



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3/2023

RAFAEL RODRIGUES LUZ BENEVIDES, Cap Eng ELN

**Sobre a utilização de satélites compactos na implantação dos sistemas
espaciais de sensoriamento remoto do Programa Estratégico de Sistemas
Espaciais**

Rio de Janeiro

2023

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3/2023

RAFAEL RODRIGUES LUZ BENEVIDES, Cap Eng ELN

Sobre a utilização de satélites compactos na a implantação dos sistemas espaciais de sensoriamento remoto do Programa Estratégico de Sistemas Espaciais

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Ciência, Tecnologia e Inovação

Orientador: Edivaldo Pires de Figueiredo,
Ten Cel ESP SUP

Rio de Janeiro

2023

RAFAEL RODRIGUES LUZ BENEVIDES, Cap Eng ELN

Sobre a utilização de satélites compactos na a implantação dos sistemas espaciais de sensoriamento remoto do Programa Estratégico de Sistemas Espaciais

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

Edivaldo Pires de **Figueiredo**, Ten Cel Esp Sup
EAOAR

Robertha Lima Souza da Silva, Cap Av
EAOAR

Rio de Janeiro

2023

RESUMO

Satélites de sensoriamento óptico desempenham papel fundamental em operações militares modernas, para as quais fornecem valiosas informações sobre eventos ocorridos na superfície da Terra e em diversos cenários operacionais, como vigilância e reconhecimento, planejamento de missões, monitoramento de fronteiras e desmatamento. Este ensaio aborda a relevância da utilização de constelações de satélites compactos de sensoriamento para operações militares modernas. Previstas pelo Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE), comparando a abordagem industrial conhecida por *New Space* com a indústria espacial convencional. O ensaio argumenta que o uso de satélites compactos de baixo custo considerando suas substituições ao final de suas curtas vidas úteis, garante a sustentabilidade de missões a longo prazo. Dois argumentos principais são apresentados: menor custo de implementação e manutenção, que ajuda a manter missões mesmo em cenários de restrição orçamentária, e a utilização de tecnologias modernas e sistemas COTS para aumentar a disponibilidade de fornecedores. Ressalta-se que tais aspectos não se limitam à operação militar, podendo ser aplicadas a outras entidades, como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), IBAMA e Telebras, que necessitam de serviços semelhantes.

Palavras-chave: Satélite. Satélite Compacto. PESE. *New Space*.

1 INTRODUÇÃO

A utilização do espaço para fins militares remonta aos primórdios da exploração espacial. Desde o seu início, marcado na história com o lançamento do Sputnik 1 pela União Soviética em 1957, nações ao redor do mundo perceberam o potencial estratégico do espaço exterior, cuja militarização experimentou um crescimento acentuado durante a Guerra Fria. Nesse período, destacou-se a utilização de satélites espiões na órbita baixa do Planeta pelas nações beligerantes para monitorar atividades umas das outras, sendo esses considerados as primeiras plataformas espaciais de sensoriamento remoto.

Satélites de sensoriamento remoto possuem vida útil que pode variar de 3 a 15 anos (dependendo, entre outros fatores, da altitude de sua órbita), período após o qual o satélite deve ser substituído para garantir a continuidade da missão. Tendo em vista oferecer as capacidades de tais satélites às Forças Armadas, o Ministério da Defesa (MD) por meio do Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (BRASIL, 2018) (PESE) prevê em seu texto a implantação do Projeto Carponis: uma constelação nacional de satélites de sensoriamento remoto óptico; a ser operada pelo Centro de Operações Espaciais (COPE), um dos centros do Comando de Operações Aeroespaciais (COMAE). O documento preconiza ainda, no seu item 3.4.12, ciclos de renovação de 6 a 8 anos para todos os satélites da constelação, mas deixa em aberto a possibilidade de modificação dessa estratégia de renovação se justificadas as vantagens.

