



Proposta de um modelo para avaliação evolutiva de programas espaciais

João Dallamuta¹, Leonel Fernando Perondi², Mônica Elizabeth Rocha de Oliveira³

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil
Aluno de Doutorado do curso de Eng. e Gerenciamento de Sistemas Espaciais (CSE)

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil
Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial – (CGETE)

³ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil
Núcleo de Inovação Tecnológica (NUINT)/ Coordenação de Gestão Científica e Tecnológica (COGCT)

joaol@utfpr.edu.br

Resumo. Com o crescente número de nações e organizações públicas e privadas desenvolvendo atividades espaciais nas últimas duas décadas, houve um aumento na diversidade de modelos de programas espaciais. O estudo da evolução de cada programa proporciona informações relevantes para o avanço de temas tais como benchmark, inteligência competitiva e pesquisas acadêmicas sobre políticas e estratégias espaciais. Este artigo propõe um modelo de análise evolutiva de um programa espacial, baseado em um modelo desenvolvido originalmente por WOOD e WEIGEL [2009]. O modelo proposto consiste de um conjunto idealizado de cinco marcos institucionais e tecnológicos: i) estabelecimento de uma agência espacial; ii) capacidade de integração de pequenos satélites; iii) operação de satélites adquiridos de fornecedores externos; iv) capacidade de construção de satélites; v) capacidade de lançamento orbital. Para demonstração do modelo, apresenta-se uma aplicação ao programa espacial brasileiro. Os resultados obtidos permitem uma visualização da evolução do programa, bem como de cenários alternativos para o seu desenvolvimento.

Palavras-chave: Modelo de Análise, Programa Espacial Brasileiro, Políticas Espaciais.

1. Introdução

Os programas espaciais nacionais, em um âmbito mundial, apresentam algumas características específicas, independentemente do tipo de missões e peculiaridades de cada programa [Spagnulo, 2013]. São elas:

- a) importância estratégica;
- b) possibilidade de participação internacional;
- c) setores industriais específicos e especializados;
- d) investimentos elevados;
- e) programas de longo prazo
- f) rápido desenvolvimento das tecnologias utilizadas;



- g) impossibilidade de reparos e manutenção para os componentes em uso no espaço;
- h) usos e aplicações que muitas vezes são mal-entendidos e dificilmente percebidos fora de sectores específicos.

A despeito das elevadas exigências de confiabilidade do produto e de recursos financeiros inerentes às atividades espaciais, o setor espacial internacional segue em expansão, com número crescente de nações e atores privados demonstrando capacidade de construção e operação de sistemas espaciais. Considerando apenas o âmbito governamental, o número de nações com agências espaciais nacionais teve um forte aumento neste século, após uma pausa nos anos 90, passando de 40 em 2000 para cerca de 55 em 2009 [Choi, 2010]. Em 2018, havia um total de 72 nações com agências espaciais constituídas. [Liang e Wang, 2020].

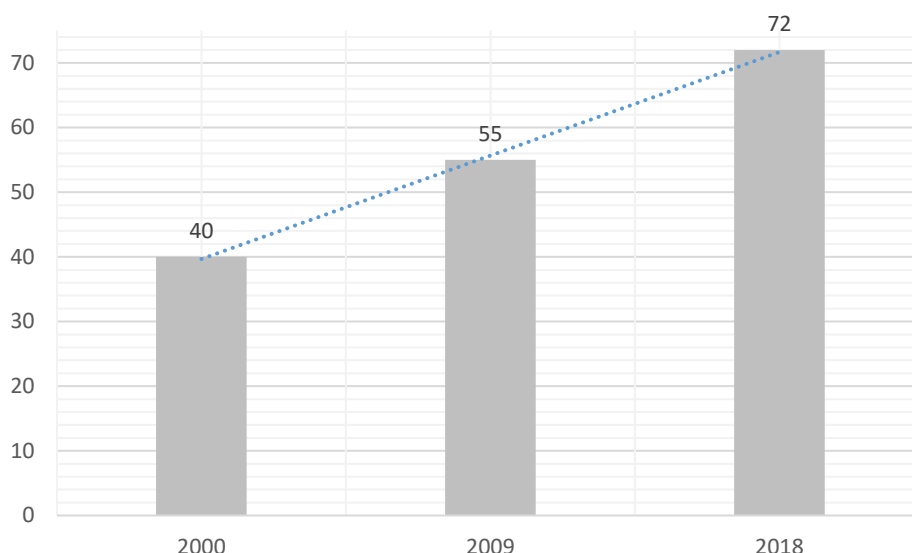


Figura 1. Aumento do número de agências espaciais neste século. (Fonte de dados: [Choi, 2010] e [Liang e Wang 2020])

