para a missão a possibilidade de mudança de órbita. Assim, tem-se por requisito apenas a Manutenção de Órbita e Manobras de Compensação (<100 m/s). As manobras de atitude (*slew*) foram desconsideradas devido às restrições já mencionadas (baixo custo e baixo peso).

Na primeira iteração, na fase de definição dos elementos do ADCS, considerou-se o satélite como um cuboide sólido com densidade uniforme, e parâmetros de entrada que englobam:

- A órbita do Satélite;
- Propriedades de massa do satélite;
- Torques de perturbação ambientais: pressão de radiação solar, campo magnético e arrasto atmosférico.

No projeto de atuadores realiza-se o dimensionamento das rodas de reação e das bobinas magnéticas, cujos valores obtidos são apresentados na Tabela V.

TABELA V. RESUMO DOS VALORES DO PROJETO DOS ATUADORES

Torque para a roda de reação	$0,84 \times 10^{-5} \text{Nm}$
Momentum angular a ser armazenado na roda de reação	0.0282 Nms
Dipolo magnético das bobinas magnéticas	19,0 Am ²

Com tais valores, foram selecionadas as possíveis rodas de reações e bobinas magnéticas que atendem às especificações do projeto em questão, sendo escolhidos os seguintes modelos comerciais de atuadores: roda de reação RW-0.03-4 e bobina magnética TQ-15.

Para os sensores, optou-se por uma combinação de magnetômetro, por serem sensores leves (de 0,3 a 1,2 kg), simples, confiáveis, e exigirem baixa potência, com sensores solares para aprimorar a precisão. Os sensores selecionados foram o sensor solar MOOG CoSS-R e o magnetômetro HMR2 300r.

Encerrando o projeto conceitual do ADCS, foram levantados possíveis algoritmos de determinação e controle que podem ser aplicados ao satélite FireSat-BR.

C. Substema de Gerenciamento de Bordo (OBDH)

O substema de Gerenciamento de Bordo (OBDH, do inglês *On Board Data Handling*) é responsável por gerenciar todas as funções vitais do FireSat-BR, garantindo sua correta operação ao longo da vida útil. As restrições impostas para o projeto do FireSat-BR delimitaram a solução para um substema com capacidade limitada à coleta, armazenamento e transferência de imagem para a estação terrena. Destacam-se os seguintes elementos do substema OBDH:

1) *Arquitetura do Computador*: A arquitetura proposta para o computador do FireSat-BR é apresentada na Figura 1.

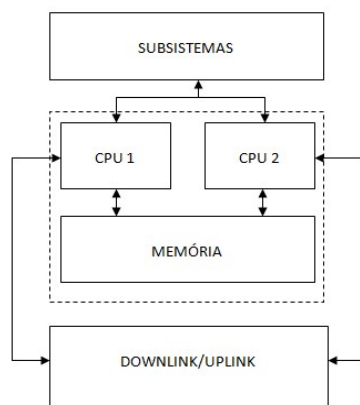


Fig. 1 - Arquitetura do computador de bordo do FireSat-BR.

São considerados dois processadores com operação independente, garantindo a redundância do sistema e evitando a perda de dados caso um deles seja avariado. Os processadores estão ligados aos demais substemas do satélite para receber os comandos oriundos da estação terrena por meio de *uplink* (envio de telecomandos) e transferência de dados coletados por meio do *downlink* (recebimento de telemetrias: dados de engenharia e carga útil). Estes dados recebidos e/ou coletados são armazenados temporariamente na memória.

2) *Software embarcado*: Os códigos computacionais embarcados no FireSat-BR, necessários para o atendimento

da missão, são: Comando e Gerenciamento de Dados, Comunicações, Controle de Altitude, Articulação, Proteção de Falhas, Sistema Operacional e Armazenamento.

3) *Análise de Tempo e Dimensionamento*: Os resultados da análise de tempo e dimensionamento foram obtidos a partir da premissa de que o computador de bordo teria uma capacidade de memória suficiente, tanto para o armazenamento como também no processamento de *downlink* para a estação terrena. Assim, arbitrou-se um aumento de 20000 vezes na margem de memória do software. Considerando-se o armazenamento de imagem, a memória do computador necessária é de cerca de 29Gb, com uma margem de tempo de 25%.

D. Substema de Comunicações

O substema de comunicações é responsável pela comunicação entre o satélite e as estações terrenas por meio de canais de *uplink* e *downlink*.

Neste substema, a taxa de dados de *downlink* esperada é de 600Mbps. Para atender este requisito, considera-se que o satélite esteja na latitude aproximada de Brasília (15° S) e tenha entre 7 e 8 passagens diárias com um tempo de visada para estação terrena de 7 minutos, gerando 640 x 480 *pixels*, com 12 *bits* de profundidade a uma taxa de 145 *frames* por segundo.

Definida a quantidade de dados a ser transmita pelo enlace, analisa-se a quantidade de potência que chega ao receptor da estação terrena ou do satélite:

1) *Enlace dos Dados de Subida (uplink)*: a partir dos dados da estação terrena e do satélite, obtém-se o valor da potência recebida pelos receptores do satélite FireSat-BR de -45,76 dBW. Este resultado indica a necessidade de um receptor de alta sensibilidade, além de um sistema de amplificação.

