



Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação

Projeto Observatório de Tecnologias Espaciais – OTE

Série Documentos Estratégicos para o Setor Espacial

Ano 4, Número 1

Telecomunicações para pequenos satélites

Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação
Projeto Observatório de Tecnologias Espaciais – OTE
Série Documentos Estratégicos para o Setor Espacial

Ano 4, Número 1

Telecomunicações para pequenos satélites



Brasília – DF

dezembro, 2020

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

Organização social supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI)

Presidente

Marcio de Miranda Santos

Diretores

Regina Maria Silverio

Luiz Arnaldo Pereira da Cunha Junior

Série Documentos Estratégicos para o Setor Espacial. Telecomunicações para pequenos satélites. Projeto – Observatório de Tecnologias Espaciais – OTE. In: Atividade – Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2020.

159 p. : il.

1. Tecnologias espaciais. 2. Comunicações. 3. SDR. 4. Satélites. 5. Nanosatélites. 6. CubeSats. I. CGEE. II. MCTI. III. Brasil.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE
SCS, Quadra 9 – Torre C – 4º andar – salas 401 a 405
Edifício Parque Cidade Corporate
70.308-200 - Brasília, DF
Telefone: (61) 3424.9600
<http://www.cgEE.org.br>

Este relatório é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do 2º Contrato de Gestão CGEE – 23º Termo Aditivo, Atividade: Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação / Projeto: Observatório de Tecnologias Espaciais – OTE – 8.10.56.01.50.01/MCTI/2020.

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos neste relatório poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada a fonte.

Observatório de Ciência, Tecnologia e Inovação

Projeto Observatório de Tecnologias Espaciais – OTE

Série Documentos Estratégicos para o Setor Espacial

Ano 4, Número 1

Telecomunicações para pequenos satélites

Supervisão

Marcio de Miranda Santos

Equipe técnica do CGEE

Thyrso Villela Neto (Coordenador)

Alessandra de Moura Brandão

César Augusto Costa

Fernando Teixeira Bueno

Apoio administrativo

Genilda Carlos da Mota

Sumário

Lista de figuras	9
Lista de tabelas.....	11
Lista de siglas e acrônimos.....	13
1 Apresentação	15
2 Introdução.....	17
3 Sistemas de comunicações por satélites.....	18
4 Princípios básicos das comunicações por satélites.....	19
4.1 Órbitas dos satélites.....	19
4.1.1 Tipos de órbitas.....	22
4.2 Elementos dos sistemas de comunicações por satélites	25
4.2.1 Arquitetura dos satélites.....	28
4.2.2 Categorias de serviço dos sistemas espaciais e bandas de frequências	30
4.2.3 Requisitos de alto nível dos sistemas de comunicações.....	34
4.2.4 Arquitetura dos sistemas de comunicação por satélites	36
5 Sistemas de comunicações por satélites de pequeno porte.....	36
5.1 Sistemas de comunicações utilizando nanosatélites e CubeSats.....	37
5.2 Características e tecnologias das missões espaciais de interesse.....	37
5.2.1 Satélite KIPP.....	38
5.2.2 Satélite CASE.....	40
5.2.3 Satélite TARS	40
5.2.4 Constelação Kepler – 1ª geração de satélites	42
5.2.5 Constelação Kepler – 2ª geração de satélites	42
5.2.6 Constelação Kepler – 3ª geração de satélites	43

5.2.7	Constelação Telesat LEO	43
5.2.8	Constelação Starlink	43
5.2.9	Projeto Blackjack	44
5.2.10	Outros satélites e constelações.....	44
6	Tendências tecnológicas das comunicações por satélites	44
7	Ecosistema para desenvolvimento de missões espaciais.....	46
7.1	Fontes de informações científicas e tecnológicas.....	46
7.2	Fontes de informações noticiosas.....	47
7.3	Principais eventos técnicos	48
7.4	Principais instituições com atuação na área	48
7.5	Ciclo de vida das missões espaciais.....	48
8	Capacidade nacional para missões espaciais com SPP	50
8.1	Desenvolvimento completamente nacional	51
8.2	Desenvolvimento híbrido	52
8.3	Aquisição no mercado internacional.....	52
9	Recursos humanos para missões espaciais com SPP	66
10	Tecnologias das novas missões espaciais de comunicações.....	84
10.1	Tecnologias para missões de comunicações com nanosatélites e CubeSats	87
11	Tecnologia SDR.....	89
11.1	Domínio da tecnologia SDR.....	91
11.2	Antenas de alto desempenho para CubeSats, nano e microsatélites	96
11.3	Enlaces intersatélites.....	96
11.4	Protocolos de dados flexíveis	97
11.5	Aplicação de partes <i>low-grade</i> e COTS	97
11.5.1	Obtenção de <i>know-how</i> para aplicação de partes <i>low-grade</i> e COTS	98

12	Considerações finais.....	98
	Referências.....	99
	Apêndice A – Pesquisa de missões de comunicações com SPP.....	102
	Apêndice B – Pesquisa de fontes de informações de C&T.....	123
	Apêndice C – Pesquisa de fontes de informações noticiosas	125
	Apêndice D – Pesquisa de eventos técnicos e científicos.....	127
	Apêndice E – Pesquisa de instituições atuantes na área	129
	Apêndice F – Pesquisa da capacidade nacional	133
	Apêndice G – Pesquisa dos recursos humanos.....	147

Lista de figuras

Figura 1. Sistema básico P2P de comunicações por satélites.	18
Figura 2. Interligação de duas estações através de diferentes tecnologias de comunicações.....	19
Figura 3. Geometria da elipse e parâmetros orbitais associados.	20
Figura 4. Sistema de coordenadas geocêntrico inercial (GCI).....	21
Figura 5. Descrição parcial da órbita dos satélites CBERS-1, 2 e 2B.....	22
Figura 6. Ilustração de uma órbita Molniya.	24
Figura 7. Ilustração de uma órbita Molniya na superfície terrestre.	24
Figura 8. Sistemas de comunicação espaciais conforme Maral e Bousquet.....	27
Figura 9. Organização da regulamentação da ANATEL para satélites.....	33
Figura 10. Cobertura da Terra com satélites GEO.....	35
Figura 11. Cobertura da região polar com a órbita Molniya.....	35
Figura 12. CubeSat KIPP da empresa Kepler.	39
Figura 13. CubeSat TARS da empresa Kepler.	41
Figura 14 - Número de documentos por ano extraídos a partir do termo de busca "cubesat* AND telecommunication" da base Scopus.....	47
Figura 15 - Nuvem de palavras-chave dos documentos extraídos a partir do termo de busca "cubesat* AND telecommunication" da base Scopus.....	47
Figura 16. Princípio de funcionamento da tecnologia SDR.....	89
Figura 17. Tecnologia SDR com amostragem do sinal de RF ou de FI.....	90
Figura 18. Roteiro para domínio da tecnologia SDR.	92

Lista de tabelas

Tabela 1. Altitude e período das órbitas.	23
Tabela 2. Funções dos sistemas de comunicações espaciais.	26
Tabela 3. Sistemas de comunicação espaciais: composição adotada neste trabalho.	28
Tabela 4. Subsistemas típicos das plataformas de satélites.	29
Tabela 5. Designação da ITU para as bandas de frequências.	31
Tabela 6. Alguns serviços de satélites e bandas de frequência comumente utilizadas.	32
Tabela 7. Designação de bandas usual no mercado de comunicações.	33
Tabela 8. Classificação dos satélites pela sua massa.	36
Tabela 9. Fases do ciclo de vida da missão espacial.	49
Tabela 10. Capacidades, ferramentas e infraestrutura para o desenvolvimento e execução de missões espaciais de comunicações.	54
Tabela 11. Convenção para avaliação das organizações com referência à Tabela 10.	65
Tabela 12. Principais capacidades de RH necessárias para o desenvolvimento e execução de missões espaciais de comunicações.	68
Tabela 13. Convenção para avaliação do RH, com referência à Tabela 12.	84
Tabela 14. Características de satélites do INPE e Visiona.	86
Tabela 15. Levantamento das missões de comunicações com SPP até 30/07/20.	105
Tabela 16 Referências bibliográficas da atualização das missões de comunicações de 30/07/20.	121
Tabela 17. Levantamento das fontes de informações de C&T na área de comunicações com SPP até 30/07/20.	124
Tabela 18. Levantamento das fontes noticiosas na área de comunicações com SPP até 30/07/20.	126

Tabela 19. Levantamento dos eventos técnicos e científicos na área de comunicações com SPP até 30/07/20.	128
Tabela 20. Levantamento das instituições atuantes na área de comunicações com SPP até 30/07/20 (cont.).....	130
Tabela 21. Levantamento das capacidades das organizações nacionais para missões de comunicações com SPP até 31/08/20.....	140
Tabela 22. Levantamento dos recursos humanos nacionais para missões de comunicações com SPP até 31/08/20	151

Lista de siglas e acrônimos

AEB	Agência Espacial Brasileira
ACDH	Attitude Control and Data Handling
ADC	Analog-to-Digital Converter
AIT	Assembly, Integration and Test
AOCS	Attitude and Orbit Control Subsystem
CCS	Centro de Controle de Satélites (pertencente ao INPE)
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
COTS	Commercial off-the-shelf
CubeSat	Nanossatélite composto de cubos com 100 mm de aresta
DAC	Digital-to-Analog Converter
DSP	Digital Signal Processor
EGSE	Electrical Ground Support Equipment
EMC / EMI	Electromagnetic Compatibility / Electromagnetic Interference
ESA	European Space Agency
FI	Frequência Intermediária
HW	Hardware
IAE	Instituto de Aeronáutica e Espaço
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LEO	Low Earth Orbit
LIT	Laboratório de Integração e Testes (pertencente ao INPE)
LNA	Low Noise Amplifier
MECB	Missão Espacial Completa Brasileira
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MGSE	Mechanical Ground Support Equipment
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OTE	Observatório de Tecnologias Espaciais – CGEE
OBDAH	OnBoard Data Handling
P2P	Peer-to-peer (conexão direta ponto a ponto)
PA	Power Amplifier
PCDU	Power Conditioning and Distribution Unit
PCI	Programa de Capacitação Institucional (MCTIC/CNPq)
PEB	Programa Espacial Brasileiro
PNAE	Programa Nacional de Atividades Espaciais
PMM	Plataforma multimissão
RF	Rádio Frequência
SADA	Solar Array Drive Assembly
SDR	Software Defined Radio
SPP	Satélite de Pequeno Porte
SW	Software
SCD2	Satélite de Coleta de Dados 2
SINDAE	Sistema Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais
SGDC	Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações Estratégicas
TBC	A ser confirmado (do inglês, <i>to be confirmed</i>)
TRL	Technology Readiness Level
TT&C	Telemetry, Tracking and Command
UnB	Universidade de Brasília

1 Apresentação

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) desenvolveu um projeto denominado Observatório de Tecnologias Espaciais (OTE) que tem o propósito de acompanhar o desenvolvimento e a evolução de tecnologias do setor espacial no Brasil e no mundo. O OTE tem como objetivo identificar tendências e oportunidades tecnológicas nesse setor e gerar informações sobre tecnologias consideradas críticas para o Programa Espacial Brasileiro (PEB). As informações obtidas pelo OTE são compiladas em relatórios periódicos enviados ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e podem apoiar os tomadores de decisão no âmbito do Sistema Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (SINDAE), coordenado pela Agência Espacial Brasileira (AEB). Além disso, o OTE sugere ações que possam auxiliar processos de gestão tecnológica e de estabelecimento de estratégias de domínio tecnológico para o setor espacial brasileiro.

Resumidamente, o OTE aplica o conceito de inteligência tecnológica para programar as suas observações e usa metodologias próprias ou adaptadas para auxiliar o processo de análise dessas observações, de forma a transformá-las em informações que possam ser úteis para os gestores tecnológicos do setor espacial brasileiro.

Um dos produtos do OTE é a série “Documentos Estratégicos para o Setor Espacial”, da qual o presente documento faz parte, que tem como objetivo fornecer informações sobre tópicos específicos ligados a esse setor de forma a propiciar um entendimento mais aprofundado sobre temas de interesse para o Brasil no setor espacial. O primeiro documento dessa série tratou de uma categoria de satélites de pequeno porte, que são os nanosatélites conhecidos como CubeSats. O segundo documento dessa série tratou de veículos lançadores de satélites de pequeno porte, mostrando um panorama sobre veículos lançadores no mundo. Nesse segundo documento foram detalhadas algumas informações sobre veículos lançadores de pequeno porte, que representam um nicho interessante no atual cenário mundial e que podem servir de base para alavancar projetos de desenvolvimento desse tipo de foguetes no Brasil. Já o terceiro documento dessa série tratou de sistemas de propulsão elétrica para satélites de pequeno porte. Nesse terceiro documento, a exemplo do que foi feito nos anteriores, foram apontadas algumas oportunidades para o setor espacial brasileiro. O presente documento é o quarto dessa série especial de documentos produzidos pelo OTE/CGEE e trata de sistemas de telecomunicações baseados em satélites de pequeno porte.

Recentemente, durante o processo de monitoramento de tecnologias espaciais realizado pelo OTE, foi percebido um aumento no uso de pequenos satélites para a realização de telecomunicações. Novas tecnologias possibilitaram o processo de miniaturização de componentes, sistemas e artefatos espaciais dedicados a essa aplicação. Os investimentos nesse setor têm crescido uma vez que os satélites de pequeno porte vêm se tornando mais confiáveis. Empresas como a SpaceX e a OneWeb, por exemplo, têm lançado centenas de micro e nanosatélites para servir de base espacial para transmissão de sinais de internet, rádio, etc., para regiões remotas na Terra. O sucesso desses empreendimentos é uma questão de tempo. Logo que as tecnologias alcancem os patamares mais altos de funcionalidade, esses artefatos deverão denominar o mercado, uma vez que são mais baratos e podem ser construídos de forma rápida, o que facilita suas reposições, o que é uma vantagem considerável em relação aos satélites tradicionais de grande porte.

Em vista disso, o OTE, com este documento, procura mostrar como avançou o conhecimento nesse setor, de forma a contribuir para que essa nova tendência, caso se confirme, possa ser amplamente explorada por instituições públicas e privadas brasileiras e que políticas públicas e projetos estratégicos possam ser implementados tempestivamente, fazendo com o que o País não perca oportunidades tecnológicas importantes.

2 Introdução

Os satélites de telecomunicações estão entre as formas mais maduras de aplicações espaciais. Iniciada há quase 60 anos com o lançamento do Telstar em 1962 e dos Syncom em 1963, a era do uso de satélites de grande porte para telecomunicações tem crescido desde então.

Inicialmente, o desempenho dos satélites era muito limitado e, para compensar isso, estações de solo com antenas com mais de 20 metros de diâmetro eram comuns e necessárias para estabelecer conexão com os satélites. A utilização desses satélites era limitada à telefonia de longa distância e à transmissão de sinais de televisão entre estúdios.

Já nos anos de 1990, dois terços das ligações intercontinentais eram transmitidas por comunicações via satélite. Os satélites provaram ser particularmente úteis para comunicações entre muitos países em partes menos desenvolvidas do mundo.

Novas tecnologias e diferentes tipos de demandas têm mudado a forma com que os satélites de comunicação são usados. Satélites mais potentes e o uso de frequências mais altas possibilitaram que mais pessoas usufríssem diretamente do uso desses satélites, recebendo sinais diretamente do espaço. Agora, nas primeiras décadas do século XXI, bilhões de pessoas assistem a programas de televisão transmitidos diretamente de satélites para pequenas antenas domésticas ou para sistemas distribuidores de sinal a cabo.

Um satélite de comunicações é, em sua forma mais simples, um satélite artificial que recebe e amplifica sinais de telecomunicação, normalmente na faixa de rádio ou micro-ondas, por meio de um *transponder* que os reenvia para a Terra ou para outro satélite. Satélites de comunicação estão na base da sociedade moderna e são responsáveis por boa parte do tráfego de informações entre estações de transmissão e recepção espalhadas pelo mundo. Neste documento, apresentam-se de forma sucinta os conceitos fundamentais dos sistemas de comunicações por satélites e uma introdução aos seus princípios básicos de funcionamento.

Um dos objetivos deste 4º volume da série “Documentos Estratégicos para o Setor Espacial” foi realizar um levantamento dos sistemas de telecomunicações que utilizam nanosatélites, incluindo CubeSats, de forma a se ter a visão de suas características de desempenho, tecnologias empregadas, inovações e outras informações que possam servir de apoio para o desenvolvimento por instituições nacionais de sistemas de comunicações de interesse do País. Espera-se que empresas nacionais possam se interessar por esse desenvolvimento.

Para complementar a visão do cenário em que tal desenvolvimento possa eventualmente ocorrer, foi realizado um levantamento de organizações, eventos, meios de informação científica, tecnológica e noticiosa relacionados ao tema de comunicações por satélites de pequeno porte.

Outro objetivo foi apresentar um levantamento da capacidade das instituições nacionais, incluindo recursos humanos, para o desenvolvimento de missões de comunicações utilizando satélites de pequeno porte. Para isso, foi utilizado o ciclo de vida de missões espaciais para listar, em cada fase, as principais atividades, ferramentas e infraestrutura necessárias para que esse desenvolvimento possa ocorrer, avaliando-se, em seguida, como essas necessidades podem ser atendidas por organizações nacionais.

3 Sistemas de comunicações por satélites

Os sistemas de comunicações por satélites, no modo mais básico de comunicação ponto-a-ponto (P2P, do inglês *peer-to-peer*), são, simplesmente, repetidores de sinais localizados no espaço, como ilustrado na Figura 1.

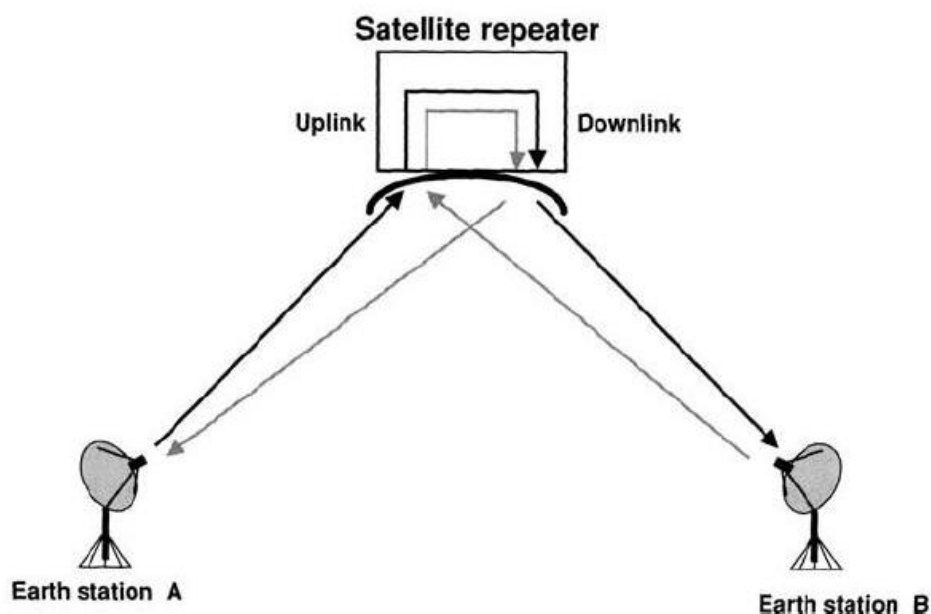


Figura 1. Sistema básico P2P de comunicações por satélites.

Fonte: ELBERT (2009, p. 70).

Se as localidades das estações A e B necessitassem ser interligadas por outro meio de comunicação, como cabo ou fibra, a região entre elas deveria ser adequada para a passagem física desse cabeamento, o que nem sempre é possível devido a acidentes naturais (rios, montanhas, cânions, etc.) e núcleos urbanos. Além disso, se a distância for grande, há perdas significativas de sinal e a interligação exigiria estações de regeneração do sinal intermediárias. Essa infraestrutura adicional sofreria igualmente o impacto negativo dos obstáculos naturais e urbanos.

Se a ligação entre os pontos fosse feita por enlaces de micro-ondas, que possuem frequência suficientemente alta para fornecer a largura de banda normalmente necessária para transmissão de sinais, o trajeto entre os pontos A e B, seriam necessárias várias estações repetidoras, uma vez que a transmissão em micro-ondas se dá principalmente na linha de visada. O uso de repetidoras, como ilustrado na Figura 2, enfrenta as mesmas dificuldades das estações regeneradoras de conexões cabeadas.

Esses problemas podem ser contornados com a utilização de satélites como repetidores de sinal. Satélites de comunicação podem ser utilizados como intermediadores da conexão ponto-a-ponto, entre as estações A e B, uma vez que a linha de visada entre as estações emissoras e receptoras com o satélite é, a princípio, livre.