Com muitos programas e projetos espaciais em execução, cada um com diferentes níveis de desenvolvimento tecnológico e objetivos, é bastante desafiador o estabelecimento de métricas tanto de evolução quanto para a comparação entre os programas. A comparação tradicional costuma utilizar o orçamento nacional dedicado às atividades espaciais. Esta métrica, geralmente, desconsidera questões como custos da mão de obra local, contingenciamentos e, sobretudo, a forma como os recursos são efetivamente aplicados, ou seja, a simples comparação de orçamentos apresenta limitações.

Há notável deficiência de literatura que diretamente estude tecnologia, compras e escolhas feitas pelos países em desenvolvimento, na área de tecnologia espacial. Partindo desta premissa, WOOD e WEIGEL [2009] propõem um modelo chamado *The Space Technology Ladder*, que oferece um caminho idealizado através de quatro grandes categorias de tecnologia: i) estabelecimento de uma agência espacial nacional; ii) possuir e operar um



satélite na órbita baixa da terra; iii) possuir e operar um satélite na Órbita Geoestacionária; e iv) capacidade de lançamento. O modelo está sintetizado na Tabela 1.

Tabela 1. Modelo *The Space Technology Ladder*. [Fonte: Wood e Weigel, 2009]

| | | |
|----|------------------------|---|
| 13 | Launch | Launch Capability: Satellite to GEO |
| 12 | Capability | Launch Capability: Satellite to LEO |
| 11 | Satellite in GEO | GEO Satellite: Build Locally |
| 10 | | GEO Satellite: Build through Mutual International Collaboration |
| 9 | | GEO Satellite: Build Locally with Outside Assistance |
| 8 | | GEO Satellite: Procure |
| 7 | Satellite in LEO | LEO Satellite: Build Locally |
| 6 | | LEO Satellite: Build through Mutual International Collaboration |
| 5 | | LEO Satellite: Build Locally with Outside Assistance |
| 4 | | LEO Satellite: Build with Support in Partner's Facility |
| 3 | | LEO Satellite: Procure with Training Services |
| 2 | Space Agency | Space Agency: Establish Current Agency |
| 1 | | Space Agency: Establish First National Space Office |

Este artigo analisa limitações do modelo *The Space Technology Ladder* para a sua aplicação a um programa espacial emergente. Baseado neste diagnóstico, propõe um modelo derivado e o aplica ao programa espacial brasileiro, com o objetivo de apresentar uma visualização de sua linha evolutiva, nas últimas três décadas. Desta linha evolutiva, são considerados o cenário atual e outros cenários alternativos.

2. Metodologia

O artigo desenvolve uma adaptação do modelo de WOOD e WEIGEL [2009], subsidiada por uma avaliação de bibliografia referente ao tema, principalmente em aspectos que justificam o novo modelo proposto.

Para a validação do modelo proposto, foram empregados dados históricos do programa espacial brasileiro, aplicado ao modelo, gerando a visualização da sua evolução nas últimas três décadas e alguns cenários alternativos de mudanças.

3. Resultados e Discussão

O modelo de WOOD e WEIGEL [2009], apresentado na Tabela 1, necessita, em nossa avaliação, de ajustes para aplicação a um programa espacial emergente. Baseia-se em uma escala tecnológica que classifica satélites em órbita geoestacionária como uma realização acima da de um satélite de órbita baixa. Porém, o modelo, segundo nossa avaliação, apresenta alguma inconsistência na classificação de processos de aquisição de satélites geoestacionários. Conforme o modelo, satélites geoestacionários adquiridos de fornecedor externo, como os Brasilsat A1 e A2, adquiridos nos anos 80, teriam o valor (8) na escala, enquanto os satélites da série SCD, SACI e CBERS, projetados e construídos através de esforço próprio, na década seguinte, teriam pontuação entre (6) e (7), o que nos



parece não refletir, corretamente, a capacitação e o esforço local necessários à realização dos dois eventos.