Nesse contexto, e de maneira bastante natural, vislumbra-se duas estratégias para a implementação de tal sistema: (1) utilizar uma constelação convencional de satélites de mesma órbita (mesmo lançamento), vida útil longa (maior que 5 anos), alto custo e baixa taxa de renovação; (2) compor a constelação a partir de vários satélites modernos em diferentes planos orbitais (ou diferentes lançamentos) com baixa vida útil (menor ou igual a 5 anos), baixo custo e alta taxa de renovação.

Diante das estratégias mencionadas, este ensaio defende a tese de que a utilização de satélites compactos de baixo custo para compor a constelação, bem como suas renovações em períodos curtos, asseguram a sustentabilidade de tal missão espacial a longo prazo.

O primeiro argumento para sustentar tal tese diz respeito à diminuição dos gastos totais com a constelação em comparação a uma missão convencional e em

um cenário de restrição orçamentária. Enquanto na estratégia (1) o gasto é temporalmente concentrado no final da vida útil dos satélites, a estratégia (2) propõe aquisições anuais de poucos satélites, os quais continuamente substituirão aqueles no final de suas vidas úteis aumentando assim as chances de não interrupção dos serviços prestados pela missão.

O segundo argumento aborda o acompanhamento gradual da missão com a evolução tecnológica da indústria espacial, uma vez que essa estaria inserida no conceito de *New Space*: um conjunto de boas práticas e princípios empregados na indústria aeroespacial moderna que considera a iniciativa privada e novas tecnologias.

2 DESENVOLVIMENTO

Em cenários atuais, satélites de sensoriamento remoto representam uma revolução na capacidade das forças militares em todo o mundo de coletar informações críticas e tomar decisões informadas em tempo real. Com a capacidade de capturar imagens e dados detalhados da superfície terrestre a partir do espaço, esses satélites desempenham um papel fundamental em operações militares modernas. Por meio do uso de sensores ópticos de alta resolução, esses sistemas orbitais oferecem uma perspectiva única, permitindo a vigilância, o reconhecimento, a análise geoespacial e a tomada de decisões táticas e estratégicas.

Dentro do contexto apresentado, entende-se por sustentabilidade da missão espacial como a continuidade ou melhoria dos serviços fornecidos durante a substituição dos satélites no final da vida útil. Tal conceito é introduzido para dar a identidade e forma a um importante aspecto da missão que carece de atenção: a possível interrupção ou degradação dos serviços ao final da vida útil dos satélites da constelação.

2.1 Diminuição Dos Custos Do Sistema Espacial

Considerando a importância desses sistemas, é conveniente observar que a indústria espacial foi e até hoje tem sido dominada pelos métodos convencionais de desenvolvimento averso ao risco (Koechel *et al.*, 2018). De maneira usual, tais métodos não somente requerem elevados padrões de confiabilidade em engenharia,

como também uma redução extrema dos riscos envolvidos. Assim, sistemas espaciais convencionais acabam exigindo recursos financeiros e humanos substancialmente elevados.

A estratégia industrial acima descrita, que é claramente sensível ao processo de desenvolvimento, leva ao efeito conhecido por espiral espacial (Wertz, 2010), o qual pode ser intuitivamente resumido pelo ciclo: missões mais longas implicam em maiores níveis de confiabilidade; maiores níveis de confiabilidade implicam em custos mais elevados; custos mais elevados implicam em missões mais longas; tendendo, assim, a encarecer de maneira acentuada o projeto de sistemas espaciais. Tal efeito explica a tendência recente de entidades governamentais, institutos de pesquisa, empresas entre outros operadores de satélites a buscar soluções de menor custo (Woellert, 2011).