Dessa breve discussão depende-se uma das características dos sistemas de comunicações satelitais e uma das suas grandes vantagens: a cobertura de grandes distâncias sem a necessidade de infraestrutura intermediária.

Isso é especialmente importante na cobertura de regiões inóspitas, ou com dificuldade de acesso, ou sem infraestrutura terrestre.

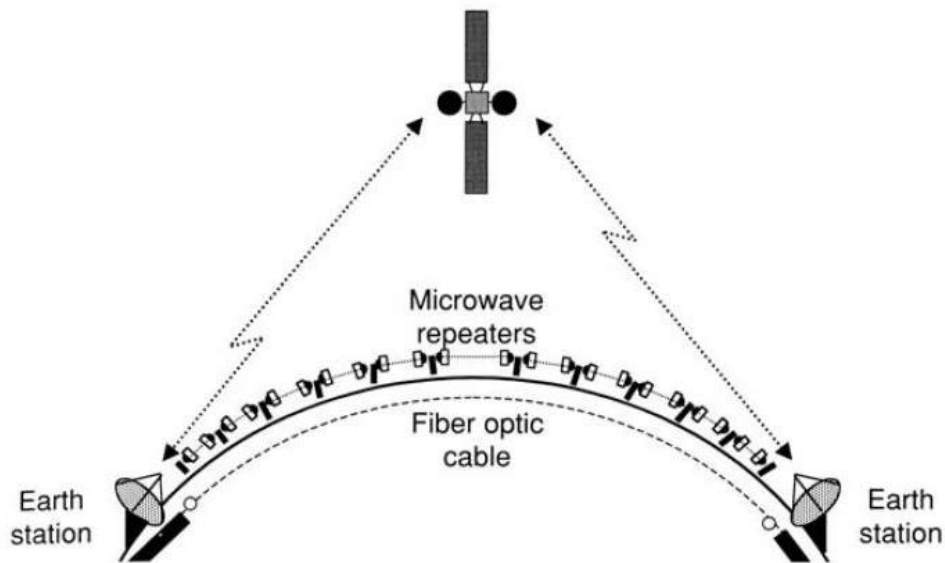


Figura 2. Interligação de duas estações através de diferentes tecnologias de comunicações.

Fonte: ELBERT (2009, p. 6).

A altitude do satélite é uma grande vantagem pois é possível transmitir sinais para grandes áreas no solo e/ou destas áreas também receber sinais. Arquiteturas satelitais (referente a satélites), mais complexas que as apresentadas nas Figura 1 e Figura 2, permitem obter cobertura global, de maneira muito mais simples e econômica do que utilizando recursos terrestres, como cabos e enlaces de micro-ondas.

A independência da infraestrutura terrestre é outra grande vantagem dos sistemas de comunicações por satélites. As principais desvantagens dos sistemas satelitais tradicionais são o custo elevado do sistema (satélites e estações terrenas) e o longo prazo de entrega após a compra da solução. Os modernos sistemas de comunicações por satélites, utilizando satélites de pequeno porte, estão mitigando essas desvantagens. No mundo real, as diversas tecnologias de comunicações coexistem e se complementam de forma que cada uma é usada no espectro de aplicações onde ela tem suas vantagens destacadas.

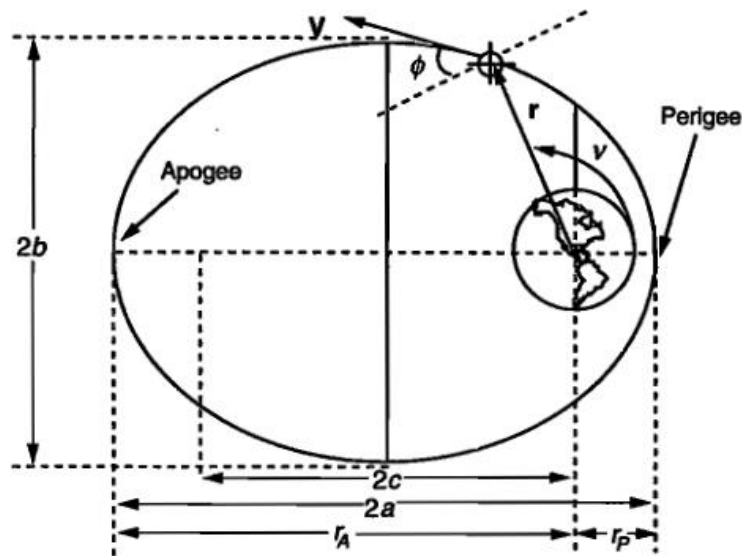
4 Princípios básicos das comunicações por satélites

Nesta seção serão abordados, de forma introdutória, alguns dos quesitos principais a serem considerados na fase de concepção de um sistema de comunicações por satélites.

4.1 Órbitas dos satélites

Conforme Boden (1992, p. 129-133), a órbita de um satélite é a trajetória que esse artefato descreve no espaço. Esta trajetória, curva, pode descrever uma circunferência, uma elipse, uma parábola ou uma hipérbole. As órbitas de interesse para a utilização de satélites a partir da superfície terrestre são as que correspondem a uma circunferência ou a uma elipse. A órbita satelital elíptica é, portanto, o tipo de órbita de maior interesse, sendo

a órbita circular um caso particular da órbita elíptica. Na Figura 3 é ilustrada a geometria desse tipo de órbita e mostrados os parâmetros associados. Na figura, o centro da Terra está localizado em um dos focos da elipse.



- r:** position vector of the satellite relative to Earth's center
- V:** velocity vector of the satellite relative to Earth's center
- ϕ :** flight-path-angle, the angle between the velocity vector and a line perpendicular to the position vector
- a:** semimajor axis of the ellipse
- b:** semiminor axis of the ellipse
- c:** the distance from the center of the orbit to one of the foci
- v:** the polar angle of the ellipse, also called the true anomaly, measured in the direction of motion from the direction of perigee to the position vector
- r_A :** radius of apogee, the distance from Earth's center to the farthest point on the ellipse
- r_P :** radius of perigee, the distance from Earth's center to the point of closest approach to the Earth

Figura 3. Geometria da elipse e parâmetros orbitais associados.

Fonte: BODEN (1992, p. 131)

O sistema de coordenadas normalmente utilizado no estudo das órbitas de satélites é o Geocêntrico Inercial (GCI), definido por Wertz (1992, p. 93-95), e ilustrado na Figura 4.

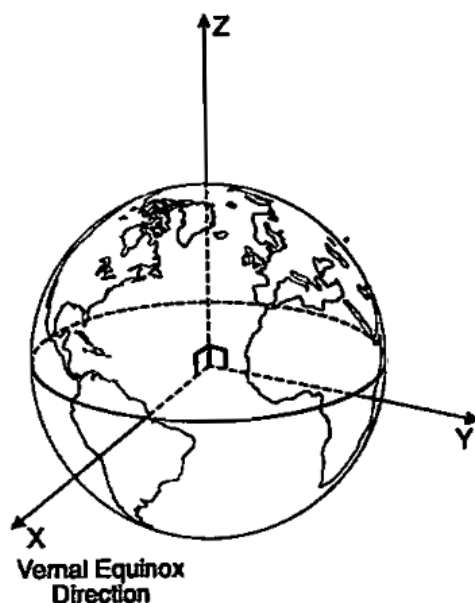


Figura 4. Sistema de coordenadas geocêntrico inercial (GCI).

Fonte: WERTZ (1992, p. 95).

A órbita kepleriana de um satélite pode ser completamente definida utilizando-se os chamados “elementos clássicos da órbita” (BODEN, 1992, p. 133-135), listados a seguir, considerando-se o sistema de coordenadas da Figura 4:

a – semi-eixo maior: descreve o tamanho da elipse;

e – excentricidade: descreve o formato da elipse;

i – inclinação: é o ângulo entre o vetor momento angular do satélite e o vetor unitário na direção do eixo Z;

Ω – ascensão reta do nodo ascendente: o ângulo entre o equinócio vernal e o nodo ascendente. O nodo ascendente é o ponto onde o satélite passa pelo plano equatorial movimentando-se do Sul para o Norte. A ascensão reta é medida observando-se a regra da mão direita tomando-se o eixo Z como eixo de rotação;

ω – argumento do perigeu: o ângulo entre o nodo ascendente e o vetor excentricidade medido, na direção de movimento do satélite. O vetor excentricidade aponta do centro da Terra para o perigeu com magnitude igual à excentricidade da órbita;

u – anomalia verdadeira: ângulo entre o vetor excentricidade e o vetor de posição do satélite medido na direção de movimento do satélite. Essa grandeza pode ser substituída por outra, o tempo desde a passagem pelo perigeu, T . Também conhecida como anomali média inicial.

Outros parâmetros de interesse como o período e a frequência da órbita, P e ω_o , respectivamente, podem ser calculados a partir desses elementos.

A título de ilustração do uso dos elementos de órbita listados acima, apresenta-se na Figura 5 a descrição parcial da órbita dos satélites imageadores CBERS-1, 2 e 2B do programa CBERS do INPE, em associação com a China.

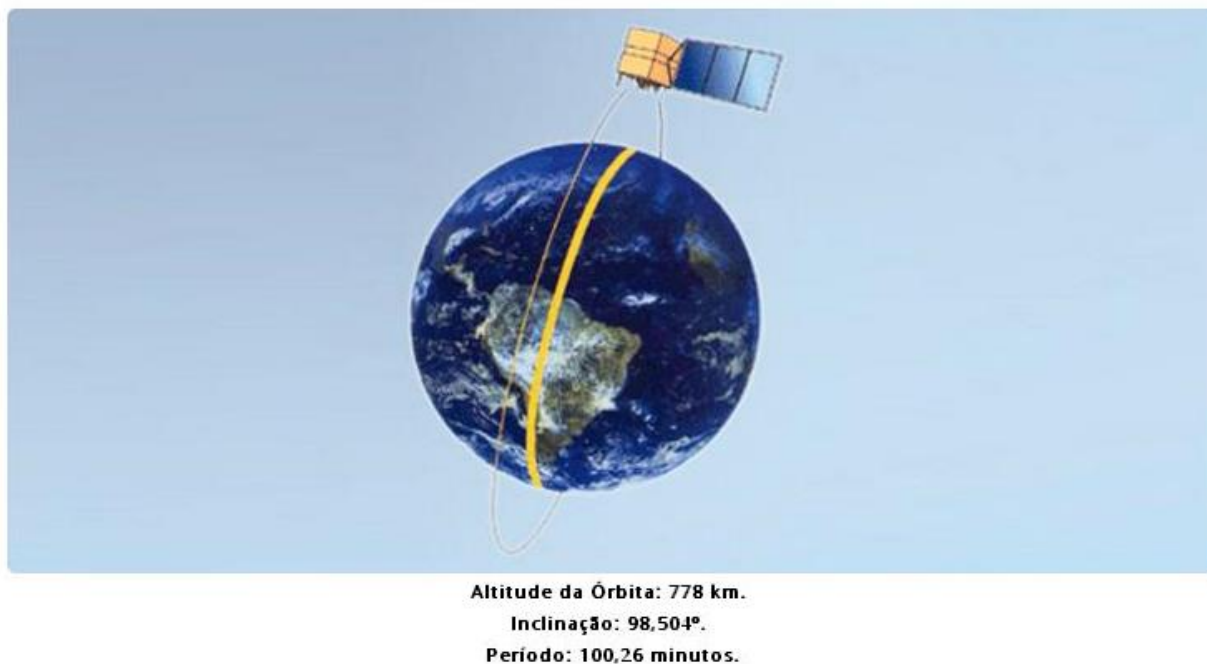


Figura 5. Descrição parcial da órbita dos satélites CBERS-1, 2 e 2B.

Fonte: CBERS/INPE – Divulgação

A órbita da Figura 5 é circular, o que corresponde a uma órbita elíptica com excentricidade nula. Nesta condição, os semi-eixos maior e menor da elipse são iguais e equivalentes ao raio da órbita circular. A altitude da órbita é a distância entre o satélite e a superfície terrestre e é dada, neste caso, pela diferença dos raios da órbita e da Terra. A órbita do CBERS é heliossíncrona a uma altitude de 778 km, perfazendo aproximadamente 14 revoluções por dia. Nesta órbita, o satélite cruza o Equador sempre na mesma hora local, 10h30 da manhã, permitindo assim que se tenham sempre as mesmas condições de iluminação solar para a comparação de imagens tomadas em dias diferentes.

4.1.1 Tipos de órbitas

A escolha da(s) órbita(s) apropriada(s) do(s) satélite(s) de qualquer sistema espacial, incluindo os de comunicações, de forma a contribuir para o cumprimento de sua missão, é item fundamental e crítico e faz parte da análise de missão, etapa inicial do processo de desenvolvimento do sistema espacial.

As órbitas dos satélites podem ser classificadas de diversas formas (BODEN, 1992, p. 130-143; ELBERT, 2008, p. 1-6, 20-22; MARAL; BOUSQUET, 2009, p. 9-12, 43-68; STARK; SWINERD, 2003, p. 122-146; WERTZ, 1992, cap. 4). Uma classificação fundamental é a relacionada com o tipo de trajetória do satélite. Por esse critério, as órbitas dos sistemas espaciais de interesse nesse trabalho podem ser, como visto acima, circulares ou elípticas.

Outra classificação básica é quanto à inclinação (i) do plano da órbita. Quando $i = 0^\circ$, o plano da órbita coincide com o plano do equador terrestre e a órbita é chamada de equatorial. Quando $i \approx 90^\circ$ a órbita é chamada de

polar. Quando a inclinação assume valores intermediários a órbita é denominada inclinada. Portanto, os satélites referenciados na Figura 5 possuem órbita polar.

O movimento do satélite ao longo de sua órbita é um fenômeno periódico e pode ser sincronizado com outros eventos periódicos, dando origem a vários tipos de órbita de interesse. Desta forma, as órbitas **geossíncronas** são aquelas que possuem período igual ao período de rotação da Terra em seu próprio eixo (1436 min \approx 24 h). Algumas referências também denominam esse tipo de órbita de geossíncronas (GSO – *Geo Synchronous Orbit*).

Nas órbitas Sol-síncronas, ou heliossíncronas, a orientação do plano da órbita permanece aproximadamente fixa em relação ao Sol.

A classificação das órbitas quanto à altura também é bastante comum na literatura. As órbitas são classificadas como LEO (*Low Earth Orbit*), MEO (*Medium Earth Orbit*) and GEO (*GEostationary Orbit*). As faixas de altitudes dessas órbitas e os períodos correspondentes são listados na Tabela 1 usando a convenção de Elbert (2008, p. 22-23). Os valores das faixas não são rigorosos (exceto para GEO) e variam um pouco conforme a referência consultada. A órbita GEO é uma órbita circular e equatorial, com o satélite movendo-se no mesmo sentido de rotação da Terra, de forma que ele parece estático no céu para um observador na superfície terrestre. A órbita GEO (P = 1.436 min, altitude = 35.786 km) é um caso particular das órbitas GSO.

Tabela 1. Altitude e período das órbitas.

Órbita	Altitude (km)	Período (h)
LEO	500 – 1.000	1,6 – 1,8
MEO	5.000 – 12.000	3,5 – 7,0
GEO	\approx 36.000	\approx 24

Fonte: ELBERT (2008, p. 22-23).

Os cinturões de radiação de Van Allen interno e externo estendem-se nas faixas de altitude 1.000 – 5.000 km e 15.000 – 25.000 km, respectivamente. Órbitas com altitudes nessas faixas são utilizadas menos frequentemente uma vez que o ambiente de radiação dos cinturões representa um sério risco para os componentes e materiais do satélite, especialmente os eletrônicos.

Há a classe de órbitas denominadas de HEO (*Highly Elliptical Orbit*). Uma órbita dessa classe é a Molniya, bastante utilizada pela antiga União Soviética em seus sistemas de comunicação por satélite para obter cobertura adequada da parte de seu território em altas latitudes. As órbitas Molniya possuem excentricidade de 0,75, período aproximado de 12 h e inclinação que torna o perigeu constante. Isto ocorre para $i = 63,4^\circ$ e $i = 116,6^\circ$. O argumento do perigeu é localizado no hemisfério sul de forma que o satélite permanece no hemisfério norte por aproximadamente 11 h em cada órbita. A altitude do perigeu das órbitas Molniya está na faixa 200 – 1.000 km. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra esse tipo de órbita.

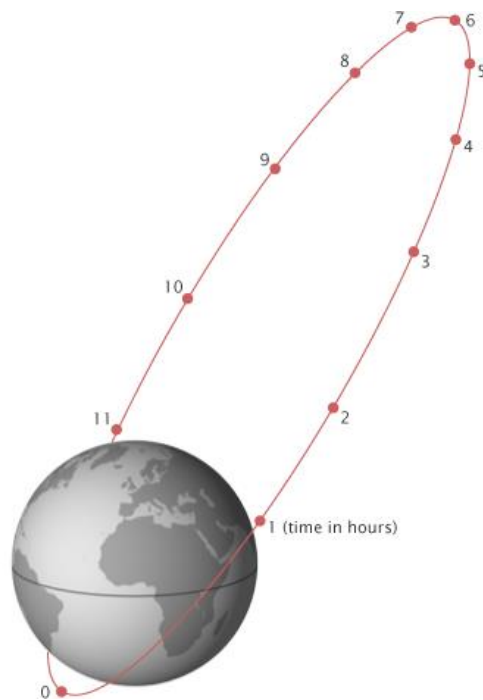


Figura 6. Ilustração de uma órbita Molniya.

Fonte: Wikipedia. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%93rbita_Molniya

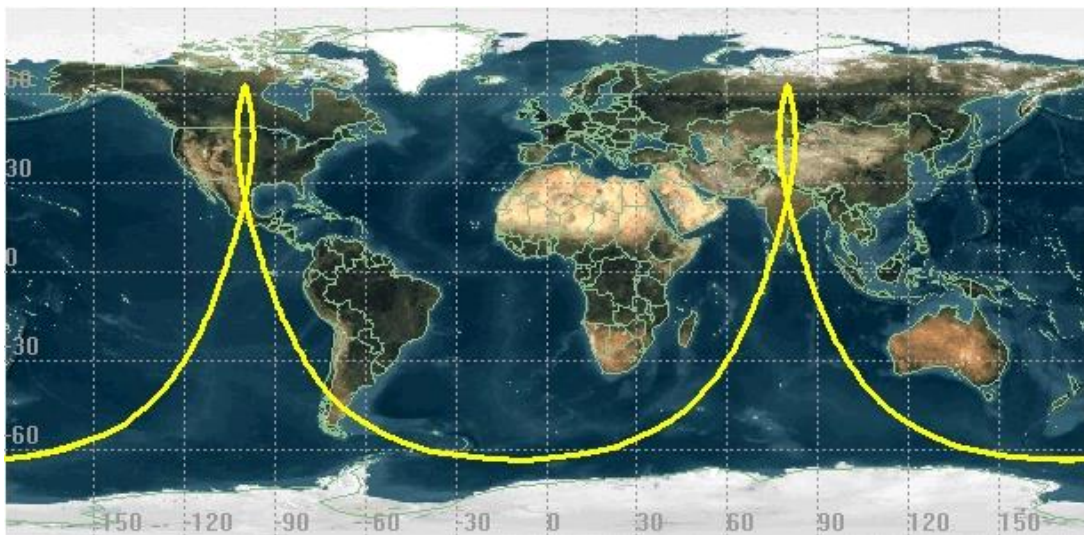


Figura 7. Ilustração de uma órbita Molniya na superfície terrestre.

Fonte: Wikipedia. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%93rbita_Molniya

Outro exemplo de órbita da classe HEO é a órbita Tundra. Também bastante usada pela extinta União Soviética, possuem as mesmas inclinações do plano orbital que as órbitas Molniya, mas com a diferença que são órbitas geossíncronas (GSO), com período aproximado de 24 h. Sua característica é que os satélites nessas órbitas passam a maior parte do seu tempo de órbita sobre uma região específica na superfície da Terra.

As órbitas também podem ser classificadas como prógradas, ou diretas, e retrógradas. Nas do primeiro tipo o deslocamento do satélite segue o mesmo sentido de rotação da Terra, de oeste para leste. No segundo tipo, o sentido do movimento é contrário, de leste para oeste. Essa classificação não se aplica às órbitas polares ou quase-polares ($i \approx 90^\circ$).

Algumas aplicações espaciais utilizam órbitas congeladas. Elas são definidas como órbitas nas quais os elementos argumento do perigeu e excentricidade são mantidos constantes ou aproximadamente constantes (RAIMUNDO; KUGA; VILHENA DE MOARES, 2005).

Quando se considera um conjunto ou constelação de satélites também é necessário considerar as órbitas no seu conjunto para que o cumprimento da missão possa ser atingido ou o desempenho otimizado. Um requisito de desempenho bastante frequente é o de cobertura de uma determinada região ou global. No caso de cobertura global as constelações cujas órbitas são do tipo Walker são usualmente analisadas como uma possibilidade de aplicação.