O modelo sob análise também não captura o desenvolvimento de pequenos satélites como atividades espaciais relevantes. Entre 1998 e 2009, foram lançadas 80 missões de até 10 kg e, entre 2010 e 2019, foram lançadas 1.232 missões com esta classificação [Kuli, 2020]. O objetivo original desta classe de missão era permitir oportunidades de voos baratos que poderiam ser usados pelas universidades para fins educacionais. Uma grande fração, se não a maioria do CubeSats foi desenvolvida por instituições educacionais para fins de pesquisa. A utilidade do padrão CubeSat foi reconhecido além da universidade e o padrão também foi adotado pela indústria como um veículo para demonstrações de tecnologia. Além disso, existe um interesse crescente no CubeSats para fins comerciais. [Welle, 2016]

O novo modelo proposto, apresenta cinco categorias para a análise evolutiva de um programa espacial, conforme ilustrado na Figura 2, que representam níveis crescentes de capacitação quanto à gestão de programas e capacitação tecnológica. Cada nível é subdividido em 14 subníveis, que buscam classificar os diversos passos necessários para atingir aquele nível, tais como modelo de compras, cooperação e desenvolvimento tecnológico, entre outros.

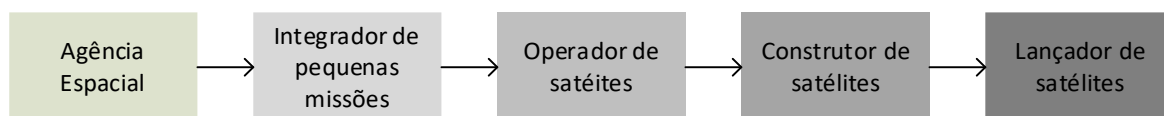


Figura 2. Níveis do modelo proposto

A seguir, são apresentadas descrições detalhadas dos esforços envolvidos em cada nível.

Nível Agência Espacial. O estabelecimento de comissões governamentais, institutos civis ou militares, comitês e afins é, via de regra, a primeira forma de organização de um programa espacial nacional. No Brasil, a Comissão Nacional de Atividades Espaciais (CNAE), instituída em 1961, e a Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (COBAE), iniciada em 1971, são exemplos de organizações sem dotação de funcionários próprios e vinculadas a outras instituições. Em alguns países, com programas espaciais modestos, estes modelos de governança ainda são utilizados, como por exemplo na Colômbia, cujas atividades espaciais estão a cargo da *Comisión Colombiana del Espacio*, subordinada politicamente à vice presidência da República, mas cujo cargo de secretário executivo é ocupado em rodízio por instituições científicas e militares colombianas. Outro exemplo é o Uruguai, cujas atividades espaciais são de responsabilidade do Centro de *Investigación y Difusión Aeronáutico-Espacial* (CIDA-E), subordinado à Diretoria Geral de Aviação Civil do Uruguai. O estabelecimento de uma agência espacial nacional, como a Agência Espacial Brasileira (AEB), em 1994, representa um segundo grau na evolução da estruturação de um programa espacial nacional, dentro do modelo proposto, por ser um indicativo de maior maturidade do programa espacial. A *Comisión Nacional de Actividades Espaciales* (CONAE), na Argentina, embora não seja nominada como uma agência espacial, pelo modelo proposto, é considerada como tal. Os critérios, aqui utilizados, para a definição de uma agência espacial



11º Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais

18, 19 e 20 de agosto de 2020

são a dotação de quadro funcional e orçamento próprios, bem como a execução coordenada de uma estratégia espacial nacional.

Integrador de pequenas missões. Pequenas missões, com massa de até 30 kg, podem ser executadas com o uso de uma ampla rede de fornecedores de hardware e software modulares e com alguns provedores de serviços de lançamento da missão, como carga secundária. Missões nesta classe podem incluir desenvolvimentos tecnológicos locais, na forma de subsistemas ou carga útil, ou serem apenas montagens de kits de nano satélites, disponíveis comercialmente.

Operador de satélites. Este nível é caracterizado pela compra do satélite e dos serviços de suporte e treinamento associados à sua operação ou, mesmo, níveis de transferências de tecnologias pontuais. No modelo proposto, o nível de operador de satélite é dividido em dois subníveis distintos: satélites em órbita baixa e satélites geoestacionários.

Construtor de satélites. Este nível engloba seis subníveis, que vão desde a construção de um satélite de órbita baixa, utilizando-se de instalações de integração e testes de um parceiro tecnológico, até a construção de um satélite geoestacionário, com projeto, integração e testes locais. Pressupõe a capacidade local de engenharia de sistemas para o projeto do satélite.