Em comparação com os sistemas espaciais convencionais, satélites compactos ou *lean satellites* são descritos como satélites pequenos, de baixo custo e cujas missões possuem curtas durações (Cho *et al.*, 2016). Tais satélites, que generalizam o conceito de pico, nano e micro satélites, caracterizam e identificam a vertente da indústria espacial moderna conhecida como *New Space*, popular pela relevante presença da indústria privada e de tecnologias que diminuem de maneira significativa os custos de uma missão espacial (Koechel *et al.*, 2018) principalmente devido à larga utilização de componentes *Commercial off-the-shelf* (COTS), informalmente traduzidos como componentes de prateleira, durante o seu processo de fabricação (Di Roberto *et al.*, 2023). Satélites compactos representam uma parcela substancial das missões espaciais atualmente e sua rápida proliferação está mudando o cenário do setor espacial. Atualmente, universidades, pequenas empresas e países em desenvolvimento estão emergindo como novos *stakeholders* dessa tecnologia.

Essa nova conjuntura no setor espacial aumenta o conjunto de possibilidades de escolha de um sistema espacial para uma mesma missão. De fato, e novamente trazendo missões de sensoriamento remoto ao contexto, ressalta-se que essas são, de maneira convencional, comumente projetadas para durar de 6 a 8 anos e com poucos satélites em uma mesma órbita, todos levados à operação através de um mesmo lançamento, o qual corresponde à parte significativa do custo total do sistema em implantação. Em contrapartida, o paradigma introduzido pelo *New Space* sugere missões espaciais composta por grande quantidade de satélites

compactos distribuídos em vários planos orbitais diferentes, compondo então o que Koechel (2018) chama de mega constelações ou *Mega Constellations*, provendo sistemas com elevado número de graus de liberdades.

A fim de ilustrar o fato discutido, consideremos como exemplo o projeto de uma mega constelação de sensoriamento remoto composta por 9 satélites compactos, projetados para missões individuais de três anos, distribuídos igualmente em 3 planos orbitais diferentes. Para o particular caso, adota-se a estratégia de lançar 3 satélites por ano. A missão, por estar com menos satélites, operaria de maneira degradada até o início do terceiro ano em que todos os nove satélites estariam operacionais. Ao final do terceiro ano e considerando que os satélites da primeira missão parcial sairiam de operação, uma nova missão parcial seria lançada, fomentando assim de maneira ininterrupta a continuidade da missão.

Nesse momento, é importante ressaltar a política de custos com uma missão com tais características. Além de satélites compactos serem mais baratos que os convencionais, o custo de lançamento também é potencialmente menor uma vez que eles podem ser lançados juntamente com satélites de outras missões (informalmente chamado de *carona*, *pyggyback* ou *rideshare*). Assim, para o caso em estudo, ter-se-ia anualmente o custo de fabricação e lançamento de três satélites compactos, o que cadenciaria a manutenção financeira da missão. O volume de tal investimento anual, decerto, suportaria a sustentabilidade da missão em detrimento da utilização de constelações convencionais em que todo o gasto com a constelação acaba por se concentrar no final da vida útil, requerendo elevado orçamento e sempre em cenários políticos diferentes do anterior (maior que 4 anos). Portanto, missões espaciais compostas por constelações de satélites compactos apresentam maior robustez ao contexto orçamentário e político.

2.1 Alinhamento Com A Indústria Espacial Moderna

Devido a sua longa duração, bem como ao elevado nível de confiabilidade, missões espaciais convencionais comumente são implementadas através da utilização de tecnologias maduras, as quais foram testadas à exaustão. Assim, tais missões não apenas deixam de acompanhar o estado da arte no que diz respeito a tecnologia, como também não são atualizadas durante seu ciclo de vida. Dessa

maneira, apresentam um ciclo de vida tecnológico estático e antiquado (Koechel *et al.*, 2018).

Em contrapartida, a política empregada no *New Space* busca a utilização de tecnologias de ponta e robustas a possíveis intempéries. Implementando assim o conceito de *responsiveness* ou capacidade de resposta (em tradução livre), onde os subsistemas da espaçonave podem rapidamente reagir ou se adaptar à incertezas do ambiente espacial (Brown *et al.*, 2006).