4.2 Elementos dos sistemas de comunicações por satélites

O ciclo de vida dos sistemas de comunicações espaciais após a produção de seu(s) satélite(s) possui três etapas: lançamento do(s) satélite(s), operação do(s) mesmo(s) e encerramento da missão. Na etapa de lançamento, os satélites que compõem o sistema são colocados em suas órbitas nominais de operação de forma que eles possam cumprir sua missão.

Na etapa de operação, os satélites devem ser monitorados e controlados de solo com dois grandes objetivos: a) manutenção de suas atitude e órbita; b) gerenciamento de suas cargas úteis. Com esses objetivos atingidos, os satélites, conjuntamente com os equipamentos de solo, podem desempenhar sua função que é, basicamente, prover comunicação entre os usuários do sistema da forma planejada durante seu desenvolvimento.

Na etapa de encerramento da missão, os satélites devem ser monitorados e controlados de modo a permanecerem em órbitas especiais, que não prejudiquem a operação de outros sistemas espaciais, e com suas cargas úteis inoperantes. Alternativamente, diversas classes de satélites podem ser destruídas através de processo controlado de reentrada na atmosfera terrestre.

A Tabela 2 sumariza as funções dos sistemas de comunicações espaciais e seus objetivos conforme descritos acima. Segundo a realização das funções apresentadas na Tabela 2, os sistemas de comunicações por satélites (e os sistemas espaciais em geral) são, normalmente, subdivididos em dois elementos: o segmento espacial e o segmento solo (ou terrestre).

A descrição da composição desses segmentos pode variar dependendo da referência bibliográfica, embora, em essência, as funções descritas Figura 8 sejam as mesmas nas diversas fontes.

Tabela 2. Funções dos sistemas de comunicações espaciais.

Função do sistema	Objetivos	
	Fase de operação	Fase de encerramento da missão
Provimento de comunicação	Provimento de comunicação entre os usuários do sistema.	Não aplicável
Monitoramento e Controle	Controle de atitude e manutenção das órbitas nominais dos satélites.	Controle de atitude e manutenção das órbitas especiais dos satélites.
	Monitoramento e manutenção da saúde dos satélites.	Monitoramento e manutenção da saúde dos satélites.
	Gerenciamento da carga útil.	Reentrada controlada dos satélites na atmosfera terrestre como alternativa de encerramento da missão.
	Gerenciamento da carga útil.	Gerenciamento da carga útil.

Fonte: CGEE (2020).

Na estruturação mais usual, como a encontrada em, por exemplo, Whitworth (1998, p. 579-586), o segmento espacial, como indicado pelo nome, é composto pelo conjunto de satélites do sistema de comunicações. O segmento solo, por sua vez, é subdividido em cinco elementos:

- a) Estação terrena (ET): que provê a comunicação entre o segmento espacial (satélites) e a Terra, tanto para a função de monitoramento e controle como para a função de prover comunicação entre usuários do sistema;
- b) Centro de controle de operação dos satélites (exceto cargas úteis) (CCOS): que, por meio da ET, monitora e controla os satélites no tocante a sua atitude e órbita. Para esta função a ET realiza o que se chama de telemetria, rastreamento e comando (TT&C – *Telemetry Tracking and Command*);
- c) Centro de controle de operação das cargas úteis (CCOCU): que, por meio da ET, monitora e controla a operação das cargas úteis. Para esta função, a ET troca com esse Centro informações de estado (telemetria) e comando das cargas úteis de forma a adequá-las operacionalmente para as demandas da missão;
- d) Centro de controle de missão (CCM): que planeja e controla, por meio da ET, a operação do sistema de comunicações como um todo, incluindo a alocação de recursos dos segmentos espacial e solo;
- e) Usuários do sistema de comunicações (USUÁRIOS): são os indivíduos e organizações que, por meio de terminais de usuário adequados, trocam informações entre si utilizando a ET para enviar sinais para os satélites e para deles receber sinais. Os terminais de usuário podem ser fixos e localizados no solo, ou serem móveis e estarem embarcados em veículos terrestres, navios e aviões.

Na versão mais básica do segmento solo, todos os elementos acima, com exceção dos USUÁRIOS, podem estar localizados em um mesmo local.

Os sistemas de comunicações reais, mais comuns, todavia, podem possuir segmento solo com diferenças significativas em relação ao segmento solo básico, em vários aspectos, como as listadas a seguir:

- Estação terrena: pode haver várias estações terrenas e com funções separadas para TT&C, gerenciamento das cargas úteis e fornecimento de comunicação dos usuários;
- O acesso dos usuários ao segmento espacial pode ocorrer por meio de diferentes tipos de estações terrenas, dependendo da missão específica do sistema de comunicações (ver Figura 3.2-1 e comentários associados);
- ET, CCOS, CCOCU e CCM podem estar localizados em locais distintos e serem interligados por meio da infraestrutura de comunicações terrestre.

Para Elbert (2008, p. 15-20) o segmento espacial inclui, além de um ou mais satélites, os diversos elementos de controle (CCOS, CCOCU e CCM). O segmento solo envolve exclusivamente as estações que interfaceiam com os satélites para prover comunicação para os usuários e os terminais de usuário.

O segmento espacial conforme Maral e Bousquet (2009, p. 3-9) inclui apenas o(s) satélite(s) do sistema de comunicações. O segmento solo envolve as estações relacionadas com o provimento de comunicação para os usuários bem como os terminais de usuário. As funções de monitoramento e controle do segmento espacial são atribuídas ao segmento de controle. A Figura 8 ilustra a abordagem desses autores.

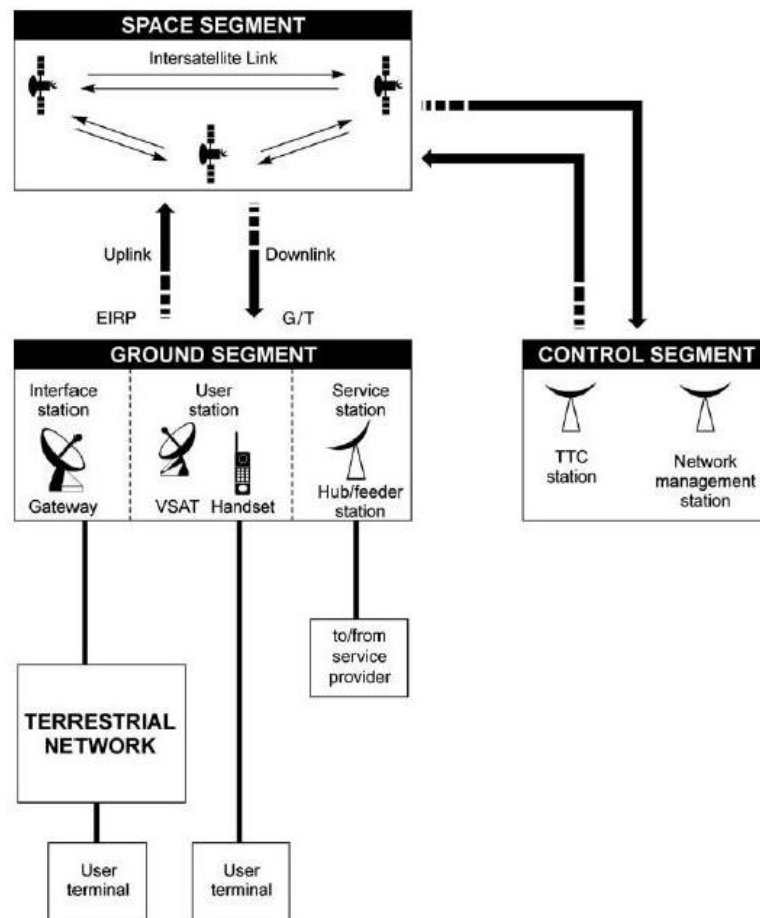


Figura 8. Sistemas de comunicação espaciais conforme Maral e Bousquet.

Fonte: MARAL; BOUSQUET (2009, p. 3).

Uma virtude da Figura 8 é a ilustração das várias possibilidades de interface entre usuários e os sistemas de comunicações espaciais modernos. A necessidade e o uso da infraestrutura de comunicações terrestre também estão bem evidenciados na figura.

Nota-se, na Figura 8, que as funções da Estação Terrena única do segmento solo básico acima descrito foram distribuídas entre diversos tipos de estação mais especializada. Entre as estações especializadas, vale ressaltar aqueles tipos que possuem interface com o usuário:

- a) Gateway;
- b) Estação do usuário;
- c) Hub;
- d) Feeder.

Em resumo, diferentes autores e organizações podem estruturar de forma diferente os elementos dos sistemas de comunicação por satélites. Essa diferença de abordagem é relevante apenas na análise e compreensão da documentação desses sistemas uma vez que não há divergências no tocante às funções a serem exercidas por seus componentes. No presente trabalho será adotada a composição apresentada na Tabela 3, que é alinhada com as normas ECSS (ECSS, 2009, Anexo B).

Tabela 3. Sistemas de comunicação espaciais: composição adotada neste trabalho.

Sistemas de comunicações por satélites				
Segmento espacial	Segmento solo			
Satélite(s)	Segmento USUÁRIOS	Segmento CM	Segmento COCU	Segmento COS

CM – Controle de Missão COCU – Controle de Operação das Cargas Úteis
 COS – Controle de Operação dos Satélites

Fonte: CGEE (2020).

4.2.1 Arquitetura dos satélites

Os satélites são compostos por muitos equipamentos bem como componentes e organizá-los na forma de subsistemas tem várias vantagens, como a divisão da tarefa de projeto e fabricação do satélite, grande e complexa, em tarefas menores e menos complexas, de projeto e fabricação de seus itens integrantes. Essa organização também permite a utilização total ou parcial de um subsistema específico em satélites diferentes, desde que os requisitos aplicáveis àquele item sejam iguais ou similares para os diferentes satélites.

O primeiro nível da estruturação de um satélite é a sua divisão em duas partes: carga útil e plataforma (ou plataforma de serviço, ou *bus*).

A carga útil é o conjunto de subsistemas, cada um composto por equipamentos e componentes, que são diretamente responsáveis pelo cumprimento da missão do satélite. Em um satélite de comunicações, por

exemplo, a carga útil pode consistir em um subsistema composto por uma antena receptora, um *transponder* e uma antena transmissora que recebem os sinais de um ponto da terra e retransmitem para outro ponto. Ou, no exemplo de um satélite de imageamento da superfície terrestre, a carga útil pode ser um subsistema que inclui uma câmera de imageamento, equipamentos que processam os sinais da câmera e um transmissor e antena para envio das imagens para uma estação receptora no solo.

Em um satélite multimissão a carga útil será múltipla, composta por vários subsistemas associados a cada uma das missões.

Conjuntos repetidos de subsistemas ou equipamentos também podem compor a carga útil de um satélite para aumentar sua capacidade dentro da missão. No exemplo do satélite de comunicações, a carga útil pode ter um subsistema com vários equipamentos *transponder* iguais para aumentar a capacidade do satélite de receber transmitir simultaneamente sinais de vários pontos.

A carga útil interfaceia com a plataforma com vários objetivos tais como receber energia elétrica para seu funcionamento, enviar informações sobre o status de sua operação (telemetrias), receber comandos para configurar parâmetros, trocar calor, dentre outros.

Para realizar seu papel, a plataforma também é composta por outros subsistemas. Eles têm funções típicas como, por exemplo, permitir a integração física de todos os equipamentos do satélite (da carga útil e da própria plataforma), manutenção da atitude (apontamento, rotação etc.) desejada para o satélite, permitir a manutenção da órbita, manutenção das faixas de temperaturas adequadas para todos os equipamentos, transmissão das telemetrias do satélite para o solo e recebimento dos comandos destinados à carga útil ou à própria plataforma.

A Tabela 4 apresenta os subsistemas típicos das plataformas de satélites e suas funções.

Tabela 4. Subsistemas típicos das plataformas de satélites.

Subsistema	Principais funções	Característica
Controle de Atitude e Órbita (AOCS – <i>Attitude and Orbit Control</i>)	Estabilização da atitude, determinação da órbita	Acurácia
Propulsão	Fornecimento de incrementos de velocidade	Impulso específico, massa de propelente
Suprimento de energia	Fornecimento de energia elétrica	Potência, tensão, estabilidade
Telemetria, rastreamento e comando (TT&C – <i>Telemetry, Tracking and Command</i>)	Troca de informações de status (<i>housekeeping</i>), configuração	Número de canais, segurança das comunicações
Computador embarcado (OBC – onboard computer)	Processamento a bordo, permite o controle da aviônica e outras funções	Estabilidade e baixo consumo de energia
Controle térmico	Manutenção da temperatura	Capacidade de dissipação
Estrutura	Suporte para os equipamentos	Rigidez, leveza

Fonte: Adaptado de MARAL; BOUSQUET (2009, p. 8).

4.2.2 Categorias de serviço dos sistemas espaciais e bandas de frequências

Os sistemas de comunicação por satélites, e os sistemas espaciais em geral, utilizam ondas eletromagnéticas para estabelecerem, com diversos objetivos, comunicação com a superfície terrestre.

O uso do espectro eletromagnético em qualquer aplicação é coordenado globalmente pela ITU – *International Telecommunication Union*, uma agência especializada da ONU – Organização das Nações Unidas (ITU, 2020). Para a coordenação do espectro no caso de emprego de satélites, a ITU classifica os serviços prestados por eles ou as finalidades desses satélites em diversas categorias. Algumas delas são (ITU, 2016, p. 9-13): *Fixed Satellite Service (FSS)*, *Mobile Satellite Service (MSS)*, *Broadcasting Satellite Service (BSS)*, *Radiodetermination Satellite Service (RDSS)*, *Earth Exploration Satellite Service (EESS)*, *Meteorological Satellite Service (EESS for meteorological purposes)*, *Amateur Satellite Service (ASS)*. A referência citada tem as definições precisas dessas categorias de serviço.

Os satélites denominados CubeSats (CGEE, 2018) têm recebido bastante atenção nos últimos anos por abrirem um leque de possibilidades de atuação na área espacial com custos e prazos bastante inferiores aos correspondentes dos satélites convencionais.

A ITU não possui uma categoria de serviço específica para os CubeSats. Desta forma, a coordenação de frequências deve ser feita utilizando-se as mesmas categorias de serviço dos satélites convencionais, baseando-se a classificação nos serviços prestados pelo CubeSat ou nas suas finalidades.

Por outro lado, muitas missões específicas envolvendo CubeSats puderam ser caracterizadas, em função dos indivíduos e organizações participantes, como satélites (de rádio) amadores. Nesta condição os CubeSats puderam ser enquadrados na categoria ASS e receber o tratamento previsto na regulamentação da ITU.

Adicionalmente, em se tratando de satélites do serviço ASS, a IARU – *International Amateur Radio Union* (IARU, 2020), uma organização não governamental reconhecida pela ITU, realiza a coordenação de frequências no nível global (IARU, 2020a).

Além das categorias de serviço, a coordenação de frequências também considera a região do globo (dividido em três regiões pela ITU) onde o serviço será realizado e se o serviço é do tipo primário ou secundário (ITU, 2016, p. 37-42). Os serviços do tipo secundário só podem ser realizados se não causarem interferências nos serviços primários.

A ITU coordena o espectro eletromagnético na faixa de frequências de 8,3 kHz a 3.000 GHz. A designação das bandas de frequências desse espectro é mostrada na Tabela 5.

Tabela 5. Designação da ITU para as bandas de frequências.

Band number	Symbols	Frequency range (lower limit exclusive, upper limit inclusive)	Corresponding metric subdivision
4	VLF	3 to 30 kHz	Myriametric waves
5	LF	30 to 300 kHz	Kilometric waves
6	MF	300 to 3 000 kHz	Hectometric waves
7	HF	3 to 30 MHz	Decametric waves
8	VHF	30 to 300 MHz	Metric waves
9	UHF	300 to 3 000 MHz	Decimetric waves
10	SHF	3 to 30 GHz	Centimetric waves
11	EHF	30 to 300 GHz	Millimetric waves
12		300 to 3 000 GHz	Decimillimetric waves

NOTE 1: "Band N" (N = band number) extends from 0.3×10^N Hz to 3×10^N Hz.

NOTE 2: Prefix: k = kilo (10^3), M = mega (10^6), G = giga (10^9).

Fonte: ITU (2016, p. 27).

Bandas de frequências desse espectro são alocadas aos diversos serviços, em base primária ou secundária, observando-se também a região de sua realização (ITU, 2016, p. 42-206). Até o momento só há frequências alocadas até 275 GHz.

A coordenação de frequências da ITU também determina se as bandas de frequências alocadas aos serviços de satélite devem ser usadas na transmissão de sinais da terra para o espaço (enlace de subida), do espaço para terra (enlace de descida) ou em ambos sentidos.

A banda de frequências mais baixas alocada para os serviços de satélites é, em caráter primário e de forma não exclusiva, a banda 7.000 – 7.100 kHz, alocada para o serviço de satélites amadores (ASS). Os satélites não amadores têm sua primeira banda na faixa de frequências 137,000 – 137,025 MHz, alocada para os serviços de satélites meteorológicos (EESS) e serviços móveis via satélite (MSS). Não há limite superior para as bandas alocadas para serviços de satélite, havendo serviços desta categoria com alocação de frequência até 275 GHz.

A efetiva alocação de frequências para um novo serviço de satélites (e novo serviço de radiocomunicação em geral) dentro das bandas regulamentadas é um processo administrativo e técnico complexo e longo porque há muitos aspectos que devem ser considerados.

Um aspecto dos mais importantes, por exemplo, é a interferência que o novo serviço pode causar nos serviços já operacionais, satelitais ou não, e a interferência que ele pode sofrer dos serviços existentes. Essa análise é dificultada pelo fato que muitas bandas de frequências são alocadas para serviços diferentes nas diferentes regiões da ITU. Os níveis de interferência causada ou sofrida também podem ser diferentes em função da região.

Outro aspecto importante, ainda como exemplo, é a largura de banda necessária para operação do novo serviço de satélite. As larguras de banda de operação são regulamentadas em função da frequência de operação. Como

consequência, sistemas satelitais que requerem bandas largas (para, por exemplo, sinais de televisão, sinais digitais de alta taxa de dados etc.) só são viáveis em frequências mais altas.

A Tabela 6 apresenta lista não exaustiva de algumas categorias de serviço de satélites e as bandas de frequências comumente utilizadas nessas categorias.

Tabela 6. Alguns serviços de satélites e bandas de frequência comumente utilizadas.

Radiocommunications service	Typical frequency bands for uplink/downlink	Usual terminology
Fixed satellite service (FSS)	6/4 GHz	C band
	8/7 GHz	X band
	14/12–11 GHz	Ku band
	30/20GHz	Ka band
	50/40GHz	V band
Mobile satellite service (MSS)	1.6/1.5 GHz	L band
	30/20GHz	Ka band
Broadcasting satellite service (BSS)	2/2.2 GHz	S band
	12 GHz	Ku band
	2.6/2.5 GHz	S band

Fonte: MARAL; BOUSQUET (2009, p. 14).

A nomenclatura das bandas segue uma designação usual do mercado de comunicações, definida na Tabela 7.

O Brasil é um país membro da ITU e como tal segue suas determinações gerais referentes ao uso do espectro eletromagnético. Todavia, a regulamentação da ITU deixa espaços para que algumas definições específicas relacionadas com as categorias de serviço e base de alocação primária / secundária sejam feitas pelos países membros.

A ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL, 2020) é a entidade brasileira responsável pela coordenação do uso do espectro eletromagnético no território nacional, incluindo a demanda de espectro pelos serviços satelitais.

Há um conjunto de leis e normas brasileiras que, adicionalmente às normas internacionais, regulamentam o emprego de sistemas de satélites no Brasil (ANATEL, 2020a) e cuja organização está sumarizada na Figura 9.

Essa regulamentação considera os conceitos de satélite brasileiro e de satélite estrangeiro, cujas definições são:

Satélite Brasileiro é o que utiliza recursos de órbita e espectro radioelétrico notificados pelo Brasil, ou a ele distribuídos ou consignados, cuja estação de controle e monitoração esteja instalada no território brasileiro.

Satélite Estrangeiro é aquele que utiliza recursos de órbita e espectro radioelétrico notificados por outros países (ANATEL, 2020a).

A abordagem da ANATEL para pequenos satélites, incluindo os CubeSats, é a mesma adotada pela ITU, descrita anteriormente.

Tabela 7. Designação de bandas usual no mercado de comunicações.

BANDA	FREQUÊNCIAS
HF	3 – 30 MHz
VHF	30 – 300 MHz
UHF	0,3 – 1 GHz
S	2 – 4 GHz
C	4 – 8 GHz
X	8 – 12 GHz
Ku	12 – 18 GHz
K	18 – 26 GHz
Ka	26 – 40 GHz
V	40 – 75 GHz
W	75 – 110 GHz

Fonte: CGEE (2020).