Capacidade de lançamento. Este nível é caracterizado pela capacidade de lançamento de um satélite por um foguete projetado e construído localmente ou em cooperação mútua. Está dividido em dois subníveis: lançamentos de órbita baixa e lançamentos de órbita geoestacionária.

A Tabela 2 ilustra o modelo proposto, com seus cinco níveis principais e os quatorze subníveis secundários.

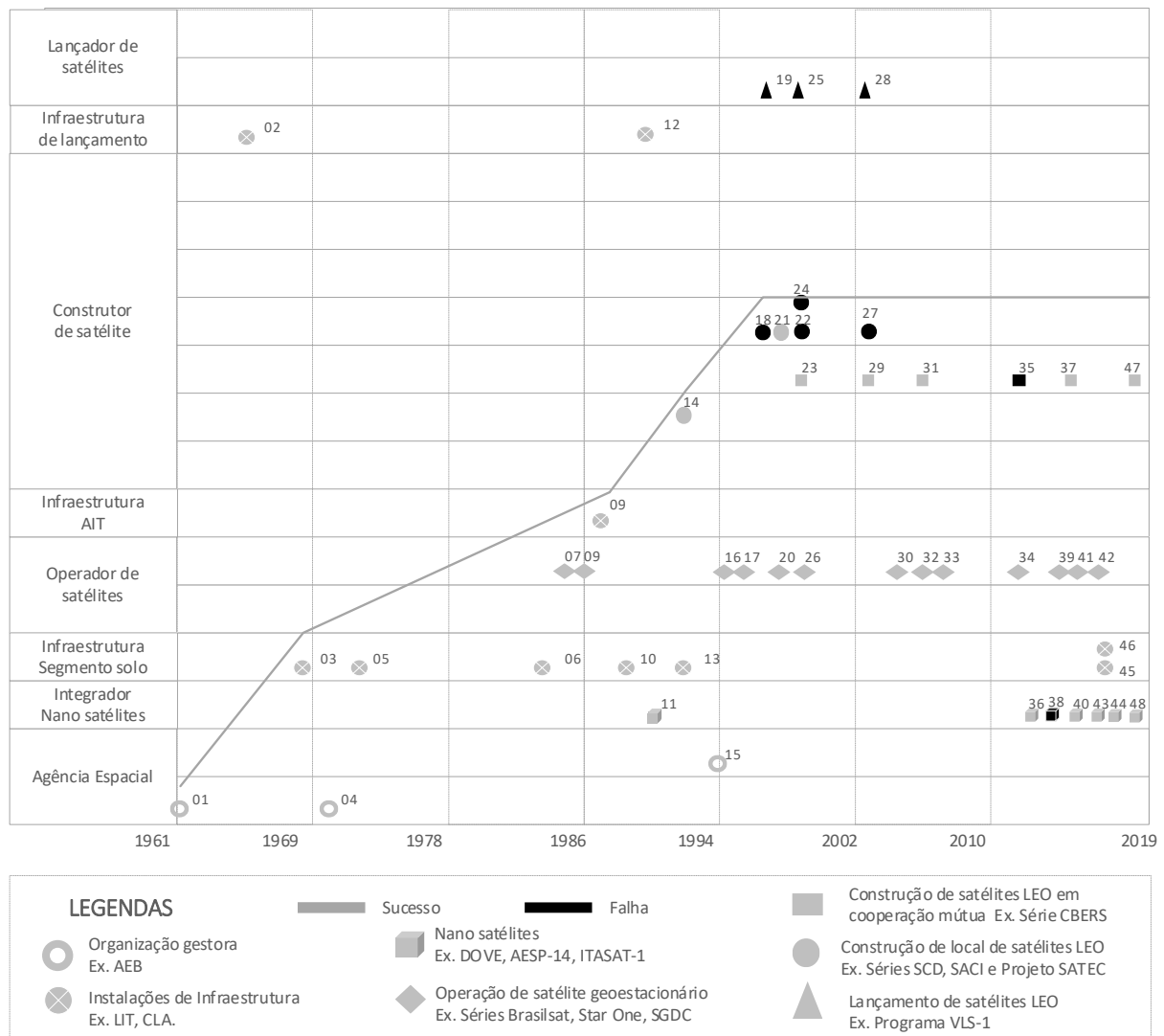
Tabela 2. Modelo proposto.