Ainda sobre aspectos tecnológicos dessa nova indústria, ressalta-se que a utilização dos já citados componentes COTS abre uma importante porta para novas tecnologias, fomentando assim a versatilidade do projeto, conforme citado por Di Roberto (2023). Tal fato permite que um espectro mais amplo de empresas, especialmente as de menor porte, sejam capazes de fornecer esse tipo componente, o que incentiva a diminuição da dependência que existe dos centros espaciais operadores de satélites com as grandes fabricantes, como ocorre hoje com as missões convencionais utilizando satélites monolíticos (Brown *et al.*, 2006).

Diante desse contexto, a utilização de satélites compactos para compor as constelações de sensoriamento remoto previstas no PESE não apenas forneceria ganho tecnológico, mas também aumentaria de maneira substancial o fomento à indústria nacional, que ganharia novas oportunidades de entrar no mercado espacial a partir da fabricação de componentes COTS e de prestação de serviços como a montagem, integração e testes (*Assembly Integration and Test* ou AIT) de sistemas espaciais.

3 CONCLUSÃO

Tendo em vista a importância da missão que satélites de sensoriamento desempenham em operações militares modernas, este trabalho disserta sobre as vantagens da aquisição deste tipo de meio no contexto do *New Space*, a vertente moderna da indústria espacial, em relação à indústria espacial convencional.

Este ensaio defende a tese de que a utilização de satélites compactos de baixo custo para compor esse tipo de constelação, bem como suas renovações em períodos curtos, asseguram a sustentabilidade da missão a longo prazo.

A fim de sustentar tal tese, lança-se mão de dois argumentos: o primeiro diz respeito ao menor custo de implementação e manutenção dos satélites, suportando assim a não interrupção da missão em um cenário governamental de restrição orçamentária; enquanto o segundo considera a utilização de tecnologias modernas, robustas e COTS para constituir os subsistemas dos satélites da constelação, ampliando dessa maneira o número de fornecedores para tais sistemas. A partir do exposto, conclui-se de modo evidente as características dessa nova indústria para o setor espacial.

Finalmente, ressalta-se que os argumentos expostos não se limitam ao âmbito das implantações dos sistemas espaciais previstos no PESE, e futuramente operados pelo COPE. De fato, as condições discutidas para mega constelações não se esgotam à operação militar e podem ter seu escopo extrapolado para outras entidades fora do MD que necessitem de serviços semelhantes. De fato, tal implementação pode por exemplo beneficiar instituições como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), IBAMA e Telebras.

REFERÊNCIAS

BRASIL. “**Portaria Normativa nº 41 / MD de 30 de julho de 2018,**” Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE), Ministério da Defesa, Brasília, 2018.

BROWN, O.; EREMENKO, P.; HAMILTON, B. A.. Fractionated space architectures: a vision for responsive space. In: **4th Responsive Space Conference**. Los Angeles: AIAA, 2006.

CHO, M.; HIROKAZU, M. Best practices for successful lean satellite projects. In: **7th Nano-Satellite Symposium and 4th UNISEC-Global Meeting**. 2016.

DI ROBERTO, R. et al. Best practices on adopting open-source and commercial low-cost devices in small satellites missions. **Acta Astronautica**, 2023.

KOECHHEL, S.; LANGER, M. New space: Impacts of innovative concepts in satellite development on the space industry. In: **Proceedings of the 69th International Astronautical Congress**, Bremen, Germany. 2018. p. 1-5.

WERTZ, J. R. Assessment of smallsat utility and the need for dedicated, low-cost, responsive small satellite launch. In: **8th Responsive Space Conference**. Los Angeles, CA, March. 2010. p. 8-11.

WOELLERT, K. et al. Cubesats: Cost-effective science and technology platforms for emerging and developing nations. **Advances in space Research**, v. 47, n. 4, p. 663-684, 2011.