Figura 9. Organização da regulamentação da ANATEL para satélites.

Fonte: ANATEL (2020a).

4.2.3 Requisitos de alto nível dos sistemas de comunicações

Os requisitos de alto nível (lógico) dos sistemas de comunicações estão ligados mais diretamente ao problema que o sistema se propõe a resolver ou à demanda que pretende atender. Os requisitos de nível (lógico) mais baixo só surgem posteriormente, na medida em que se avança no detalhamento da solução pretendida.

Um requisito de alto nível típico de um sistema de comunicações é o de cobertura e indica a região geográfica em que os usuários do sistema devem estar para poderem utilizá-lo. Deve-se especificar se a cobertura é instantânea, isto é, se há conexão simultânea de dois ou mais usuários daquela região, ou total, quando pode haver um atraso para envio da informação entre dois ou mais usuários da região citada. Outro requisito fundamental, a latência indica o período de tempo entre o envio da informação por um usuário e o seu recebimento pelo outro usuário. Também relacionado ao tempo é a disponibilidade. Esse requisito define em quais momentos e por quanto tempo um usuário tem acesso ao sistema de comunicações.

O sentido do fluxo de informação também deve ser definido na definição do problema ou demanda. Nos sistemas simplex a informação flui somente em um sentido, de um usuário para outro, se a comunicação for ponto-a-ponto (P2P). A comunicação pode fluir de um usuário para vários e tem-se, neste caso, uma comunicação simplex ponto-multiponto. A radiodifusão é um exemplo típico desse modo de comunicação. A informação também pode fluir de vários usuários para um único, e nessa situação tem-se a comunicação simplex multiponto-ponto. Os sistemas de coleta de dados são, normalmente, exemplos desse modo de comunicação.

Quando a informação flui nos dois sentidos, mas não ao mesmo tempo, tem-se o modo de comunicação *half duplex*. Se a comunicação se dá ao mesmo tempo nos dois sentidos tem-se o modo *duplex* ou *full duplex*. Exemplos desses modos são, respectivamente, o transceptor tipo *walk-talk* (aperta-se um botão para falar e solta para ouvir) e o telefone convencional.

Com respeito ao percurso da informação entre os usuários, além da comunicação básica, P2P, e as outras mencionadas acima, há a comunicação em rede, quando cada usuário pode enviar e receber informação de vários outros usuários. O formato da informação, analógico ou digital, também é item importante a ser especificado na colocação do problema ou demanda.

Apesar de básicos, esses requisitos têm grande impacto na forma de estruturar um sistema de comunicações e nos requisitos de seus equipamentos constituintes. Como exemplo, um sistema de comunicações com satélites GEO, como mostrado na Figura 10, não cobre adequadamente as regiões polares da Terra. Para usuários próximos a essas regiões soluções diferentes, como as órbitas Molniya, foram utilizadas como indicado na Figura 11.

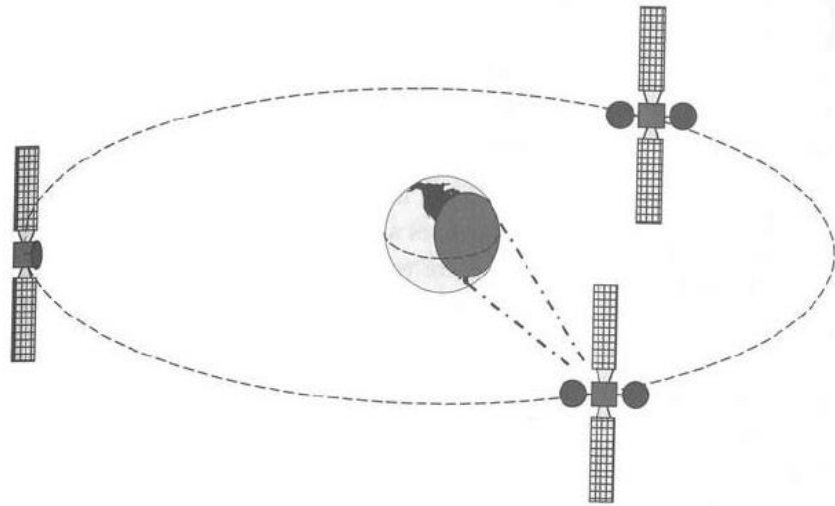


Figura 10. Cobertura da Terra com satélites GEO.

Fonte: ELBERT (2008, p. 2).

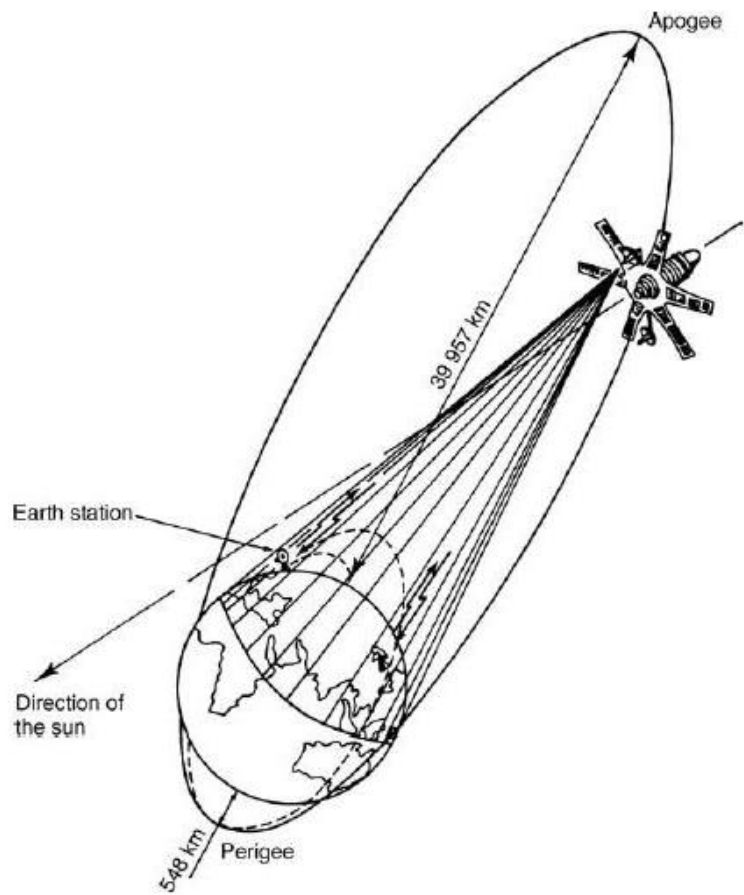


Figura 11. Cobertura da região polar com a órbita Molnyia.

Fonte: MARAL; BOUSQUET (2009, p. 10).

4.2.4 Arquitetura dos sistemas de comunicação por satélites

A arquitetura de satélites para um sistema de comunicações é definida já a partir de seus requisitos de alto nível, delineados em parte, anteriormente.

No caso mais simples, pode ser utilizado um único satélite em órbita baixa (LEO) o que resultará em baixas cobertura e disponibilidade do sistema de comunicações.

Em algumas aplicações, apenas um satélite LEO pode ser utilizado e a cobertura ampliada se os requisitos permitirem que a informação de um usuário seja recebida e armazenada a bordo e posteriormente transmitida para outro usuário, distante do primeiro (*Store-and-Forward*). A latência, nesse caso, será normalmente grande.

A questão da cobertura e disponibilidade pode ser resolvida com um único satélite em órbita GEO, os quais são tipicamente usados para comunicação. Cobertura quase global pode ser obtida com três satélites como mostrado na Figura 10.

Constelações de satélites LEO ou MEO podem ser utilizadas para atender requisitos de cobertura extensa, disponibilidade alta e latência baixa.

Considerações desse tipo são feitas no período inicial de desenvolvimento do sistema de comunicações, na fase de concepção, quando se realiza a análise de missão e a arquitetura de satélites é definida.

5 Sistemas de comunicações por satélites de pequeno porte

Na seção anterior, foi apresentada uma forma de classificação dos satélites baseada na altitude de suas órbitas. Outra forma usual de classificação é a baseada na sua massa. A Tabela 8 lista as classes de satélite por esse critério (CGEE, 2018, p. 9) e as correspondentes abreviaturas que serão utilizadas nesta e nas próximas seções.

Tabela 8. Classificação dos satélites pela sua massa.

Massa (kg)	Classe de satélite	Abreviatura
< 0,1	Femtossatélite	FemS
0,1 – 1	Picossatélite	PicS
1 – 10	Nanossatélite	NanS
10 – 100	Microssatélite	MicS
100 – 1000	Pequeno/Médio Satélite	PMS

Fonte: Adaptada de CGEE (2018, p. 9).

Os CubeSats são uma categoria particular de nanossatélites que utiliza uma arquitetura de desenvolvimento aberta e relativamente padronizada para os subsistemas mais comuns (CGEE, 2018, p. 9). Eles são construídos a partir de um módulo básico, na forma de um cubo com aresta de 10 cm, ou utilizando uma combinação de dois ou mais desses módulos. Nesta e nas próximas seções os CubeSats serão identificados como CubS.

Também será considerada no trabalho a classe dos satélites de pequeno porte (SPP), mais ampla que as anteriores, e que engloba, na realidade, as quatro classes da Tabela 8.

5.1 Sistemas de comunicações utilizando nanosatélites e CubeSats

O objetivo desta seção é o levantamento das missões de comunicações que empregam nanosatélites e CubeSats com vistas à identificação de tecnologias e soluções que possam ser utilizadas no desenvolvimento de novas missões de comunicações, baseadas nessa mesma classe de satélites, e de interesse específico do CGEE.

Pode haver satélites de classes de massa maior e com outras missões, além de comunicações, que também embarquem tecnologias ou utilizem soluções de interesse para o objetivo suprarreferido. Com base nessa possibilidade e utilizando-a como critério de seleção, o levantamento apresentado nesta seção foi ampliado para os satélites de pequeno porte e missões genéricas.

O resultado do levantamento até 22/07/20 é apresentado no Apêndice A – Pesquisa de missões de comunicações com SPP. Esse resultado aponta a ausência de artefatos brasileiros da classe SPP em missões de comunicações.

5.2 Características e tecnologias das missões espaciais de interesse

O conhecimento das características técnicas e das tecnologias empregadas em um sistema espacial de comunicações que esteja na fase operacional, ou mesmo em fase adiantada de desenvolvimento, é de enorme valia para a concepção e desenvolvimento de novos sistemas de comunicações, ainda que para aplicações diferentes. No mundo real, todavia, esse *benchmarking* só pode ser realizado muito parcialmente e a liberação de informações técnicas dos sistemas existentes ou em estudo é bastante escassa. Isto ocorre por diversos motivos, mas um motivo importante é a manutenção das vantagens competitivas desses sistemas, não se revelando, na medida do possível, informações sobre a origem de seus pontos fortes, nem informações que permitam a inferência de seus pontos fracos.

Tendo sido identificadas as missões de interesse, o segundo passo consiste no levantamento do maior volume possível de informações técnicas e tecnológicas através da análise das referências bibliográficas de cada missão, obtidas no processo de busca reportado no Apêndice A – Pesquisa de missões de comunicações com SPP.

São listados abaixo alguns quesitos a serem definidos no processo de concepção e desenvolvimento de um sistema espacial de comunicações.

- MISSÃO
 - Aplicações do sistema: IoT, IoRT, M2M, Internet, banda larga, coleta de dados, difusão de dados, P2P, rede, comunicações móveis, fixas etc.;
 - Arquitetura de comunicações: acesso direto dos usuários; uso de gateways, hubs, feeds e infraestrutura terrestre de telecomunicações; enlaces entre satélites;
 - Fluxo de informação: simplex, duplex, half duplex;
 - Protocolos de dados, protocolos de rede, erros de mensagens;

- Banda de frequências de operação; largura de banda de sinal;
 - Quantidade de satélites, órbitas;
 - Cobertura instantânea e total; disponibilidade;
 - Taxa de dados, volume de dados, latência;
 - Potência do gerador solar;
 - Massa; volume;
- EQUIPAMENTOS EMBARCADOS
 - Antena: tipo, diagrama de irradiação, polarização, largura de banda, tecnologia de fabricação, dimensões, massa;
 - Receptor: modulação do enlace de subida, sensibilidade, consumo, tecnologia de fabricação (HW x SDR), massa, volume;
 - Transmissor: modulação do enlace de descida, potência de RF, consumo, tecnologia de fabricação (HW x SDR), massa, volume;
 - Transponder: modulação do enlace de subida, sensibilidade, modulação do enlace de descida, potência de RF, consumo, tecnologia de fabricação (HW x SDR), massa, volume;
 - Nível de qualidade de partes e materiais: espacial, herança espacial, militar, COTS, radhard, non-radhard.

5.2.1 Satélite KIPP

O satélite KIPP da empresa Kepler Communications mostrado na Figura 12 é considerado o primeiro satélite comercial LEO na banda Ku (KEPLER, 2020).

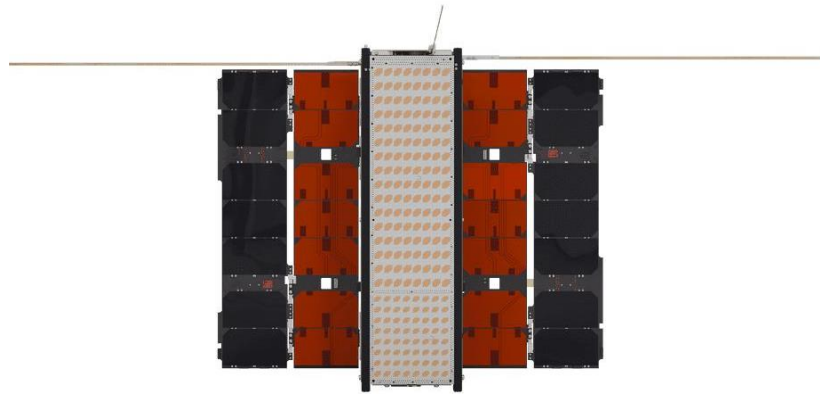


Figura 12. CubeSat KIPP da empresa Kepler.

Fonte: KEPLER (2020).

De acordo com a Kepler, o satélite KIPP é um artefato de demonstração de tecnologia e foi lançado em 19/01/2018 do Centro de Lançamento de Satélites Jiuquan (JLSC), na China. As características do satélite são (KEPLER, 2020):

- MISSÃO
 - Aplicações do sistema: *Store-and-Foreword*
 - Arquitetura de comunicações: acesso direto dos usuários na transmissão, com terminais VSAT; recepção de dados via Internet ou rede privada da Kepler;
 - Fluxo de informação: simplex
 - Banda de frequências de operação; enlace de subida: 14 – 14,5 GHz; enlace de descida: 10,7 – 12,7 GHz;
 - Taxa de dados: ≤ 30 Mbps (TBC);
 - Volume: CubeSat 3U;
 - Órbita: polar, altitude 575 km (TBC);
- EQUIPAMENTOS EMBARCADOS
 - Antena: Rede de antenas *microstrip*, banda de frequências de operação 10,7 – 12,7 GHz, 14 – 14,5 GHz;
 - Transponder: Banda Ku, tecnologia SDR, ajuste dinâmico de largura de banda de canal, disponibilidade de vários protocolos de dados em função da aplicação.

5.2.2 Satélite CASE

O satélite CASE da empresa Kepler Communications é chamado de “satélite irmão” do satélite KIPP (KEPLER, 2020a).

De acordo com a Kepler, o satélite CASE é um artefato de demonstração de tecnologia e de prova-de-conceito de alguns serviços a serem oferecidos pela empresa, tendo sido lançado em novembro de 2018. As características do satélite são (KEPLER, 2020a):

- MISSÃO
 - Aplicações do sistema: *Store-and-Foreword*
 - Arquitetura de comunicações: acesso direto dos usuários na transmissão, com terminais VSAT; recepção de dados via Internet ou rede privada da Kepler;
 - Fluxo de informação: simplex
 - Banda de frequências de operação; enlace de subida: 14 – 14,5 GHz; enlace de descida: 10,7 – 12,7 GHz;
 - Taxa de dados: ≤ 30 Mbps (TBC);
 - Volume: CubeSat 3U;
 - Órbita: polar, altitude 575 km (TBC);

- EQUIPAMENTOS EMBARCADOS
 - Antena: Rede de antenas *microstrip*, banda de frequências de operação 10,7 – 12,7 GHz, 14 – 14,5 GHz;
 - Transponder: Banda Ku, tecnologia SDR, ajuste dinâmico de largura de banda de canal, disponibilidade de vários protocolos de dados em função da aplicação.

5.2.3 Satélite TARS

O satélite TARS da empresa Kepler Communications mostrado na Figura 13 é o terceiro da série de satélites KIPP-CASE-TARS de demonstração de tecnologias e de prova-de-conceito de serviços da empresa (KEPLER, 2020b).

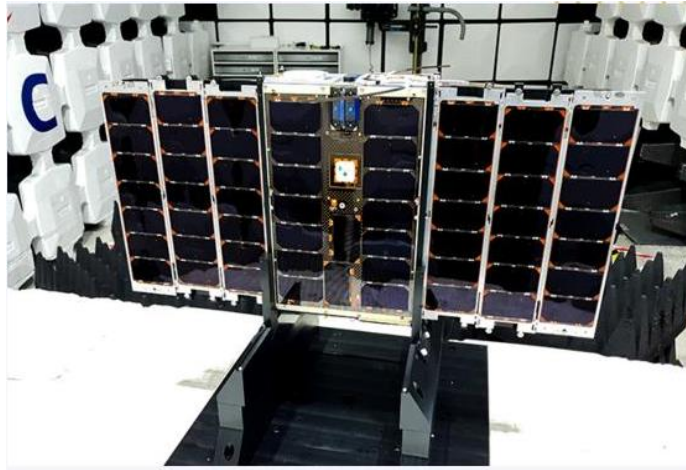


Figura 13. CubeSat TARS da empresa Kepler.

Fonte: KEPLER (2020b).

O TARS tem o objetivo de demonstrar a capacidade de comunicações global com baixa e alta taxa de dados. Ele continuará o programa de demonstração da comunicação *store-and-forward* de alta taxa e também demonstrará a oferta de conectividade em taxas mais baixas para dispositivos IoT com acesso direto ao satélite (KEPLER, 2020b). As características do satélite são:

- MISSÃO
 - Aplicações do sistema: *Store-and-Foreword*; conectividade para dispositivos IoT e M2M;
 - Arquitetura de comunicações: *Store-and-Foreword*: acesso direto dos usuários na transmissão, com terminais VSAT; recepção de dados via Internet ou rede privada da Kepler; Conectividade IoT/M2M: acesso direto dos usuários ao satélite;
 - Fluxo de informação: *Store-and-Foreword* :simplex; Conectividade IoT/M2M: duplex;
 - Banda de frequências de operação: *Store-and-Foreword*: enlace de subida: 14 – 14,5 GHz; enlace de descida: 10,7 – 12,7 GHz; Conectividade IoT/M2M: enlace de subida: 1,98 – 2,025 GHz; enlace de descida: 2,16 – 2,2 GHz;
 - Taxa de dados: ≤ 30 Mbps (TBC);
 - Volume: CubeSat 6U;
 - Órbita: polar, altitude 575 km (TBC);
- EQUIPAMENTOS EMBARCADOS

- Antena: Rede de antenas *microstrip*, banda de frequências de operação banda Ku: 10,7 – 12,7 GHz, 14 – 14,5 GHz; Banda S (TBC): 1,98 – 2,025 GHz, 2,16 – 2,2 GHz;
- Transponder: Banda Ku: tecnologia SDR, ajuste dinâmico de largura de banda de canal, disponibilidade de vários protocolos de dados em função da aplicação; Banda S: tecnologia SDR (TBC).

5.2.4 Constelação Kepler – 1ª geração de satélites

Os satélites KIPP, CASE e TARS apresentados acima são demonstradores de tecnologia e prova-de-conceito de serviços que serão oferecidos pela Kepler Communications de forma ampla por meio de uma constelação de nanosatélites, chamada de Constelação Kepler neste trabalho, que terá em torno de 140 artefatos. A Kepler planeja o estabelecimento dessa constelação em três etapas com o lançamento de grupos de satélites denominados de *Gen 1 Satellites*, *Gen 2 Satellites* e *Gen 3 Satellites* (KEPLER, 2020c).

A característica dos *Gen 1 Satellites* adicional às características do satélite TARS é:

- MISSÃO
 - 15 satélites, órbitas polares, altitude 575 km (TBC);

A previsão de lançamento desse grupo de satélites é ao longo do ano de 2020.