| | |
|--------------------------------|--|
| Capacidade de lançamento | Lançamento em GEO |
| | Lançamento em LEO |
| Construtor de satélite | Satélite GEO construído localmente |
| | Satélite GEO construído através de colaboração internacional mútua |
| | Satélite GEO construído localmente com assistência externa |
| | Satélite LEO construído localmente |
| | Satélite LEO construído através de colaboração internacional mútua |
| | Satélite LEO construído localmente com assistência externa |
| | Satélite LEO construído com suporte nas instalações do parceiro |
| Operador de Satélite | Satélite GEO adquirido com serviços de treinamento |
| | Satélite LEO adquirido com serviços de treinamento |
| Integrador de Pequenas missões | Integrador de nano satélites |
| Agência Espacial | Agência espacial nacional |
| | Primeiro órgão governamental para atividades espaciais |

Para demonstração do modelo proposto, os principais marcos históricos do programa espacial brasileiro, no período de 1961 a 2019, foram elencados no Anexo I. Os satélites da série BRASISAT, posteriormente STAR ONE, não fazem parte do Programa Nacional de



Atividades Espaciais (PNAE), embora tenham realizado contribuições pontuais para o desenvolvimento dos projetos de satélites nacionais. Nos anos 80, especialistas do INPE atuaram no projeto BRASILSAT no Brasil e no Canadá [Oliveira, 1991]. Nos anos 90, os satélites BRASILSAT B1 e B2 realizaram sua campanha de testes finais, antes do lançamento, no Laboratório de Integração e Testes do INPE [Harvey, Smid, e Pirard, 2010].



O mapeamento mostrado na Figura 3, sugere uma progressão linear de capacitação tecnológica do programa espacial. Esta progressão linear tem seu início na década de 1960, a partir de 1961, e avança pelas décadas seguintes, com a capacitação autônoma de construção de satélites no Brasil, demonstrada na entrega da série Satélite de Coleta de Dados (SCD), e teria tido continuidade caso um quarto lançamento do VLS-1 tivesse ocorrido, com sucesso, por volta de 2005.



O cenário atual, representado pela linha contínua, contempla a consolidação da capacidade de construção autônoma de pequenos satélites no período de 1993 a 2003, através da entrega das séries SCD, SACI e do projeto SATEC, que ocorreu em concomitância com a capacitação de construção de satélites LEO de grande porte, em regime de cooperação mútua, no âmbito da cooperação internacional China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS). Dentro deste cenário, verifica-se que desde o lançamento do CBERS-1, em 1999, e nos vinte anos seguintes, mesmo havendo avanços significativos em capacitação industrial e inovação local, notadamente no projeto e fabricação de sistemas espaciais, o modelo proposto sugere um estacionamento da posição atingida em 1999. O lançamento do Amazônia-1 previsto para o final de 2020, permitirá a execução de técnicas de comissionamento até então realizadas no CBERS de forma compartilhada com a China.

O modelo não mede critérios como participação de conteúdo local e ganhos de desempenho para satélites de mesma classe. Desta forma, deve-se considerar, em uma análise mais detalhada, que no desenvolvimento de programa de satélites ocorreu o aumento da participação nacional de 30% para 50% do CBERS-3, 4 e 4A, assim como o aumento da qualidade e quantidade da carga útil embarcada. Também, foi exercitada uma política industrial de aumento da participação industrial local, conforme demonstrado na Tabela 3. Esta fragilidade do modelo será abordada e corrigida em uma nova versão aprimorada.

Tabela 3. Participação da indústria local em custo do satélite. [Fonte: OLIVEIRA, 2014]

| Satélite | Participação da indústria nacional |
|---------------|------------------------------------|
| SCD - 1 | 9% |
| SCD - 2 | 20% |
| CBERS - 1 e 2 | 29% (de 30% do satélite) |
| CBERS - 3 e 4 | 62% (de 50% do satélite) |
| PMM | 77% |

Um cenário proposto seria a continuidade da política de compras junto aos fornecedores de subsistemas locais empregada no programa CBERS. Neste cenário, as demandas futuras do programa espacial, sobretudo em satélites geoestacionários como o SGDC, e satélites meteorológicos previstos no PNAE, seriam construídos no Brasil, aumentando a capacidade tecnológica do programa e dando maior sustentabilidade à indústria nacional de subsistemas, desenvolvida nos programas SCD e CBERS.