2) *Enlace dos Dados de Descida (downlink)*: também a partir dos dados da estação terrena e do satélite, obtém-se o valor da potência que chega nos receptores do satélite FireSat-BR de -46,24 dBW. Este resultado também indica a necessidade de um sistema de amplificação a fim de melhorar a qualidade do sinal recebido.

E. Substema de Energia

O substema de energia (EPS, do inglês *Electrical Power System*) fornece, armazena, regula e distribui a energia elétrica para os instrumentos e demais substemas do satélite. O EPS é um substema fundamental, e comumente compreende até um terço da massa e volume total do satélite [11]. Descrevem-se, a seguir, os principais elementos para o projeto conceitual do EPS:

1) *Dimensionamento da fonte de energia*: a energia para o FireSat-BR é gerada por meio de células solares. Para realizar o dimensionamento e seleção das células que compõem os painéis solares são seguidos os seguintes passos:

- **Quantidade de Potência a ser produzida**: sendo optada a técnica de controle de energia *Direct-Energy-Transfer* (DET), onde a energia é transferida diretamente do painel solar para o barramento do sistema de potência, a quantidade de potência a ser gerada pelos painéis solares é de 304,7 W.

- **Tipo de Célula e Potência de Saída por área:** para o FireSat-BR, optou-se pela célula solar de junção tripla ZTJ com eficiência $\eta_e = 29,5\%$. A potência de saída por unidade de área solar para a célula solar é 403 W/m^2 .
- **Área e massa do painel solar:** determina-se a área necessária de painel solar é de $1,5 \text{ m}^2$ com massa estimada de 12 kg .

2) **Armazenamento de Energia:** serão utilizadas baterias secundárias recarregáveis, do tipo ion-lítio (Li-ion), por fornecerem uma maior densidade de energia. A capacidade da bateria obtida para o projeto foi de $C_r = 465,7 \text{ W.h}$.

3) **Controle e Regulagem de Energia:** este subsistema é definido a partir de quatro passos:

- **Determinação dos requisitos da missão:** identifica quais os níveis de tensão aceitos, para posterior definição do conversor de tensão. A potência de entrada é dada pela faixa de tensão e corrente, duração de tempo transitório e oscilação de tensão.
- **Determinação da fonte de energia:** a energia do satélite será entregue por células solares de junção tripla ZTJ, com uma área de $1,5 \text{ m}^2$.
- **Controle elétrico:** a quantidade de potência a ser produzida é a de DET, por conta de sua baixa complexidade, menor massa e custo.
- **Controle de tensão do barramento elétrico:** é definido a partir da definição de quanto de controle de cada carga é exigido, a variação de tensão quando de carga a descarga, do subsistema de carregamento de baterias, ciclo de vida e massa total.

4) **Distribuição de Energia:** este subsistema é definido a partir da minimização da perda de potência e massa de forma a satisfazer os requisitos de custo, confiabilidade, e qualidade de potência. Nesse contexto, pode-se citar os seguintes elementos de projeto:

- **Perfil de Carga Elétrica:** a saída dos painéis solares e baterias são do tipo tensão DC. Como não existem equipamentos no FireSat-BR que exigem a conversão, a distribuição DC é mantida. A tensão de funcionamento do sistema é baixa, considerando o FireSat-BR como um satélite pequeno.
- **Controle Centralizado ou Descentralizado:** em decorrência do tamanho do FireSat-BR, será utilizado o controle centralizado onde os conversores regulam a potência de todas as cargas na plataforma principal.
- **Sistema de Proteção de Falha:** deve-se considerar: o tamanho dos cabos, a existência de corrente elétrica em excesso, a capacidade de armazenamento de potência, e a localização e tipo de fusíveis.

F. Modos De Operação

Os modos de operação previstos para o FireSat-BR são apresentados na Figura 2 e descritos abaixo:

- **Modo Safe:** Somente EPS e OBDH (em modo de espera) estão operacionais. O satélite opera nesse modo logo após sua inicialização, ou em caso de falha crítica;

- **Modo de Aquisição de Atitude:** Neste modo estão operacionais os subsistemas ADCS, EPS e OBDH. Esse modo é acionado por telecomando (TC) na fase de aquisição de órbita;
- **Modo Nominal:** É o modo correspondente à fase nominal da missão. Todos os subsistemas estão operacionais. Esse modo é acionado por TC;
- **Modo de Descarte:** A reentrada do FireSat-BR será não controlada, portanto não há operações nesse modo.

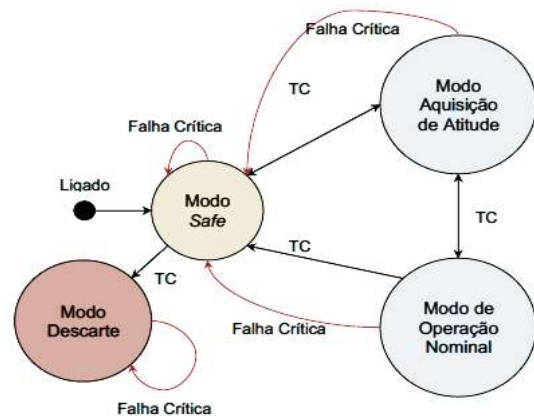


Fig.2 - Modos de operação do FireSat-BR.