5.2.5 Constelação Kepler – 2ª geração de satélites

De forma análoga à seção anterior, as características dos *Gen 2 Satellites* adicionais às do satélite TARS ou com alguma diferença em relação a elas são:

- MISSÃO
 - Aplicação adicional do sistema: comunicações móveis;
 - Latência < 1 h;
 - 35 satélites, órbitas polares, altitude 575 km (TBC);
- EQUIPAMENTOS EMBARCADOS
 - Antena: Rede de antenas *microstrip* com controle de fase (*phased array*) nas bandas S e Ku.

Note-se que após o lançamento dos *Gen2 Satellites* a Constelação Kepler operará com 50 satélites em órbita. A previsão de lançamento desse grupo de satélites é ao longo do período 2021/2022.

5.2.6 Constelação Kepler – 3ª geração de satélites

Após o lançamento dos *Gen 3 Satellites*, previsto para ocorrer no período 2022/2023, a Constelação Kepler atingirá seu tamanho nominal de 140 satélites. Nesse momento, a constelação terá importantes características adicionais às apresentadas até etapa anterior, de operação dos *Gen 1 e Gen 2 Satellites*. Essas novas características serão:

- MISSÃO
 - Arquitetura de comunicações: característica adicional de disponibilidade de enlaces na banda Ka para oferta de serviço de enlace entre satélites (ISL – *Inter-Satellite Link*);
 - Latência: tempo real, com cobertura global;
 - Acesso aos satélites em tempo real;
 - 90 satélites, órbitas polares, altitude 575 km (TBC);

5.2.7 Constelação Telesat LEO

A empresa canadense Telesat pretende operacionalizar até 2022 uma constelação de aproximadamente 300 satélites em LEO para fornecimento de conectividade com taxa de dados da ordem de Gbps, cobertura global e baixa latência (TELESAT, 2020). A constelação também poderá atuar como *backhaul* de redes móveis terrestres das tecnologias 3G/4G/5G.

Alguns detalhes tecnológicos são apresentados na Apêndice A – Pesquisa de missões de comunicações com SPP, mas ainda não foram encontradas maiores informações sobre os satélites da constelação.

5.2.8 Constelação Starlink

Em 24 de outubro de 2020, a SpaceX atingiu uma marca histórica com o 15º lançamento de satélites da sua frota Starlink, chegando ao número de 100 lançamentos bem-sucedidos de cargas úteis colocadas em órbita pela empresa. Com o último lançamento de 2020 no dia 25 de novembro de 2020, a frota já atingiu o número de 905 satélites colocados em órbita para prover internet no ambiente espacial, porém 55 desses já tiveram reentrada, seja por decaimento orbital passivo ou desorbitados propositalmente. O último lançamento foi realizado pelo foguete Falcon 9, utilizado pela empresa dezenas de vezes, em Cape Canaveral, EUA. Mesmo com um sucesso elevado, a SpaceX foi questionada sobre a quantidade desses satélites que já falharam ou não conseguiram chegar em órbita adequada, tendo em vista que o número é maior do que as previsões em relação a sua confiabilidade haviam reportado. A empresa justificou que a maioria dos exemplares Starlink que não estão mais em órbita foram deliberadamente removidos.

Em um acordo de 149 milhões de dólares, a SpaceX foi contratada em outubro deste ano pela Agência de Desenvolvimento Espacial do Departamento de Defesa dos Estados para construir quatro satélites para detectar e rastrear mísseis balísticos e hipersônicos. A Microsoft também foi escolhida como um parceiro para desenvolver o ambiente virtual desses satélites, os quais utilizarão os serviços da plataforma própria, Azure, para os centros de processamento de dados provenientes dos satélites encomendados. O destaque, porém, vai para a utilização da rede de banda larga fornecida pela constelação Starlink, também da SpaceX, tanto pelos

satélites, quanto pelos centros de processamento de dados. Os satélites estão previstos para serem lançados em setembro de 2022 e utilizarão sensores infravermelhos para detectar os mísseis em questão.

Os satélites Starlink já revolucionaram o mercado, não apenas pelos objetivos da missão, mas também pela rapidez com que estão sendo desenvolvidos e lançados. O grande objetivo é utilizar a maior plataforma de informação desenvolvida pelo homem, a internet. Com sua grande quantidade de exemplares, espera-se que a frota seja capaz de manter o fluxo de informação constante, confiável e seguro, para as mais diversas áreas. Tendo aplicações em todos os setores da indústria espacial e tecnológica, a SpaceX pretende vender uma parcela dos satélites da constelação para fins militares, científicos e ou exploratórios. Em 2018, o custo estimado para a execução do projeto foi estimado em 10 bilhões de dólares americanos.

5.2.9 Projeto Blackjack

O programa Blackjack, liderado pela *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA), busca substituir os grandes satélites tradicionais por grandes redes de pequenos satélites baratos, como os CubeSats. Essa abordagem busca incentivar a utilização de tecnologia avançada em artefatos de menor custo, possibilitando a criação de redes autônomas, conectadas diretamente, dinamicamente e de maneira não-hierárquica (*mesh networks*) em baixa órbita, as quais proporcionariam maior cobertura, mais pontos de conexão e maior resiliência.

A primeira missão de demonstração será a do CubeSat Mandrake 1, o qual terá processadores de supercomputadores em sua carga útil. Já a missão Mandrake 2 será formada por um par de pequenos satélites que terão *links* ópticos entre eles para transmissão de dados. Os lançamentos estão planejados para o primeiro semestre de 2021.

Outra inovação do programa será a carga útil denominada Wildcard, que explorará um rádio definido por software, permitindo a conexão entre os satélites em baixa órbita com rádios táticos em solo. O programa também pretende demonstrar sensores que têm dimensões pequenas e capacidade alta, podendo ser produzidos em massa por diversos fornecedores e por menos de dois milhões de dólares por carga útil. O desenvolvimento desse projeto representa um marco para o setor de defesa, ao seguir as tendências do setor privado, atualmente liderado por empresas como SpaceX, Planet Labs e Spire, com suas constelações de pequenos satélites para as mais diversas aplicações.

5.2.10 Outros satélites e constelações

O Apêndice A – Pesquisa de missões de comunicações com SPP lista outras iniciativas de desenvolvimento de satélites e constelações para comunicações empregando várias classes de satélites. Sabe-se, também, de iniciativas que não constam, ainda, da Tabela 15 do Apêndice A – Pesquisa de missões de comunicações com SPP. Esses projetos serão considerados nas próximas revisões da tabela uma vez que é preciso algum tempo para coletar as informações mínimas sobre eles, de forma que sejam incluídos somente projetos cuja execução ainda está sob consideração pelos seus proponentes.

6 Tendências tecnológicas das comunicações por satélites

Os principais elementos do contexto tecnológico dos sistemas de comunicações por satélites de pequeno porte em desenvolvimento atualmente são:

- a) Alta taxa de dados da conexão do usuário, equiparável a um serviço similar cabeado, o que requer, entre outros fatores, o uso das bandas de frequências mais altas como Ku e Ka;
- b) Cobertura global, com alta disponibilidade e comunicação em tempo-real (baixa latência), o que acarreta o emprego de satélites em órbitas baixas e constelações com grande quantidade de satélites e, em alguns casos, com capacidade de enlace entre satélites.

A viabilidade econômica desses tamanhos de constelações requer a diminuição do custo individual dos artefatos o que está levando à simplificação dos processos de fabricação (caso das plataformas da constelação OneWeb, por exemplo) e diminuição de tamanho das plataformas, com impacto na quantidade e custo dos lançamentos. Note-se, a ser confirmado, que a maioria das constelações em desenvolvimento utilizam satélites na faixa 100 – 300 kg, e não nanosatélites.

Não parece obvio que o uso de CubeSats no caso da constelação Kepler acarrete, por si só, diminuição de custo. Isto porque dois fatores de redução de custo dos CubeSats parecem estar ausentes: o uso de módulos padronizados, com componentes COTS, e o lançamento como carga secundária. A simples redução de tamanho do satélite poderia ser obtida colocando-o na classe genérica dos nanosatélites, sem as restrições dos CubeSat.

- c) Uso de protocolos de dados flexíveis e facilmente interfaceáveis com dispositivos terrestres dos usuários (i.e., transparência do meio de comunicação): requer maior capacidade de processamento digital que os sistemas tradicionais o que é viabilizado pelo uso de SDR e, provavelmente, módulos de processamento digital com circuitos integrados de alto nível de integração e sem a qualificação espacial dos projetos convencionais.

Nos documentos disponíveis sobre esses novos sistemas não há, normalmente, informações sobre a vida útil dos artefatos, o impacto da perda de satélites no desempenho global do sistema, e a necessidade de reposição. Essa informação poderia ajudar na formulação da estratégia a ser usada na concepção de outros sistemas que fizesse uso extenso de componentes COTS, por exemplo, ou diminuísse o uso de redundância para diminuição de custo e tamanho.

Fora a questão tecnológica, o desenvolvimento dos diversos sistemas de comunicações parece estar firmemente baseado em estudo econômico-financeiros que atestam a existência de demanda por esse tipo de conectividade (em termos de velocidade, cobertura, latência) em escala global e que o seu atendimento gerará retorno financeiro sustentável.

Entre os desafios futuros a serem enfrentados no desenvolvimento de pequenos satélites de comunicação foram levantados:

- a) Confiabilidade na transmissão de informação (integridade dos dados) e acesso compartilhado do canal.
- b) Satélites em órbitas MEO.
- c) Constelações híbridas.
- d) Cloud-based ground stations.

Não foi encontrado ainda um estudo semelhante no Brasil. Todavia o país apresenta, aparentemente, deficiências na sua infraestrutura de comunicações com tecnologia tradicional. Caso isso se comprove, talvez

seja uma oportunidade para o desenvolvimento de um sistema de comunicações com cobertura nacional, capaz de atender diferentes perfis de usuários para atender demandas diferentes das distintas regiões do país. Exemplos de possíveis demandas regionais: deficiências da rede cabeada e/ou celular, coleta de dados em tempo real para os fins já estabelecidos, difusão de dados, IoT (*Internet of Remote Things*). É preciso aprofundar o conhecimento da realidade das comunicações nacionais para divisar melhor as oportunidades.

7 Ecosistema para desenvolvimento de missões espaciais

O desenvolvimento de uma missão espacial requer um ambiente adequado no qual a disponibilização dos recursos e a execução das ações necessárias ocorrem tempestivamente. Esses recursos são de natureza bastante variada, incluindo itens intangíveis como informação, conhecimento, processos / procedimentos em áreas diversas como, por exemplo, ciência, tecnologia, qualidade, legislação, comércio e logística, e itens tangíveis, também de diversos tipos, como pessoas, instituições, partes e materiais, equipamentos e infraestrutura de fabricação, integração e testes.

Nesse contexto o termo “ambiente” não se refere a um espaço físico limitado, mas a um espaço físico amplo, talvez de um país, onde pessoas e instituições se relacionam conforme arranjo predefinido, fornecem os insumos necessários e desenvolvem suas atividades. A forma de organização e de relacionamento são itens intangíveis do “ambiente”.

Em um ambiente organizado, os recursos e os correspondentes fornecedores estão identificados com nível de detalhamento suficiente, bem como está definida a forma de relação entre eles, constituindo-se, assim, um ecossistema.

Esta seção traz as primeiras informações de alguns itens relevantes para a criação de um ecossistema cujo foco será o desenvolvimento de missões espaciais de comunicações utilizando satélites de pequeno porte e CubeSats, em linha com os acontecimentos globais mais recentes. Os critérios de busca e seleção dos itens apresentados a seguir devem ser refinados com o tempo, a fim de se mostrar uma relação mais objetiva entre recursos / demandas e as suas fontes.

7.1 Fontes de informações científicas e tecnológicas

As fontes de informações científicas e tecnológicas de interesse para o tipo de missão espacial em pauta devem ser periodicamente atualizadas. As figuras 13 e 14 mostram, respectivamente, o número de documentos que abordam o tema telecomunicações com CubeSats e a nuvem de palavras-chave extraída desses documentos. O detalhamento do levantamento está disponível ao leitor mediante requisição ao OTE/CGEE.

monitoramento contínuo de fontes noticiosas e científicas que fornece fundamentos para o desenvolvimento de trabalhos como este e os resultados encontram-se disponíveis ao leitor mediante requisição ao OTE/CGEE.

7.3 Principais eventos técnicos

A atualização dos eventos técnicos importantes, direta ou indiretamente, para a área de sistemas de comunicações com SPP e CubeSats. Uma lista de eventos do setor de interesse dos desenvolvedores da tecnologia de pequenos satélites encontra-se disponíveis ao leitor mediante requisição ao OTE/CGEE.

7.4 Principais instituições com atuação na área

As instituições com diversos fins, com atuação direta ou indireta na área de interesse, são fundamentais para o ecossistema a ser desenvolvido. O levantamento realizado até o momento está disponível ao leitor mediante requisição ao OTE/CGEE.

7.5 Ciclo de vida das missões espaciais

O ciclo de vida das missões espaciais possui, de acordo com a norma ECSS-M-ST-10C (ECSS, 2009), as sete fases listadas a seguir:

- Fase 0 – Análise de missão / identificação de necessidades;
- Fase A – Exequibilidade;
- Fase B – Definição Preliminar;
- Fase C – Definição Detalhada;
- Fase D – Qualificação e Produção;
- Fase E – Utilização;
- Fase F – Encerramento.

Cada uma dessas fases inclui a execução de tarefas específicas, detalhadas na norma supracitada, que requerem recursos humanos, materiais e infraestrutura apropriados.

Wertz e Larson (1992) dividem o ciclo de vida das missões espaciais em quatro fases, duas das quais divididas em subfases, como mostrado na Tabela 9. Nesta tabela também estão indicadas as principais atividades de cada fase/subfase.

Comparando-se a classificação da norma ECSS e as atividades da Tabela 9 pode-se concluir que ambas as classificações, a da ECSS e a de Wertz e Larson, são conceitualmente equivalentes.

É bastante provável que o detalhamento de ambos os ciclos de vida acima possa ser simplificado no caso de algumas missões espaciais específicas com CubeSats, com impacto positivo na redução de custo e prazo de desenvolvimento da missão.

Tabela 9. Fases do ciclo de vida da missão espacial.

FASE	SUBFASE	PRINCIPAIS ATIVIDADES
Exploração do Conceito	Análise das Necessidades	<ul style="list-style-type: none"> Definição dos requisitos básicos e das restrições da missão baseado em: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Objetivos da missão; ✓ Conceito da missão; ✓ Macro Cronograma; ✓ Custo do ciclo de vida.
	Desenvolvimento do Conceito	<ul style="list-style-type: none"> Reavaliação dos requisitos básicos; Desenvolvimento e avaliação de conceitos de missão alternativos; Desenvolvimento e avaliação de arquiteturas de missão alternativas; Estimativa de: desempenho, custo do ciclo de vida, cronograma, risco, sustentabilidade; Definição dos requisitos de sistema preliminares.
Desenvolvimento Detalhado	<i>Demonstração e Validação</i>	<ul style="list-style-type: none"> Revisão dos Requisitos de Sistema; Projeto do sistema; Revisão do Projeto do Sistema; Projeto preliminar dos elementos do sistema (segmento espacial, segmento solo); Revisão do Projeto Preliminar.
	<i>Desenvolvimento do Gerenciamento e Engenharia</i>	<ul style="list-style-type: none"> Projeto detalhado dos elementos do sistema; Fabricação e teste dos modelos de engenharia dos elementos do sistema; Revisão Crítica do Projeto; Qualificação dos elementos do sistema conforme plano de qualificação; Revisão de Qualificação conforme plano de qualificação.
Produção e Lançamento		<ul style="list-style-type: none"> Fabricação e teste dos subsistemas de voo; Montagem, integração e teste (AIT) do satélite; Lançamento do satélite; Fabricação, instalação e teste dos subsistemas de solo.
Operação e Suporte		<ul style="list-style-type: none"> Comissionamento da missão; Operação da missão; Encerramento da missão.

Fonte: Wertz e Larson (1992)

8 Capacidade nacional para missões espaciais com SPP

Para o desenvolvimento e execução de uma missão espacial são necessárias, em primeiro lugar, organizações (empresas e/ou instituições) que assumam a responsabilidade sobre a missão completa ou partes dela, de maneira que todo o trabalho requerido para o sucesso da missão seja executado da forma e no tempo apropriados. Essas organizações, por sua vez, necessitam de recursos humanos, ferramentas e infraestrutura que resultem nas capacidades que serão utilizadas na execução de todas as atividades do ciclo de vida da missão, delineadas na seção anterior.

As capacidades específicas de uma organização dependem das capacidades de seus recursos humanos e das ferramentas e infraestrutura que ela possui, ou às quais tem acesso.

Esta seção tem por objetivo fazer um levantamento das capacidades das organizações nacionais para o desenvolvimento de missões espaciais de comunicações com satélites de pequeno porte, ênfase em CubeSats. Essas missões incluem o segmento espacial, o lançamento dos satélites e o segmento solo. O levantamento dos recursos humanos com as capacidades necessárias é objeto da Seção 9.

Na abordagem adotada para a avaliação da capacidade nacional, em primeiro lugar são levantadas as principais capacidades necessárias para o desenvolvimento das missões desejadas e em seguida as organizações são avaliadas quanto à sua posse.

O levantamento das necessidades pode ser feito seguindo-se o fluxo de atividades das fases de uma missão espacial descrito na Tabela 9. A primeira capacidade, todavia, pode ser identificada antes mesmo da consulta a esta tabela e trata-se da capacidade de gerenciamento do desenvolvimento da missão espacial.

Em segundo lugar, é preciso ter capacidade em engenharia de sistemas nas áreas dos subsistemas embarcados no satélite, interface com o lançador e segmento solo. O grupo de sistemas, liderado tecnicamente pelo responsável pelo gerenciamento da missão, realizará a análise e definição da missão ao longo da fase Exploração do Conceito e parte da subfase *Demonstração e Validação* da Tabela 9. Ao término destas atividades os sistemas que compõem a missão estarão definidos através do conjunto de requisitos do sistema. Para o desenvolvimento de missões inovadoras a capacidade do grupo de sistemas deve estar no estado da arte das tecnologias envolvidas, ainda que apenas no nível adequado para a concepção e projeto preliminar dos sistemas.

A continuação do levantamento das capacidades necessárias, após a definição dos sistemas da missão relatada acima, depende da escolha do modelo de desenvolvimento:

- a) desenvolvimento completamente nacional: satélite nacional com o maior percentual viável de subsistemas, equipamentos e serviços nacionais; idem segmento solo;
- b) desenvolvimento híbrido: satélite nacional com mistura de subsistemas, equipamentos e serviços nacionais e importados, balanceados de acordo com os critérios estabelecidos pelos patrocinadores (*sponsors*) da missão; idem segmento solo;
- c) aquisição no mercado internacional: satélite completo adquirido no mercado internacional de acordo com os critérios estabelecidos pelos patrocinadores da missão; segmento solo com maior percentual viável de itens importados, adquiridos de acordo com os critérios estabelecidos pelos patrocinadores da missão.

8.1 Desenvolvimento completamente nacional

Neste caso, o grupo de sistemas também deverá ter capacidade de coordenação do sistema de garantia do produto a ser aplicado no desenvolvimento da missão, bem como capacidade de acompanhamento das aquisições/desenvolvimentos nacionais dos subsistemas, equipamentos e *softwares*.

No parágrafo acima se fez uma distinção entre “desenvolvimento” da missão e “desenvolvimento” dos subsistemas, equipamentos e *softwares*. No primeiro caso, o termo “desenvolvimento” será sempre usado, independentemente do status técnico dos itens de *hardware* e *software* que integrarão o satélite e o segmento solo. No segundo caso, referindo-se a subsistemas, equipamentos e *softwares*, o termo “desenvolvimento” será usado para indicar que o item da organização fornecedora precisa passar por etapas de (re)projeto, montagem, escrita de programas e testes, dentre outras, até que possa atender a sua especificação de requisitos. Caso o item de *hardware* ou *software* possa atender seus requisitos sem alterações técnicas ou de engenharia, ou com alterações consideradas pequenas, o termo “desenvolvimento” será substituído por “aquisição” ou “compra”.

Esse modelo de desenvolvimento também requer a capacidade para a montagem, integração e testes (AIT – *Assembly, Integration and Tests*) dos subsistemas e equipamentos do satélite, obtidos no mercado nacional ou no exterior, bem como a disponibilidade das ferramentas e infraestrutura necessárias.

No nível dos subsistemas e equipamentos, as organizações deverão ter a capacidade de fornecimento de produtos (*hardware* ou *software*) e de serviços.

Para maior simplicidade, será considerado fornecimento de produto a entrega de um item que requer baixo ou nenhum volume de trabalho não recorrente de engenharia ou técnico para o atendimento da especificação de requisitos recebida. Isto significa que a organização já dispõe daquele item qualificado para as condições de aplicação no satélite ou no sistema solo e apenas serão necessárias pequenas alterações / adaptações que não invalidarão a qualificação obtida anteriormente.