O programa ARSAT, desenvolvido no âmbito do programa espacial argentino, poderia ser tomado como um *benchmark* para este tipo de decisão. Em 2006, a ARSAT nomeou a INVAP como a principal contratada para o desenvolvimento de uma plataforma de satélite geoestacionário, sua fabricação, integração e teste. Nesse ano, o contrato para a primeira etapa do design preliminar foi assinado. Para a fase de testes, ARSAT e INVAP criaram em 2010 o Centro de Testes para Alta Tecnologia (CEATSA), com capacidade para satisfazer a necessidade de testes ambientais da indústria de satélites argentina. [Lorena, 2014].



O ARSAT-1 foi lançado em 2014 e o ARSAT-2 em 2015, ambos com vida útil projetada de 15 anos. O ARSAT-3, uma versão melhorada da plataforma, tem sofrido problemas de financiamento e sua previsão de lançamento é para 2023 [Caleb, 2019].

Israel adotou estratégia semelhante de atendimento da demanda nacional por telecomunicações para o desenvolvimento local da série de satélites AMOS, nos anos de 1990. O desenvolvimento contínuo da série, ao longo dos anos, proporcionou a Israel capacidade autônoma em telecomunicações governamentais e sustentabilidade para a sua indústria espacial [O'Sulian, 2012].

Outro cenário idealizado através do modelo pode ser caracterizado como uma “prova de conceito” (PRC). Conforme visto no cenário atual, as missões espaciais brasileiras, nas últimas duas décadas, têm como características o desenvolvimento gradual da participação de conteúdo nacional e a melhoria gradativa do desempenho, porém sem apresentar características tecnológicas de ruptura e inovação. Nesse cenário, as missões de pequenos satélites seriam efetuadas dentro de uma estratégia de validação de conceitos tecnológicos ou mercadológicos para posterior incorporação às missões de maior porte do programa espacial. Tal abordagem permitiria a mitigação de riscos para missões nacionais que requerem maiores investimentos. As novas missões poderão então incorporar novos desenvolvimentos tecnológicos e inovações a riscos aceitáveis.

4. Conclusão

Observa-se um expressivo crescimento dos programas espaciais nacionais, nas últimas duas décadas, assim como a existência de poucas métricas para o entendimento das evoluções destes programas e para as comparações entre estes.

WOOD e WEIGEL [2009] propõem um modelo para a análise evolutiva de um programa espacial que, ao nosso ver, requer ajustes para aplicação a um programa espacial emergente. No presente artigo, propõe-se um novo modelo baseado nesta referência. O modelo proposto foi aplicado a uma avaliação da evolução do programa espacial brasileiro, sugerindo uma progressão linear de sua capacitação tecnológica e o esboço de oportunidades para novos desenvolvimentos.

Dada a identificação de limitações na aplicação considerada, propõe-se a continuidade da presente pesquisa, com o desenvolvimento, em trabalhos futuros, de modelos mais aprimorados, que contemplem outros elementos da cadeia de valor da indústria espacial, como infraestrutura, segmento solo e capacidade de comercialização de produtos derivados de sistemas espaciais.

Referências

- Caleb, H. (2019) "Argentine operator Arsat revives plans for third satellite". SpaceNews.
- Choi, C, Q. (2010) Number of Worldwide Space Agencies on the Rise. Disponível em: <https://www.space.com/7969-number-worldwide-space-agencies-rise.html>
- Harvey, B. Smid, H, F. Pirard, T. (2010) Emerging Space Powers. The New Space Programs of Asia, the Middle East and South-America. Springer