A análise do pior caso de operação é apresentada na Tabela VI. A análise considera o pior cenário de operação de cada um dos subsistemas, qual o impacto desse cenário e o modo de operação onde ele pode acontecer. A coluna “Margem” especifica a margem de segurança para cobrir o pior caso.

TABELA VI. PIORES CASOS PARA CADA SUBSISTEMA.

Subsistema	Impacto	Modo de Operação	Margem
Propulsão	Maior consumo de propelente durante a fase de aquisição orbital	Aquisição de órbita	30%
Energia	Grande consumo de energia e baixo (ou nulo) fornecimento dos painéis solares	Nominal	30%
ADCS	Prejudicar a precisão do apontamento	Nominal	x 2
OBDH	O OBDH precisaria lidar com grande volume de dados	Nominal	45%
Comunicação	Grande volume de dados a transmitir	Nominal	35%

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto de FireSat-BR descrito neste artigo trata de uma primeira iteração da fase de pré-concepção da missão, ou pré-fase A do ciclo de vida de sistemas, sendo realizado o estudo de órbita e dimensionamento dos Subsistemas de Propulsão, Determinação e Controle de atitude (ADCS), Gerenciamento de Bordo (OBDH), Comunicações, e Energia (EPS). Adicionalmente, é realizada uma análise dos modos de operação do veículo espacial.

A restrição imposta pela redução de custos norteou grande parte das decisões de projeto, resultando em uma missão de microsatélite com massa de até 25 kg , em órbita circular a uma altitude entre 460 e 520 km , com reentrada não controlada em menos de 25 anos. Propõe-se realizar

omonitoramento das queimadas nos espectros óptico e infravermelho próximo (NIR).

Optou-se por minimizar as manobras em órbita, considerando apenas manobras de correção orbital. Isso resulta em subsistemas de propulsão e ADCS mais simples e leves, assim como redução do custo do sistema espacial.

O FireSat-BR visa fornecer uma boa cobertura da área de interesse, a Amazônia Legal, devido à sua baixa inclinação da órbita (8 graus). Além disso, o grande número de passagens diárias sobre a estação terrena de Brasília é conveniente para a transferência do volume de dados coletados pelos sensores de imageamento. Ainda assim, os subsistemas de comunicações e gerenciamento de bordo precisam ser robustos para acomodar aproximadamente 28 GB de dados coletados a cada observação.

Dos estudos relatados neste documento, conclui-se que, novas iterações no processo são necessárias para refinar as estimativas encontradas até então, sendo possível considerar uma constelação de satélites em estudos futuros.

REFERÊNCIAS

- [1] Barmpoutis, P., Papaioannou, P., Dimitropoulos, K., Grammalidis, N. "A Review on Early Forest Fire Detection Systems Using Optical Remote Sensing." *Sensors*, vol. 20, no. 22, p. 6442, Nov. 2020, doi: 10.3390/s20226442.
- [2] INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. CBERS. Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres. "Usos e Aplicações". 06 dez. 2019. Disponível em: <http://www.cbers.inpe.br/sobre/ usos_aplicacoes.php>. Acesso em: 19 de mai. de 2021.
- [3] INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Amazonia. Disponível em: <<http://www.inpe.br/amazonia1>>. Acesso em: 19 de mai. de 2021.
- [4] MINISTÉRIO DA DEFESA. Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE) - MD20-S-01c. 2018.
- [5] Wertz, J. R., Everett, D. F., Puschell, J. J. "Space Mission Engineering: The New SMAD". Hawthorne: Microcosm Press, 2011
- [6] Azevedo, J., et. Al. "Projeto Conceitual da Missão PIMSat (Pluviometric Index Monitoring Satellite)". IN: Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa (SIGE), 2020, São José dos Campos. Anais [...]. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2020.
- [7] Benedetti, G., et. al. "Interplanetary CubeSats for asteroid exploration: Mission analysis and design". *Acta Astronautica*, v. 154, p. 238-255, 2019. ISSN 0094-5765. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.05.011>.
- [8] Burnett, J. D., Wing, M. G. "A low-cost near-infrared digital camera for fire detection and monitoring". *International Journal of Remote Sensing*, 2017, 39, 741-753.
- [9] INTER-AGENCY SPACE DEBRIS COORDINATION COMMITTEE. IADC-02-01: IADC Space Debris Mitigation Guidelines Revision. 2007.
- [10] Santos, W. G. "Satellite Propulsion System Model". Centro Espacial ITA, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2020.
- [11] Kovo, Y. "State of the Art of Small Spacecraft Technology: 3.0 Power". National Aeronautics and Space Administration (NASA), 27 de nov. de 2020. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa-2020/power>>. Acesso em: 03 de dez. de 2020.