O fornecimento de um item que requer grande volume de trabalho não recorrente técnico ou de engenharia será considerado fornecimento de serviço (serviço de desenvolvimento do item).

Há situações em que não se tem dúvidas de que um dado fornecimento da organização é de serviço como, por exemplo, a realização de um teste vácuo-térmico de um equipamento.

Também por simplicidade, a capacidade de fornecimento de um produto ou de um serviço pressupõe a realização de todas as atividades e viabilização de todos os meios e insumos necessários para a entrega do produto ou serviço a partir do recebimento de sua especificação. Esse pressuposto é bastante impactante na definição da capacidade de fornecimento da organização porque implica, normalmente, na execução de muitas tarefas e na viabilização de meios e insumos diversos tais como:

- a) pessoal técnico com capacidade para análise, projeto e testes nas áreas de eletrônica, estruturas mecânicas, controle térmico, EMC/EMI, placas de circuito impresso, aplicação de partes e materiais etc.;
- d) ferramentas de software para análise, projeto e simulação nas mesmas áreas do item acima;
- e) meios para fabricação de placas de circuito impresso, cablagem, caixas e estruturas metálicas, montagem e integração de placas eletrônicas;

- f) equipamentos e acessórios para testes funcionais nos níveis de placa, equipamento e subsistema;
- g) meios para a execução dos ensaios ambientais (térmicos, vácuo-térmicos, mecânicos) e de EMC/EMI;
- h) pessoal e meios para aquisição, recebimento e armazenamento de partes e materiais;
- i) organização do sistema da qualidade que atenda aos requisitos de garantia do produto da missão.

As observações acima são aplicáveis aos subsistemas e equipamentos dos segmentos espacial e solo. Uma característica distintiva do segmento solo é a utilização mais extensa de equipamentos de prateleira. Assim, em diversos subsistemas desse segmento, o desenvolvimento significa o projeto de um item de *hardware* ou de *software* para interface de um equipamento de prateleira de forma que esse atenda aos requisitos específicos da missão.

8.2 Desenvolvimento híbrido

Esse modelo de desenvolvimento requer as mesmas organização e capacidades do modelo anterior, mas com extensão e características específicas dependentes da definição dos itens que serão desenvolvidos nacionalmente e dos que serão adquiridos no mercado internacional.

8.3 Aquisição no mercado internacional

Nesse modelo, o satélite completo é adquirido no mercado internacional e, dependendo, da contratação do serviço de lançamento, pode ir ao espaço sem passar pelo território nacional.

O desenvolvimento da missão fica, em essência, restrito ao acompanhamento, pelo grupo de engenharia de sistemas, da aquisição do satélite, e ao acompanhamento do desenvolvimento do segmento solo. O volume dos recursos humanos necessários nas organizações nacionais deve ser bastante reduzido em relação ao dos outros modelos de desenvolvimento da missão.

Com os satélites e segmento solo produzidos utilizando um dos três modelos de desenvolvimento acima, a atividade seguinte é o lançamento do satélite o que será feito utilizando um lançador adequado do mercado internacional. O gerenciamento da interface da missão com os lançadores potenciais ao longo das fases Exploração de Conceito e Desenvolvimento Detalhado, bem como a escolha final na fase Produção e Lançamento é atribuição do grupo de sistemas.

O comissionamento da missão no início da fase Operação e Suporte é realizado pelo grupo de sistemas com o apoio das organizações fornecedoras dos subsistemas ou do satélite completo.

Esta última fase do ciclo de vida da missão requer capacidade em engenharia de sistemas com ênfase nos sistemas de solo e aspectos operacionais da missão. O grupo de sistemas para as fases anteriores inclui, certamente, o aspecto operacional, mas a maior parte das atividades do grupo tem um viés de desenvolvimento.

Também são necessárias capacidades em controle e operação da plataforma do satélite, controle e operação da carga útil, operação da missão, interface e suporte aos usuários.

A Tabela 10 sumariza as observações acima listando as capacidades das organizações e a forma de suas aplicações ao longo do ciclo de vida da missão. Na elaboração dessa tabela assumiu-se, com base na observação

do estado da arte e das missões de comunicações com CubeSats e satélites de pequeno porte, que essas missões podem envolver cargas úteis que operam até a banda Ka.

Também são listadas na Tabela 10 as principais ferramentas e itens de infraestrutura necessários para o desenvolvimento da missão espacial conforme os dois primeiros modelos de desenvolvimento vistos acima. Raramente esses itens são disponibilizados isoladamente. A ocorrência mais frequente é que eles sejam utilizados nos serviços oferecidos pelas organizações que os possuem. De qualquer modo, essa lista mostra as ferramentas e infraestrutura que devem estar disponíveis de alguma forma para o sucesso da missão

Tabela 10. Capacidades, ferramentas e infraestrutura para o desenvolvimento e execução de missões espaciais de comunicações.

Capacidade da organização / ferramenta / infraestrutura (tipo: serviço (s); produto (p); ferramenta (f); infraestrutura (i))			Aplicações das capacidades / ferramentas / infraestrutura Nas fases do ciclo de vida da missão			
No.	Descrição sumária	Tipo	Exploração do conceito	Desenvolvimento detalhado	Produção e lançamento	Operação e suporte
01	Gerenciamento técnico do desenvolvimento de missões espaciais (segmentos espacial e solo, lançamento) de comunicações até a banda Ka com CubeSats e satélites de pequeno porte.	S	<ul style="list-style-type: none"> Liderança do grupo de engenharia de sistemas da missão; Aprovação da concepção da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> Liderança do grupo de engenharia de sistemas da missão; Aprovação do Projeto Preliminar da missão; Aprovação final das aquisições / desenvolvimentos dos subsistemas. 	<ul style="list-style-type: none"> Liderança do grupo de engenharia de sistemas da missão; Aprovação final dos subsistemas adquiridos / desenvolvidos; Aprovação final do satélite integrado; Aprovação da solução de lançamento e da integração satélite/lançador; Aprovação final do lançamento; Aprovação final dos sistemas do segmento solo. 	<ul style="list-style-type: none"> Liderança do comissionamento da missão.
02	Gerenciamento técnico da operação de missões espaciais (segmentos espacial e solo) de comunicações até a banda Ka com CubeSats e satélites de pequeno porte.	S	Não utilizada.	Não utilizada	<ul style="list-style-type: none"> Acompanhamento do desenvolvimento da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> Acompanhamento do comissionamento da missão; Gerenciamento da operação da missão; Encerramento da missão.

Capacidade da organização / ferramenta / infraestrutura (tipo: serviço (s); produto (p); ferramenta (f); infraestrutura (i))			Aplicações das capacidades / ferramentas / infraestrutura Nas fases do ciclo de vida da missão			
No.	Descrição sumária	Tipo	Exploração do conceito	Desenvolvimento detalhado	Produção e lançamento	Operação e suporte
03	Engenharia de Sistemas de missões espaciais (segmentos espacial e solo, lançamento) de comunicações até a banda Ka com CubeSats e satélites de pequeno porte.	S	<ul style="list-style-type: none"> Análise e definição da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> Projeto Preliminar do Sistema; Aprovação dos Projetos Preliminares dos subsistemas (segmentos espacial e solo); Aprovação dos desenvolvimentos dos subsistemas (segmentos espacial e solo); Detalhamento das alternativas de lançamento; Análise / aprovação do plano de garantia do produto dos subsistemas; Coordenação da garantia da qualidade da aquisição / desenvolvimento dos subsistemas. 	<ul style="list-style-type: none"> Aceitação dos subsistemas adquiridos / produzidos (segmentos espacial e solo); Aceitação do satélite montado, integrado e testado; Coordenação da integração satélite / lançador; Acompanhamento e aceitação do lançamento; Aceitação do segmento solo instalado, integrado e testado. 	<ul style="list-style-type: none"> Comissionamento da missão.
04	AIT (<i>Assembly, Integration and Tests</i>) de CubeSats e satélites de pequeno porte de sistemas de comunicações até a banda Ka.	S	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> Análise / aprovação dos requisitos dos EGSEs e MGSEs dos subsistemas; Elaboração do plano de AIT do satélite. 	<ul style="list-style-type: none"> AIT do satélite. 	<ul style="list-style-type: none"> Suporte ao comissionamento da missão.

Capacidade da organização / ferramenta / infraestrutura (tipo: serviço (s); produto (p); ferramenta (f); infraestrutura (i))			Aplicações das capacidades / ferramentas / infraestrutura Nas fases do ciclo de vida da missão			
No.	Descrição sumária	Tipo	Exploração do conceito	Desenvolvimento detalhado	Produção e lançamento	Operação e suporte
05	Instalação, integração, testes e manutenção de infraestrutura terrestre de sistemas de comunicações satelitais até a banda Ka.	S	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboração do plano de instalação, integração, testes e manutenção da infraestrutura terrestre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalação, integração e testes da infraestrutura terrestre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão; • Manutenção da infraestrutura terrestre.
06	Controle e operação de plataformas CubeSat e de satélites de pequeno porte de sistemas de comunicações até a banda Ka.	S	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte à elaboração do plano de instalação, integração e testes da infraestrutura terrestre – Segmento Controle e Operação da Plataforma; • Suporte à elaboração do plano de controle e operação da plataforma. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte à instalação, integração e testes do Segmento Controle e Operação da Plataforma. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão. • Controle e operação da plataforma do satélite; • Suporte ao encerramento da missão.
07	Controle e operação da carga útil de sistemas de comunicações até a banda Ka utilizando CubeSats e satélites de pequeno porte.	S	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte à elaboração do plano de instalação, integração e testes da infraestrutura terrestre – Segmento Controle e Operação da Carga Útil. • Suporte à elaboração do plano de controle e operação da carga útil. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte à instalação, integração e testes do Segmento Controle e Operação da Carga Útil. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão; • Controle e operação da carga útil; • Suporte ao encerramento da missão.

Capacidade da organização / ferramenta / infraestrutura (tipo: serviço (s); produto (p); ferramenta (f); infraestrutura (i))			Aplicações das capacidades / ferramentas / infraestrutura Nas fases do ciclo de vida da missão			
No.	Descrição sumária	Tipo	Exploração do conceito	Desenvolvimento detalhado	Produção e lançamento	Operação e suporte
08	Suporte ao segmento usuários de sistemas de comunicações satelitais até a banda Ka.	S	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> Suporte à elaboração do plano de instalação, integração e testes da infraestrutura terrestre – Segmento Usuários. 	<ul style="list-style-type: none"> Suporte à instalação, integração e testes do Segmento Usuários. 	<ul style="list-style-type: none"> Suporte ao comissionamento da missão. Operação do Segmento Usuários.
09	Operação de missões de comunicações até a banda Ka utilizando CubeSats e satélites de pequeno porte.	S	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> Suporte à elaboração do plano de instalação, integração e testes da infraestrutura terrestre – Segmento Operações da Missão. 	<ul style="list-style-type: none"> Suporte à instalação, integração e testes do Segmento Operações da Missão. 	<ul style="list-style-type: none"> Suporte ao comissionamento da missão. Operação do Segmento Operações da Missão; Suporte ao encerramento da missão.
10	Desenvolvimento de CubeSats e Satélites de Pequeno Porte de Comunicações até a banda Ka.	S	<ul style="list-style-type: none"> Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento do satélite. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricação do modelo de voo do satélite. 	<ul style="list-style-type: none"> Suporte ao comissionamento da missão.
11	Desenvolvimento do segmento solo de missões espaciais de comunicações até a banda Ka com CubeSats e satélites de pequeno porte.	S	<ul style="list-style-type: none"> Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento do segmento solo. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricação dos subsistemas do segmento solo. 	<ul style="list-style-type: none"> Suporte ao comissionamento da missão.
12	Desenvolvimento de Subsistemas de Comunicações até a banda Ka para missões de comunicações com CubeSats e Satélites de Pequeno Porte.	S	<ul style="list-style-type: none"> Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento da carga útil. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricação do modelo de voo da carga útil. 	<ul style="list-style-type: none"> Suporte ao comissionamento da missão.

Capacidade da organização / ferramenta / infraestrutura (tipo: serviço (s); produto (p); ferramenta (f); infraestrutura (i))			Aplicações das capacidades / ferramentas / infraestrutura Nas fases do ciclo de vida da missão			
No.	Descrição sumária	Tipo	Exploração do conceito	Desenvolvimento detalhado	Produção e lançamento	Operação e suporte
13	Desenvolvimento de Subsistemas TT&C para missões de comunicações com CubeSats e Satélites de Pequeno Porte.	S	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento do Subsistema TT&C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do modelo de voo do Subsistema TT&C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.
14	Desenvolvimento de Subsistemas OBDH para missões de comunicações com CubeSats e Satélites de Pequeno Porte.	S	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento do Subsistema OBDH. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do modelo de voo do Subsistema OBDH. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.
15	Desenvolvimento de Subsistemas de Controle de Atitude e Órbita para missões de comunicações com CubeSats e Satélites de Pequeno Porte.	S	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento do Subsistema Controle de Atitude e Órbita. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do modelo de voo do Subsistema Controle de Atitude e Órbita. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.
16	Desenvolvimento de Subsistemas Estrutura e Mecanismos para missões de comunicações com CubeSats e Satélites de Pequeno Porte.	S	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento do Subsistema Estrutura e Mecanismos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do modelo de voo do Subsistema Estrutura e Mecanismos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.
17	Desenvolvimento de Subsistemas Controle Térmico para missões de comunicações com CubeSats e Satélites de Pequeno Porte.	S	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento do Subsistema Controle Térmico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do modelo de voo do Subsistema Controle Térmico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.

Capacidade da organização / ferramenta / infraestrutura (tipo: serviço (s); produto (p); ferramenta (f); infraestrutura (i))			Aplicações das capacidades / ferramentas / infraestrutura Nas fases do ciclo de vida da missão			
No.	Descrição sumária	Tipo	Exploração do conceito	Desenvolvimento detalhado	Produção e lançamento	Operação e suporte
18	Desenvolvimento de Subsistemas Suprimento de Energia para missões de comunicações com CubeSats e Satélites de Pequeno Porte.	S	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento do Subsistema Suprimento de Energia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do modelo de voo do Subsistema Suprimento de Energia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.
19	Desenvolvimento de Subsistemas Propulsão para missões de comunicações com CubeSats e Satélites de Pequeno Porte.	S	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento do Subsistema Propulsão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do modelo de voo do Subsistema Propulsão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.
20	Fornecimento de CubeSats e Satélites de Pequeno Porte de Comunicações até banda Ka.	P	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de atendimento dos requisitos e identificação das necessidades de alterações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do modelo de voo do satélite. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.
21	Fornecimento do segmento solo de missões espaciais de comunicações até a banda Ka com CubeSats e satélites de pequeno porte.	P	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de atendimento dos requisitos e identificação das necessidades de alterações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação dos subsistemas do segmento solo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.
22	Fornecimento de Subsistemas de Comunicações até a banda Ka para CubeSats e Satélites de Pequeno Porte.	P	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de atendimento dos requisitos e identificação das necessidades de alterações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do modelo de voo da carga útil. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.

Capacidade da organização / ferramenta / infraestrutura (tipo: serviço (s); produto (p); ferramenta (f); infraestrutura (i))			Aplicações das capacidades / ferramentas / infraestrutura Nas fases do ciclo de vida da missão			
No.	Descrição sumária	Tipo	Exploração do conceito	Desenvolvimento detalhado	Produção e lançamento	Operação e suporte
23	Fornecimento de Subsistemas TT&C para missões de comunicações com CubeSats e Satélites de Pequeno Porte.	P	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de atendimento dos requisitos e identificação das necessidades de alterações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do modelo de voo do Subsistema TT&C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.
24	Fornecimento de Subsistemas OBDH para missões de comunicações com CubeSats e Satélites de Pequeno Porte.	P	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de atendimento dos requisitos e identificação das necessidades de alterações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do modelo de voo do Subsistema OBDH. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.
25	Fornecimento de Subsistemas de Controle de Atitude e Órbita para missões de comunicações com CubeSats e Satélites de Pequeno Porte.	P	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de atendimento dos requisitos e identificação das necessidades de alterações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do modelo de voo do Subsistema Controle de Atitude e Órbita. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.
26	Fornecimento de Subsistemas Estrutura e Mecanismos para missões de comunicações com CubeSats e Satélites de Pequeno Porte.	P	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de atendimento dos requisitos e identificação das necessidades de alterações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do modelo de voo do Subsistema Estrutura e Mecanismos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.
27	Fornecimento de Subsistemas Controle Térmico para missões de comunicações com CubeSats e Satélites de Pequeno Porte.	P	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de atendimento dos requisitos e identificação das necessidades de alterações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do modelo de voo do Subsistema Controle Térmico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.

Capacidade da organização / ferramenta / infraestrutura (tipo: serviço (s); produto (p); ferramenta (f); infraestrutura (i))			Aplicações das capacidades / ferramentas / infraestrutura Nas fases do ciclo de vida da missão			
No.	Descrição sumária	Tipo	Exploração do conceito	Desenvolvimento detalhado	Produção e lançamento	Operação e suporte
28	Fornecimento de Subsistemas Suprimento de Energia para missões de comunicações com CubeSats e Satélites de Pequeno Porte.	P	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de atendimento dos requisitos e identificação das necessidades de alterações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do modelo de voo do Subsistema Suprimento de Energia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.
29	Fornecimento de Subsistemas Propulsão para missões de comunicações com CubeSats e Satélites de Pequeno Porte.	P	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao grupo de sistemas da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análise de atendimento dos requisitos e identificação das necessidades de alterações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação do modelo de voo do Subsistema Propulsão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.
30	Ferramenta de <i>software</i> para análise e simulação de órbitas e constelações.	F	<ul style="list-style-type: none"> • Análise e definição da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Preliminar do sistema 	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.
31	Ferramenta de <i>software</i> para análise e balanceamento térmico.	F	<ul style="list-style-type: none"> • Análise e definição da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Preliminar do sistema 	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.
32	Ferramenta de <i>software</i> para análise e simulação do ambiente de radiação.	F	<ul style="list-style-type: none"> • Análise e definição da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Preliminar do sistema; • Projetos Preliminar e Detalhado dos Subsistemas. 	Não utilizada.	Não utilizada.
33	Ferramenta de <i>software</i> para análise e simulação de enlaces de comunicações.	F	<ul style="list-style-type: none"> • Análise e definição da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Preliminar do sistema; • Projeto Preliminar e Detalhado dos Subsistemas. 	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.

Capacidade da organização / ferramenta / infraestrutura (tipo: serviço (s); produto (p); ferramenta (f); infraestrutura (i))			Aplicações das capacidades / ferramentas / infraestrutura Nas fases do ciclo de vida da missão			
No.	Descrição sumária	Tipo	Exploração do conceito	Desenvolvimento detalhado	Produção e lançamento	Operação e suporte
34	Ferramenta de <i>software</i> para análise e simulação de estruturas mecânicas.	F	<ul style="list-style-type: none"> Análise e definição da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> Projeto Preliminar do sistema; Projetos Preliminar e Detalhado dos Subsistemas. 	Não utilizada.	Não utilizada.
35	Ferramenta de <i>software</i> para simulação eletromagnética e de circuitos de RF & Micro-ondas.	F	<ul style="list-style-type: none"> Análise e definição da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> Projeto Preliminar do sistema; Projetos Preliminar e Detalhado dos Subsistemas. 	Não utilizada.	Não utilizada.
36	Ferramenta de <i>software</i> para análise e simulação de confiabilidade.	F	<ul style="list-style-type: none"> Análise e definição da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> Projeto Preliminar do sistema; Projetos Preliminar e Detalhado dos Subsistemas. 	Não utilizada.	Não utilizada.
37	Área de armazenamento de itens de voo (partes, materiais, componentes, equipamentos etc.).	I	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> Armazenamento de itens para modelos de qualificação e voo dos subsistemas e do satélite. 	<ul style="list-style-type: none"> Armazenamento de itens para modelos de qualificação e voo dos subsistemas e do satélite. 	<ul style="list-style-type: none"> Armazenamento de itens para modelo de voo dos subsistemas e do satélite (sobressalentes).
38	Área de integração de satélites.	I	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> Integração de maquetes do satélite. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricação do modelo de voo do satélite. 	Não utilizada.
39	<i>Hall</i> de testes de satélites.	I	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> Testes de maquetes do satélite. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricação do modelo de voo do satélite. 	Não utilizada.
40	Laboratório de ensaios mecânicos (vibração, choque, acústico) de itens de voo (componentes, equipamentos).	I	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> Ensaio dos modelos de desenvolvimento dos equipamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> Ensaio dos modelos de voo dos equipamentos. 	Não utilizada.