11º Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais

18, 19 e 20 de agosto de 2020

- Liang, S. Wang, J. (2020) Advanced Remote Sensing: Terrestrial Information Extraction and Applications. Second Edition. Elsevier
- Lorena, D. El sector espacial argentino: Instituciones referentes, proveedores y desafíos . - 1a ed. - Benavidez : ARSAT - Empresa Argentina de Soluciones Satelitales, 2014.
- Kuli, E. Nanosats Database (2020). Retirado de <https://www.nanosats.eu/> às 01h11 de 31/05/2020
- Oliveira, F. (1991) Caminhos para o Espaço. 30 anos do INPE.
- Oliveira, M. E. (2014) A política de compras do Programa Espacial Brasileiro como instrumento de capacitação industrial. Tese de Doutorado Programa de Pós-Graduação do INPE em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais.
- O'Sullivan, A. (2012) Israel's domestic satellite industry saved. The Jerusalem Post.
- Spagnulo, M. Et al. (2013). Space Program Management Methods and Tools. New York: Springer Science + Business Media.
- Welle, R. P. (2016) THE CUBESAT PARADIGM: AN EVOLUTIONARY APPROACH TO SATELLITE DESIGN. 32nd Space Symposium, Technical Track, Colorado Springs.
- Wood, D. Weigel, A. (2012) Charting the evolution of satellite programs in developing countries – the Space Technology Ladder, Space Policy 28 (1) 15–24.
- Yin, R. K. (2010). Estudo de Caso: Planejamento e Métodos (4º ed.). Porto Alegre - RS: Bookman.

ANEXO I

Dados utilizados na figura 3. [Fonte AEB, INPE, Space Launch Report]

| ID | Evento | Ano | Responsável |
|----|--|------|---|
| 1 | CNAE | 1961 | Presidência de Republica |
| 2 | Centro de lançamento da Barreira do Inferno | 1965 | Ministério da Aeronáutica |
| 3 | Estação terrena de Tanguá | 1969 | Embratel CNPq, Ministério da Aeronáutica |
| 4 | INPE, IAE e COBAE | 1971 | e EMFA |
| 5 | Estação terrena de Cuiabá | 1973 | INPE |
| 6 | Centro de rastreamento de satélites de Guaratiba | 1984 | Embratel |
| 7 | Brasilsat A1 | 1985 | Embratel |
| 8 | Brasilsat A2 | 1986 | Embratel |
| 9 | Laboratório de integração e testes | 1987 | INPE |
| 10 | Centro de Controle de Satélites | 1988 | INPE |
| 11 | Dove-OSCAR 17 | 1990 | AMSAT Brasil |
| 12 | Centro de lançamento de Alcântara | 1990 | Ministério da Aeronáutica |
| 13 | Estação Terrena de Alcântara | 1993 | INPE |
| 14 | SCD-1 | 1993 | INPE |
| 15 | AEB | 1994 | MCTI |
| 16 | Brasilsat B1 | 1994 | Embratel |



11º Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais

18, 19 e 20 de agosto de 2020

| | | | |
|----|--|------|--------------------------------|
| 17 | Brasilsat B2 | 1995 | Embratel |
| 18 | SCD-2A | 1997 | INPE |
| 19 | VLS-1 V01 | 1997 | IAE |
| 20 | Brasilsat B3 | 1998 | Embratel |
| 21 | SCD-2 | 1998 | INPE |
| 22 | SACI-1 | 1999 | INPE |
| 23 | CBERS-1 | 1999 | INPE |
| 24 | SACI-2 | 1999 | INPE |
| 25 | VLS-1 V02 | 1999 | IAE |
| 26 | Brasilsat B4 | 2000 | Embratel |
| 27 | SATEC | 2003 | INPE |
| 29 | CBERS-2 | 2003 | INPE |
| 28 | VLS-1 V03 | 2003 | IAE |
| 30 | Star One C12 | 2005 | Embratel |
| 32 | Star One C1 | 2007 | Embratel |
| 31 | CBERS-2B | 2007 | INPE |
| 33 | Star One C2 | 2008 | Embratel |
| 34 | Star One C3 | 2012 | Embratel |
| 35 | CBERS-3 | 2013 | INPE |
| 37 | CBERS-4 | 2014 | INPE |
| 36 | NanoSatC-Br 1 | 2014 | INPE / UFSM |
| 39 | Star One C4 | 2015 | Embratel |
| 38 | AESP-14 | 2015 | ITA |
| 40 | SERPENS | 2015 | INPE |
| 41 | Star One D1 | 2016 | Embratel |
| 43 | Tancredo 1 | 2017 | Escola Pres. Tancredo A. Neves |
| 42 | SGDC-1 | 2017 | MinDef |
| 44 | ITASAT-1 | 2018 | ITA |
| 45 | Centro de Operações Espaciais - Principal | 2018 | MinDef |
| 46 | Centro de Operações Espaciais - Secundário | 2018 | MinDef |
| 47 | CBERS-4A | 2019 | INPE |
| 48 | FloripaSat-1 | 2019 | UFSC |