Capacidade da organização / ferramenta / infraestrutura (tipo: serviço (s); produto (p); ferramenta (f); infraestrutura (i))			Aplicações das capacidades / ferramentas / infraestrutura Nas fases do ciclo de vida da missão			
No.	Descrição sumária	Tipo	Exploração do conceito	Desenvolvimento detalhado	Produção e lançamento	Operação e suporte
41	Laboratório de ensaios térmicos (climático, vácuo-térmico, choque) de itens de voo (componentes, equipamentos).	I	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaios dos modelos de desenvolvimento dos equipamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaios dos modelos de voo dos equipamentos. 	Não utilizada.
42	Laboratório de testes de EMI/EMC de itens de voo (componentes, equipamentos).	I	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de desenvolvimento dos equipamentos. 	Não utilizada.	Não utilizada.
43	Campo de medida de antenas até a banda Ka (desenvolvimento e voo).	I	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de desenvolvimento dos equipamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de voo dos equipamentos. 	Não utilizada.
44	Laboratório de RF & micro ondas até a banda Ka (desenvolvimento e voo).	I	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de desenvolvimento dos equipamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de voo dos equipamentos. 	Não utilizada.
45	Laboratório de comunicações digitais até a banda Ka (desenvolvimento e voo).	I	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de desenvolvimento dos equipamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de voo dos equipamentos. 	Não utilizada.
46	Laboratório de sistemas de potência (desenvolvimento e voo).	I	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de desenvolvimento dos equipamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de voo dos equipamentos. 	Não utilizada.
47	Laboratório de sistemas de mecânica espacial e controle (desenvolvimento e voo).	I	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de desenvolvimento dos equipamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de voo dos equipamentos. 	Não utilizada.
48	Laboratório de sistemas de controle térmico (desenvolvimento e voo).	I	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de desenvolvimento dos equipamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de voo dos equipamentos. 	Não utilizada.
49	Laboratório de estruturas e mecanismos (desenvolvimento e voo).	I	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de desenvolvimento dos equipamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de voo dos equipamentos. 	Não utilizada.

Capacidade da organização / ferramenta / infraestrutura (tipo: serviço (s); produto (p); ferramenta (f); infraestrutura (i))			Aplicações das capacidades / ferramentas / infraestrutura Nas fases do ciclo de vida da missão			
No.	Descrição sumária	Tipo	Exploração do conceito	Desenvolvimento detalhado	Produção e lançamento	Operação e suporte
50	Laboratório de sistemas de propulsão (desenvolvimento e voo).	I	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de desenvolvimento dos equipamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de voo dos equipamentos. 	Não utilizada.
51	Laboratório de sistemas de computação de bordo (desenvolvimento e voo).	I	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de desenvolvimento dos equipamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Testes dos modelos de voo dos equipamentos. 	Não utilizada.
52	Áreas de fabricação, montagem e integração de cablagem, módulos e equipamentos) (desenvolvimento e voo) (Adequadas para os tipos específicos de <i>hardware</i> dos subsistemas do satélite).	I	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação, montagem e integração de cablagem, módulos e equipamentos (modelos de desenvolvimento). 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação, montagem e integração de cablagem, módulos e equipamentos (modelos de voo). 	Não utilizada.

Fonte: CGEE (2020).

As capacidades, disponibilidade de ferramentas e de infraestrutura de uma organização serão avaliadas conforme a convenção da Tabela 10, é necessário obter informações mais detalhadas das organizações de forma que suas capacidades e disponibilidade de ferramentas e infraestrutura sejam definitivamente avaliadas como **S**, **P** ou **N**, conforme Tabela 11.

Tabela 11. Convenção para avaliação das organizações com referência à **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

MNEMÔNICO	AVALIAÇÃO
S	SIM – Possui 100% da capacidade, ferramenta ou infraestrutura descrita na Tabela 3-1.
P	Parcial – Possui parcialmente a capacidade, ferramenta ou infraestrutura descrita na Tabela 3-1. Comentário ou observação deve esclarecer a deficiência de atendimento.
N	NÃO – Não possui a capacidade, ferramenta ou infraestrutura descrita na Tabela 3-1.
X	Avaliação Incompleta – Possui a capacidade, ferramenta ou infraestrutura descrita na Tabela 3-1, mas falta avaliar o grau de atendimento (S ou P).
Campo em branco	Não Avaliada – A organização não foi avaliada quanto à posse da capacidade, ferramenta ou infraestrutura.

Fonte: CGEE (2020).

Foi realizado um levantamento das empresas e instituições nacionais que podem participar do desenvolvimento de uma missão espacial de comunicações até a banda Ka agregando as capacidades, ferramentas e infraestrutura identificadas na Tabela 10. O método de pesquisa utilizado envolveu uma ou mais das seguintes ações: a) consulta à organização; b) consulta a profissionais dos setores espacial e de comunicações terrestres; c) consulta de informações públicas, principalmente da Internet. Esse processo foi informal de maneira que os resultados obtidos devem ser utilizados com cautela. No futuro, se necessário, esse levantamento pode ser utilizado para conduzir uma consulta formal a essas organizações utilizando documentos de consulta que incluam, minimamente, a finalidade da pesquisa e cláusulas de sigilo.

As organizações consideradas para a análise de suas capacidades foram aquelas cujo fornecimento (serviço ou produto) é requerido pelas missões de comunicações e que satisfizeram pelo menos um dos seguintes critérios:

- a) Experiência com satélites de qualquer porte;
- j) Experiência com pelo menos um dos componentes do segmento solo;
- k) Experiência com a integração satélite-lançador.

O resultado do levantamento realizado até o dia 31/08/20 é apresentado na Tabela 15 do Apêndice A – Pesquisa de missões de comunicações com SPP.

Após análise desses resultados têm-se as seguintes observações:

- a) o método de pesquisa de organizações pode ser ampliado de forma a ratificar ou retificar a lista de organizações obtida no presente levantamento;
- b) a quantidade de organizações com potencial para envolvimento nas missões de comunicações em pauta neste trabalho é bastante reduzida (12 organizações);
- c) algumas organizações nacionais listadas no Apêndice E – Pesquisa de instituições atuantes na área foram desconsideradas por não atenderem aos critérios acima, de fornecimento e experiência, ou devido à finalidade da organização. De qualquer forma, mesmo considerando a versão atualizada da lista do Apêndice E – Pesquisa de instituições atuantes na área, que possui objetivos mais amplos, observa-se um número reduzido de organizações nacionais no setor espacial;
- d) não há organizações com capacidade de oferta de produtos para as missões de comunicações. Isto é consequência, provavelmente, de vários fatores como: defasagem tecnológica dos produtos das organizações; tipos de produto demandados até o momento pelo programa espacial nacional; distanciamento das organizações do mercado internacional de nanossatélites e CubeSats;
- e) pelos critérios de análise propostos nesta seção, há organizações com capacidades para o desenvolvimento do satélite e de seus subsistemas e equipamentos. Como essas capacidades, que ainda precisam ser analisadas com mais detalhes conforme item (a) (acima), são resultantes da participação em programas de satélites antigos e de massa muito maior, é provável que haja um *gap* tecnológico considerável entre as capacidades atuais e aquelas necessárias para o desenvolvimento de CubeSats e nanossatélites de comunicações no estado da arte; esse provável *gap* tecnológico, se comprovado, terá impactos diversos como: i) necessidade de capacitação em diversas novas tecnologias; ii) domínio da aplicação espacial de componentes COTS; iii) domínio de novos processos de fabricação e montagem de módulos eletrônicos com componentes de alta densidade; iv) necessidade de atualização dos laboratórios eletrônicos de RF & micro ondas, devido ao uso de frequências mais altas (banda Ku ou Ka), e os laboratórios de comunicações, devido às novas frequências e tipos de modulação.

9 Recursos humanos para missões espaciais com SPP

Para que as organizações tenham as capacidades da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** da seção 8 são necessários recursos humanos com as capacidades listadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Nesta tabela, devido ao foco em missões de comunicações, os recursos humanos que integram as equipes dos subsistemas de comunicações (Carga Útil e TT&C) tiveram suas capacidades definidas com nível de detalhamento um pouco maior em comparação com os demais subsistemas.

Na Tabela 12 não foram listadas as capacidades de pessoal de nível médio (técnico) e de nível auxiliar técnico tais como ajuste, teste e integração de módulos eletrônicos dos equipamentos; elaboração de *layouts* de placas de circuito impresso; montagem de componentes eletrônicos em placas e fabricação de cablagem. De maneira geral, as capacidades dos tipos relacionados com fabricação e montagem podem ser obtidas treinando-se os profissionais necessários (técnicos e auxiliares técnicos) oriundos de setores industriais como, por exemplo, o da indústria de equipamentos eletrônicos de consumo. Por outro lado, as capacidades de nível médio associadas a desenvolvimento / projeto / verificação requerem, normalmente, profissionais provenientes de ambientes de desenvolvimento e maior período de tempo para serem desenvolvidas.

Tabela 12. Principais capacidades de RH necessárias para o desenvolvimento e execução de missões espaciais de comunicações.

CAPACIDADE DO RH		APLICAÇÕES DAS CAPACIDADES DO RH NAS FASES DO CICLO DE VIDA DA MISSÃO			
No.	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	EXPLORAÇÃO DO CONCEITO	DESENVOLVIMENTO DETALHADO	PRODUÇÃO E LANÇAMENTO	OPERAÇÃO E SUPORTE
01	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Engenharia de Sistemas de missões espaciais de comunicações até a banda Ka com CubeSats e satélites de pequeno porte; ✓ Engenharia de Sistemas do segmento solo de missões espaciais de comunicações até a banda Ka com CubeSats e satélites de pequeno porte; ✓ Gerenciamento técnico de programas de desenvolvimento e execução de missões espaciais de comunicações até a banda Ka com CubeSats e satélites de pequeno porte, incluindo lançamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Liderança do grupo de engenharia de sistemas da missão; • Aprovação da concepção da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Liderança do grupo de engenharia de sistemas da missão; • Aprovação do Projeto Preliminar da missão; • Aprovação final das aquisições / desenvolvimentos dos subsistemas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Liderança do grupo de engenharia de sistemas da missão; • Aprovação final dos subsistemas adquiridos / desenvolvidos; • Aprovação final do satélite integrado; • Aprovação da solução de lançamento e da integração satélite/lançador; • Aprovação final do lançamento; • Aprovação final dos sistemas do segmento solo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Liderança do comissionamento da missão.

CAPACIDADE DO RH		APLICAÇÕES DAS CAPACIDADES DO RH NAS FASES DO CICLO DE VIDA DA MISSÃO			
No.	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	EXPLORAÇÃO DO CONCEITO	DESENVOLVIMENTO DETALHADO	PRODUÇÃO E LANÇAMENTO	OPERAÇÃO E SUPORTE
02	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Engenharia de Sistemas de missões espaciais de comunicações até a banda Ka com CubeSats e satélites de pequeno porte; ✓ Engenharia de Sistemas do segmento solo de missões espaciais de comunicações até a banda Ka com CubeSats e satélites de pequeno porte; ✓ Gerenciamento técnico da operação de missões espaciais (segmentos espacial e solo) de comunicações até a banda Ka com CubeSats e satélites de pequeno porte. 	Não utilizada.	Não utilizada.	<ul style="list-style-type: none"> • Acompanhamento do desenvolvimento da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Acompanhamento do comissionamento da missão; • Gerenciamento da operação da missão; • Encerramento da missão.
03	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Engenharia de Sistemas de Subsistemas de Comunicações (Carga Útil) de CubeSats e satélites de pequeno porte; ✓ Gerenciamento do desenvolvimento de Subsistemas de Comunicações de CubeSats e satélites de pequeno porte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Participação na análise e definição da missão; • Concepção da Carga Útil. 	<ul style="list-style-type: none"> • Definição dos requisitos da Carga Útil; • Aprovação do Projeto Preliminar da Carga Útil; • Acompanhamento e aprovação do desenvolvimento da Carga Útil; • Participação na definição das alternativas de lançamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Acompanhamento e aceitação da produção da Carga Útil. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão. <i>(Obs: mesma capacidade, mesma atividade (Comissionamento), RHs distintos).</i>

CAPACIDADE DO RH		APLICAÇÕES DAS CAPACIDADES DO RH NAS FASES DO CICLO DE VIDA DA MISSÃO			
No.	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	EXPLORAÇÃO DO CONCEITO	DESENVOLVIMENTO DETALHADO	PRODUÇÃO E LANÇAMENTO	OPERAÇÃO E SUPORTE
			<ul style="list-style-type: none"> Gerenciamento do desenvolvimento da Carga Útil. <i>(Obs: mesma capacidade, RHs distintos).</i>	<ul style="list-style-type: none"> Gerenciamento da produção da Carga Útil e supervisão de sua AIT. <i>(Obs: mesma capacitação, RHs distintos).</i>	
04	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Engenharia de Sistemas de Subistemas TT&C de CubeSats e satélites de pequeno porte; ✓ Gerenciamento do desenvolvimento de Subistemas TT&C de CubeSats e satélites de pequeno porte. 	<ul style="list-style-type: none"> Participação na análise e definição da missão; Concepção do Subistema TT&C. 	<ul style="list-style-type: none"> Definição dos requisitos do Subistema TT&C; Aprovação do Projeto Preliminar do Subistema TT&C; Acompanhamento e aprovação do desenvolvimento do Subistema TT&C; Participação na definição das alternativas de lançamento. <hr/> <ul style="list-style-type: none"> Gerenciamento do desenvolvimento do Subistema TT&C. <i>(Obs: mesma capacidade, RHs distintos).</i>	<ul style="list-style-type: none"> Acompanhamento e aceitação da produção do Subistema TT&C. <hr/> <ul style="list-style-type: none"> Gerenciamento da produção do Subistema TT&C e supervisão de sua AIT. <i>(Obs: mesma capacidade, RHs distintos).</i>	<ul style="list-style-type: none"> Suporte ao comissionamento da missão. <i>(Obs: mesma capacidade, mesma atividade (Comissionamento), RHs distintos).</i>

CAPACIDADE DO RH		APLICAÇÕES DAS CAPACIDADES DO RH NAS FASES DO CICLO DE VIDA DA MISSÃO			
No.	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	EXPLORAÇÃO DO CONCEITO	DESENVOLVIMENTO DETALHADO	PRODUÇÃO E LANÇAMENTO	OPERAÇÃO E SUPORTE
05	<p>✓ Engenharia de Sistemas de Comunicações Terrestres;</p> <p>✓ Gerenciamento do desenvolvimento de subsistemas de comunicações terrestres.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Participação na análise e definição da missão; • Participação na concepção da Carga Útil; • Participação na concepção do Subsistema TT&C; • Concepção das comunicações (Carga Útil e TT&C) do segmento solo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Participação na definição dos requisitos da Carga Útil; • Participação na definição dos requisitos do Subsistema TT&C; • Aprovação dos Projetos Preliminares dos subsistemas do segmento solo; • Acompanhamento e aprovação do desenvolvimento dos subsistemas do segmento solo; • Participação na definição das alternativas de lançamento. <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Gerenciamento do desenvolvimento dos subsistemas do segmento solo. <p><i>(Obs: mesma capacidade, RHs distintos).</i></p>	<p>Análise / aprovação do procedimento de testes da carga útil + segmento solo.</p> <p>Análise / aprovação dos resultados de testes da carga útil + segmento solo.</p>	<p>Suporte ao comissionamento da missão.</p> <p>Suporte à operação da missão.</p>

CAPACIDADE DO RH		APLICAÇÕES DAS CAPACIDADES DO RH NAS FASES DO CICLO DE VIDA DA MISSÃO			
No.	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	EXPLORAÇÃO DO CONCEITO	DESENVOLVIMENTO DETALHADO	PRODUÇÃO E LANÇAMENTO	OPERAÇÃO E SUPORTE
06	<p>✓ Engenharia de Sistemas de Subsistemas OBDH (OnBoard Data Handling) de CubeSats e satélites de pequeno porte;</p> <p>✓ Gerenciamento do desenvolvimento de Subsistemas OBDH de CubeSats e satélites de pequeno porte.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Participação na análise e definição da missão; • Concepção do Subsistema OBDH. 	<ul style="list-style-type: none"> • Definição dos requisitos do Subsistema OBDH; • Aprovação do Projeto Preliminar do Subsistema OBDH; • Acompanhamento e aprovação do desenvolvimento do Subsistema OBDH; • Participação na definição das alternativas de lançamento. <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Gerenciamento do desenvolvimento do Subsistema OBDH. <p><i>(Obs: mesma capacidade, RHs distintos).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Acompanhamento e aceitação da produção do Subsistema OBDH. <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Gerenciamento da produção do Subsistema OBDH e supervisão de sua AIT. <p><i>(Obs: mesma capacidade, RHs distintos).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão. <p><i>(Obs: mesma capacidade, mesma atividade (Comissionamento), RHs distintos).</i></p>

CAPACIDADE DO RH		APLICAÇÕES DAS CAPACIDADES DO RH NAS FASES DO CICLO DE VIDA DA MISSÃO			
No.	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	EXPLORAÇÃO DO CONCEITO	DESENVOLVIMENTO DETALHADO	PRODUÇÃO E LANÇAMENTO	OPERAÇÃO E SUPORTE
07	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Engenharia de Sistemas de Subsistemas Controle de Atitude e Órbita de CubeSats e satélites de pequeno porte; ✓ Gerenciamento do desenvolvimento de Subsistemas Controle de Atitude e Órbita de CubeSats e satélites de pequeno porte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Participação na análise e definição da missão; • Concepção do Subsistema Controle de Atitude e Órbita. 	<ul style="list-style-type: none"> • Definição dos requisitos do Subsistema Controle de Atitude e Órbita; • Aprovação do Projeto Preliminar do Subsistema Controle de Atitude e Órbita; • Acompanhamento e aprovação do desenvolvimento do Subsistema Controle de Atitude e Órbita; • Participação na definição das alternativas de lançamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Acompanhamento e aceitação da produção do Subsistema Controle de Atitude e Órbita. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão. <i>(Obs: mesma capacidade, mesma atividade (Comissionamento), RHs distintos).</i>
			<ul style="list-style-type: none"> • Gerenciamento do desenvolvimento do Subsistema de Controle de Atitude e Órbita. <i>(Obs: mesma capacidade, RHs distintos).</i> 		

CAPACIDADE DO RH		APLICAÇÕES DAS CAPACIDADES DO RH NAS FASES DO CICLO DE VIDA DA MISSÃO			
No.	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	EXPLORAÇÃO DO CONCEITO	DESENVOLVIMENTO DETALHADO	PRODUÇÃO E LANÇAMENTO	OPERAÇÃO E SUPORTE
08	<p>✓ Engenharia de Sistemas de Subistemas Estrutura e Mecanismos de CubeSats e satélites de pequeno porte;</p> <p>✓ Gerenciamento do desenvolvimento de Subistemas Estrutura e Mecanismos de CubeSats e satélites de pequeno porte.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Participação na análise e definição da missão; • Concepção do Subistema Estrutura e Mecanismos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Definição dos requisitos do Subistema Estrutura e Mecanismos; • Aprovação do Projeto Preliminar do Subistema Estrutura e Mecanismos; • Acompanhamento e aprovação do desenvolvimento do Subistema Estrutura e Mecanismos; • Participação na definição das alternativas de lançamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Acompanhamento e aceitação da produção do Subistema Estrutura e Mecanismos. <p>Gerenciamento da produção do Subistema Estrutura e Mecanismos e supervisão de sua AIT.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão. <p><i>(Obs: mesma capacidade, mesma atividade (Comissionamento), RHs distintos).</i></p>
			<ul style="list-style-type: none"> • Gerenciamento do desenvolvimento do Subistema Estrutura e Mecanismos. <p><i>(Obs: mesma capacitação, RHs distintos).</i></p>		

CAPACIDADE DO RH		APLICAÇÕES DAS CAPACIDADES DO RH NAS FASES DO CICLO DE VIDA DA MISSÃO			
No.	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	EXPLORAÇÃO DO CONCEITO	DESENVOLVIMENTO DETALHADO	PRODUÇÃO E LANÇAMENTO	OPERAÇÃO E SUPORTE
09	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Engenharia de Sistemas de Subistemas Controle Térmico de CubeSats e satélites de pequeno porte; ✓ Gerenciamento do desenvolvimento de Subistemas Controle Térmico de CubeSats e satélites de pequeno porte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Participação na análise e definição da missão; • Concepção do Subistema Controle Térmico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Definição dos requisitos do Subistema Controle Térmico; • Aprovação do Projeto Preliminar do Subistema Controle Térmico; • Acompanhamento e aprovação do desenvolvimento do Subistema Controle Térmico; • Participação na definição das alternativas de lançamento. <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Gerenciamento do desenvolvimento do Subistema Controle Térmico. <p><i>(Obs: mesma capacidade, RHs distintos)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Acompanhamento e aceitação da produção do Subistema Controle Térmico. <hr/> <p>Gerenciamento da produção do Subistema Controle Térmico e supervisão de sua AIT.</p> <p><i>(Obs: mesma capacidade, RHs distintos)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão. <p><i>(Obs: mesma capacidade, mesma atividade (Comissionamento), RHs distintos).</i></p>

CAPACIDADE DO RH		APLICAÇÕES DAS CAPACIDADES DO RH NAS FASES DO CICLO DE VIDA DA MISSÃO			
No.	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	EXPLORAÇÃO DO CONCEITO	DESENVOLVIMENTO DETALHADO	PRODUÇÃO E LANÇAMENTO	OPERAÇÃO E SUPORTE
10	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Engenharia de Sistemas de Subistemas Suprimento de Energia de CubeSats e satélites de pequeno porte; ✓ Gerenciamento do desenvolvimento de Subistemas Suprimento de Energia de CubeSats e satélites de pequeno porte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Participação na análise e definição da missão; • Concepção do Subistema Suprimento de Energia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Definição dos requisitos do Subistema Suprimento de Energia; • Aprovação do Projeto Preliminar do Subistema Suprimento de Energia; • Acompanhamento e aprovação do desenvolvimento do Subistema Suprimento de Energia; • Participação na definição das alternativas de lançamento. <hr/> <ul style="list-style-type: none"> • Gerenciamento do desenvolvimento do Subistema Suprimento de Energia. <p><i>(Obs: mesma capacidade, RHs distintos).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Acompanhamento e aceitação da produção do Subistema Suprimento de Energia. <hr/> <p>Gerenciamento da produção do Subistema Suprimento de Energia e supervisão de sua AIT.</p> <p><i>(Obs: mesma capacidade, RHs distintos).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão. <p><i>(Obs: mesma capacidade, mesma atividade (Comissionamento), RHs distintos).</i></p>

CAPACIDADE DO RH		APLICAÇÕES DAS CAPACIDADES DO RH NAS FASES DO CICLO DE VIDA DA MISSÃO			
No.	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	EXPLORAÇÃO DO CONCEITO	DESENVOLVIMENTO DETALHADO	PRODUÇÃO E LANÇAMENTO	OPERAÇÃO E SUPORTE
11	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Engenharia de Sistemas de Subsistemas Propulsão de CubeSats e satélites de pequeno porte; ✓ Gerenciamento do desenvolvimento de Subsistemas Propulsão de CubeSats e satélites de pequeno porte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Participação na análise e definição da missão; • Concepção do Subsistema Propulsão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Definição dos requisitos do Subsistema Propulsão; • Aprovação do Projeto Preliminar do Subsistema Propulsão; • Acompanhamento e aprovação do desenvolvimento do Subsistema Propulsão; • Participação na definição das alternativas de lançamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Acompanhamento e aceitação da produção do Subsistema Propulsão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão. <i>(Obs: mesma capacidade, mesma atividade (Comissionamento), RHs distintos).</i>
		<ul style="list-style-type: none"> • Gerenciamento do desenvolvimento do Subsistema Propulsão. <i>(Obs: mesma capacidade, RHs distintos).</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Gerenciamento da produção do Subsistema Propulsão e supervisão de sua AIT. <i>(Obs: mesma capacidade, RHs distintos).</i> 		
12	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Coordenação da Garantia do Produto de missões espaciais de comunicações até a banda Ka com CubeSats e satélites de pequeno porte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Participação na análise e definição da missão; • Concepção do sistema de Garantia do Poduto da missão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboração do Plano de Garantia do Produto da missão; • Análise / aprovação dos planos de Garantia do Produto dos subsistemas; • Coordenação da Garantia da Qualidade do desenvolvimento dos subsistemas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coordenação da Garantia da Qualidade da produção dos subsistemas e do lançamento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.

CAPACIDADE DO RH		APLICAÇÕES DAS CAPACIDADES DO RH NAS FASES DO CICLO DE VIDA DA MISSÃO			
No.	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	EXPLORAÇÃO DO CONCEITO	DESENVOLVIMENTO DETALHADO	PRODUÇÃO E LANÇAMENTO	OPERAÇÃO E SUPORTE
13	✓ Gerenciamento da AIT (<i>Assembly, Integration and Test</i>) de CubeSats e satélites de pequeno porte.	<ul style="list-style-type: none"> • Participação na análise e definição da missão; • Concepção da AIT do satélite. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboração do Plano de AIT do satélite; • Análise / aprovação dos requisitos dos EGSEs e MGSEs dos subsistemas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gerenciamento da AIT do satélite. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suporte ao comissionamento da missão.
14	✓ Engenharia de Desenvolvimento – Antenas.	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Preliminar da Carga Útil; • Projeto Preliminar do Subsistema TT&C; • Projeto Detalhado da Carga Útil; • Projeto Detalhado do Subsistema TT&C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produção da Carga Útil; • Produção do Subsistema TT&C. 	Não utilizada nesta fase.
15	✓ Engenharia de Desenvolvimento – RF&MO (HW).	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Preliminar da Carga Útil; • Projeto Preliminar do Subsistema TT&C; • Projeto Detalhado da Carga Útil; • Projeto Detalhado do Subsistema TT&C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produção da Carga Útil; • Produção do Subsistema TT&C. 	Não utilizada nesta fase.

CAPACIDADE DO RH		APLICAÇÕES DAS CAPACIDADES DO RH NAS FASES DO CICLO DE VIDA DA MISSÃO			
No.	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	EXPLORAÇÃO DO CONCEITO	DESENVOLVIMENTO DETALHADO	PRODUÇÃO E LANÇAMENTO	OPERAÇÃO E SUPORTE
16	✓ Engenharia de Desenvolvimento – Processamento de sinais analógicos e digitais (HW).	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Preliminar da Carga Útil; • Projeto Preliminar do Subsistema TT&C; • Projeto Detalhado da Carga Útil; • Projeto Detalhado do Subsistema TT&C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produção da Carga Útil; • Produção do Subsistema TT&C. 	Não utilizada nesta fase.
17	✓ Engenharia de Desenvolvimento – Processamento digital de sinais banda base (SW).	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Preliminar da Carga Útil; • Projeto Preliminar do Subsistema TT&C; • Projeto Detalhado da Carga Útil; • Projeto Detalhado do Subsistema TT&C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produção da Carga Útil; • Produção do Subsistema TT&C. 	Não utilizada nesta fase.
18	✓ Engenharia de Desenvolvimento – Processamento digital de sinais de FI (SW).	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Preliminar da Carga Útil; • Projeto Preliminar do Subsistema TT&C; • Projeto Detalhado da Carga Útil; • Projeto Detalhado do Subsistema TT&C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produção da Carga Útil; • Produção do Subsistema TT&C. 	Não utilizada nesta fase.

CAPACIDADE DO RH		APLICAÇÕES DAS CAPACIDADES DO RH NAS FASES DO CICLO DE VIDA DA MISSÃO			
No.	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	EXPLORAÇÃO DO CONCEITO	DESENVOLVIMENTO DETALHADO	PRODUÇÃO E LANÇAMENTO	OPERAÇÃO E SUPORTE
19	✓ Engenharia de Desenvolvimento – Aplicação de Partes e Materiais (qualidade, confiabilidade, meio ambiente, FMECA / FMEA).	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Preliminar da Carga Útil; • Projeto Preliminar do Subsistema TT&C; • Projeto Detalhado da Carga Útil; • Projeto Detalhado do Subsistema TT&C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produção da Carga Útil; • Produção do Subsistema TT&C. 	Não utilizada nesta fase.
20	✓ Engenharia de Desenvolvimento – Automação de testes de equipamentos eletrônicos / EGSEs.	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Preliminar do EGSE da Carga Útil; • Projeto Preliminar do EGSE do Subsistema TT&C; • Projeto Detalhado do EGSE da Carga Útil; • Projeto Detalhado do EGSE do Subsistema TT&C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produção da Carga Útil; • Produção do Subsistema TT&C. 	Não utilizada nesta fase.
21	✓ Engenharia de Desenvolvimento – Análise / projeto estrutural / especificação e acompanhamento de ensaios mecânicos de equipamentos eletrônicos / MGSEs	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Preliminar da Carga Útil; • Projeto Preliminar do Subsistema TT&C; • Projeto Detalhado da Carga Útil; • Projeto Detalhado do Subsistema TT&C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produção da Carga Útil; • Produção do Subsistema TT&C. 	Não utilizada nesta fase.

CAPACIDADE DO RH		APLICAÇÕES DAS CAPACIDADES DO RH NAS FASES DO CICLO DE VIDA DA MISSÃO			
No.	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	EXPLORAÇÃO DO CONCEITO	DESENVOLVIMENTO DETALHADO	PRODUÇÃO E LANÇAMENTO	OPERAÇÃO E SUPORTE
22	✓ Engenharia de Desenvolvimento – Análise / projeto térmico / especificação e acompanhamento de ensaios térmicos de equipamentos eletrônicos.	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Preliminar da Carga Útil; • Projeto Preliminar do Subsistema TT&C; • Projeto Detalhado da Carga Útil; • Projeto Detalhado do Subsistema TT&C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produção da Carga Útil; • Produção do Subsistema TT&C. 	Não utilizada nesta fase.
23	✓ Engenharia de Desenvolvimento – Equipamentos do Subsistema OBDH (HW e SW).	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Preliminar do Subsistema OBDH; • Projeto Detalhado do Subsistema OBDH 	<ul style="list-style-type: none"> • Produção do Subsistema OBDH. 	Não utilizada nesta fase.
24	✓ Engenharia de Desenvolvimento – Equipamentos do Subsistema Controle de Atitude e Órbita (HW e SW).	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Preliminar do Subsistema Controle de Atitude e Órbita; • Projeto Detalhado do Subsistema Controle de Atitude e Órbita. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produção do Subsistema Controle de Atitude e Órbita. 	Não utilizada nesta fase.
25	✓ Engenharia de Desenvolvimento – Equipamentos do Subsistema Estrutura e Mecanismos.	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Preliminar do Subsistema Estrutura e Mecanismos; • Projeto Detalhado do Subsistema Estrutura e Mecanismos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produção do Subsistema Estrutura e Mecanismos. 	Não utilizada nesta fase.

CAPACIDADE DO RH		APLICAÇÕES DAS CAPACIDADES DO RH NAS FASES DO CICLO DE VIDA DA MISSÃO			
No.	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	EXPLORAÇÃO DO CONCEITO	DESENVOLVIMENTO DETALHADO	PRODUÇÃO E LANÇAMENTO	OPERAÇÃO E SUPORTE
26	✓ Engenharia de Desenvolvimento – Equipamentos do Subsistema Controle Térmico.	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto Preliminar do Subsistema Controle Térmico; Projeto Detalhado do Subsistema Controle Térmico. 	<ul style="list-style-type: none"> Produção do Subsistema Controle Térmico. 	Não utilizada nesta fase.
27	✓ Engenharia de Desenvolvimento – Equipamentos do Subsistema Suprimento de Energia.	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto Preliminar do Subsistema Suprimento de Energia; Projeto Detalhado do Subsistema Suprimento de Energia. 	<ul style="list-style-type: none"> Produção do Subsistema Suprimento de Energia. 	Não utilizada nesta fase.
28	✓ Engenharia de Desenvolvimento – Equipamentos do Subsistema Propulsão.	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto Preliminar do Subsistema Propulsão; Projeto Detalhado do Subsistema Propulsão. 	<ul style="list-style-type: none"> Produção do Subsistema Propulsão. 	Não utilizada nesta fase.
29	✓ Engenharia de Desenvolvimento – Estações Terrenas TT&C.	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto Preliminar da Estação Terrena de TT&C; Projeto Detalhado da Estação Terrena de TT&C. 	<ul style="list-style-type: none"> Instalação, integração e testes da infraestrutura terrestre. 	Não utilizada nesta fase.
30	✓ Engenharia de Desenvolvimento – Estações / Terminais terrestres de comunicações por satélite	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> Projeto Preliminar das Estações / Terminais terrestres de comunicações por satélite; Projeto Detalhado das Estações / Terminais terrestres de comunicações por satélite. 	<ul style="list-style-type: none"> Instalação, integração e testes da infraestrutura terrestre. 	Não utilizada nesta fase.

CAPACIDADE DO RH		APLICAÇÕES DAS CAPACIDADES DO RH NAS FASES DO CICLO DE VIDA DA MISSÃO			
No.	DESCRIÇÃO SUMÁRIA	EXPLORAÇÃO DO CONCEITO	DESENVOLVIMENTO DETALHADO	PRODUÇÃO E LANÇAMENTO	OPERAÇÃO E SUPORTE
31	✓ Engenharia de Desenvolvimento – Equipamentos para comunicações via rede pública.	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Preliminar dos equipamentos para comunicações via rede pública; • Projeto Detalhado dos equipamentos para comunicações via rede pública. 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalação, integração e testes da infraestrutura terrestre. 	Não utilizada nesta fase.
32	✓ Coordenação da Garantia de Produto de subsistemas e equipamentos espaciais.	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> • Coordenação da Garantia de Produto do desenvolvimento dos subsistemas e equipamentos do satélite. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coordenação da Garantia de Produto da produção dos subsistemas e equipamentos do satélite. 	Não utilizada nesta fase.
33	✓ Coordenação da Garantia de Produto de subsistemas e equipamentos do segmento solo.	Não utilizada nesta fase.	<ul style="list-style-type: none"> • Coordenação da Garantia de Produto do desenvolvimento dos subsistemas e equipamentos do segmento solo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coordenação da Garantia de Produto da instalação, integração e testes da infraestrutura terrestre. 	Não utilizada nesta fase.

Fonte: CGEE (2020).

As capacidades dos profissionais serão avaliadas conforme a convenção da Tabela 13.

Tabela 13. Convenção para avaliação do RH, com referência à Tabela 12.

Mnemônico	Avaliação
S	SIM – Possui 100% da capacidade descrita na Tabela 4-1.
P	Parcial – Possui parcialmente a capacidade descrita na Tabela 4-1. Comentário ou observação deve esclarecer a deficiência de atendimento.
N	NÃO – Não possui a capacidade descrita na Tabela 4-1.
X	Avaliação Incompleta – Possui a capacidade descrita na Tabela 4-1, mas falta avaliar o grau de atendimento (S ou P).
Campo em branco	Não Avaliada – O profissional não foi avaliado quanto à posse da capacidade.

Fonte: CGEE (2020).

Foi realizado um levantamento dos recursos humanos nacionais que podem participar do desenvolvimento de uma missão espacial de comunicações até a banda Ka agregando as capacidades identificadas na Tabela 12. O método de pesquisa utilizado foi a consulta a profissionais dos setores espacial e comunicações do segmento solo. Esse processo foi informal de maneira que os resultados obtidos devem ser utilizados com cautela.

Da lista totalizada de nomes e correspondentes áreas de atuação, obtidos através da consulta, foram considerados para a análise de suas capacidades aqueles profissionais que satisfizeram pelo menos um dos seguintes critérios:

- a) Experiência com satélites de qualquer porte;
- b) Experiência com pelo menos um dos componentes do segmento solo;
- c) Experiência com a integração satélite-lançador.

O resultado do levantamento realizado até o dia 31/08/20 é apresentado na do Apêndice F – Pesquisa da capacidade nacional. Constata-se a presença de 43 profissionais nesta lista.

10 Tecnologias das novas missões espaciais de comunicações

As organizações nacionais do setor espacial terão de enfrentar desafios tecnológicos de vários tipos para desenvolverem missões espaciais de alta performance utilizando satélites de pequeno porte.

A Tabela 14 mostra algumas características dos satélites SCD-1, CBERS 04A e Amazonia 1, de responsabilidade do INPE, e do satélite VCUB-1 da empresa Visiona.

Com o Amazonia 1, satélite mais recente do INPE e ainda não lançado, o Brasil avança no domínio das tecnologias espaciais ao fabricar um satélite próprio, estabilizado nos três eixos, com carga útil óptica com expectativa de bom desempenho, e alta porcentagem de equipamentos nacionais. A indicação de deficiência de domínio

tecnológico está na importação do ACDH (*Attitude Control and Data Handling Subsystem*), Subsistema TT&C, PCDU (*Power Conditioning and Distribution Unit*) e SADA (*Solar Array Drive Assembly*). Descontando-se as dificuldades de ordem não tecnológica enfrentadas pelo INPE no desenvolvimento da plataforma do satélite (PMM, plataforma multimissão), subsistem como barreiras tecnológicas a serem vencidas o AOCS (*Attitude and Orbit Control Subsystem*) (parte do ACDH na arquitetura da PMM), o Transponder TT&C e o SADA.

O satélite CBERS 04A, comissionado pelo INPE em julho/2020, vem apresentando desempenho considerado excelente. O satélite, fabricado em parceria com a China, apresenta, olhando do lado brasileiro, a deficiência tecnológica da falta de um Transponder TT&C e AOCS nacionais. Esses itens foram fornecidos pelo parceiro chinês.

O SCD-1, primeiro satélite nacional e ainda parcialmente operacional, representou um grande passo no domínio de diversas tecnologias espaciais e na obtenção de *know-how*, além do legado da criação da infraestrutura para testes (LIT) e controle da operação (CCS) do satélite. A missão de coleta de dados não é exigente em termos de requisito de desempenho do satélite e foi uma escolha adequada para o estágio de evolução tecnológica da época. Note-se a estabilização de atitude somente em um eixo.

Além da falta de domínio de tecnologias específicas, como indicado acima, o processo de desenvolvimento de novos satélites do INPE, a principal organização nacional do segmento espacial, tem os seguintes desafios:

- a) os equipamentos desenvolvidos até o momento precisam ser melhorados no tocante a massa, volume e demanda de energia, mesmo considerando futuras aplicações nas mesmas classes de massa, volume e potência de satélites. Isto acontece porque o estado da arte mundial tem conseguido realizar missões mais complexas e/ou com melhor performance no mesmo envelope de plataforma devido a melhorias nos itens listados, decorrentes do uso de novas tecnologias como, por exemplo, SDR – Rádio Definido por *Software* (SDR – *Software Defined Radio*, em Inglês);
- b) o paradigma de desenvolvimento de satélites precisa ser reavaliado de forma a diminuir prazo e custo de desenvolvimento das missões:
 - i. Os requisitos de nível de qualidade das partes e materiais utilizados precisam ser reavaliados bem como analisadas a possibilidade e condições de uso de partes COTS e não *rad-hard*. Essa questão tem impacto no custo e prazo de entrega das partes e abre a possibilidade de utilização de componentes comerciais com funcionalidades mais complexas que os componentes de alta confiabilidade disponíveis. Nesta eventualidade, podem ser obtidos ganhos adicionais para a redução de massa, volume e demanda de potência além do aumento/melhoria nas funcionalidades;
 - ii. O ciclo de qualificação de equipamentos precisa ser reavaliado quanto à possibilidade de simplificações. Equipamentos com a tecnologia SDR, por exemplo, talvez possam ter um ciclo de qualificação do *hardware* menos acoplado à qualificação do equipamento como um todo uma vez que parcela considerável das funcionalidades do equipamento é definida em *software*. Dessa forma, a qualificação de novos equipamentos que utilizem a mesma plataforma de *hardware* seria simplificada e demandaria menos tempo.

Tabela 14. Características de satélites do INPE e Visiona.

	AMAZONIA 1	CBERS 04A	SCD-1	VCUB-1
Lançamento	2021	20/12/19		
Missão	Observação da Terra	Observação da Terra Coleta de dados	Coleta de dados	Coleta de dados Observação da Terra
Carga útil	Câmera AWF1	Câmera MUX Câmera WFI Câmera WPM Transponder PCD	Transponder PCD	
Freq. C. Útil	Banda X	Banda X	Subida: UHF Descida: Banda S	
Taxa de dados		900 Mbps	60 kHz (BW)	
Freq. TT&C	Banda S	Banda S	Banda S	
Massa	500 kg	1730 kg	115 kg	
Tipo satélite	PMS	SGP	PMS	CubeSat
Potência		2100 W	110 W	
Envelope		1,8 m x 2,0 m x 2,6 m	Diâmetro: 1 m Altura: 1,45 m	CubeSat 6U
Estabilizado	3 eixos	3 eixos	1 eixo	3 eixos

Fonte: CGEE (2020).

Deve ser registrado que o Centro Regional do Nordeste do INPE desenvolveu um transponder PCD com a tecnologia SDR, utilizando componentes COTS, e que em 2015 aguardava demonstração em voo a bordo do nanossatélite Itasat (FUNCATE, 2015).

O enfrentamento dos desafios acima também afetará as demais organizações nacionais participantes dos programas de satélites do INPE conferindo a elas os mesmos ganhos que o INPE vier a obter.

Os resultados positivos do enfrentamento facilitarão às organizações nacionais o desenvolvimento de missões que utilizem micro e nanossatélites, talvez até CubeSats. A necessidade de redução de massa e volume para essas missões é óbvia, dado o tamanho reduzido dessas plataformas. Todavia, a redução de custo e prazo também parece ser uma necessidade bastante importante. Ela está na própria natureza das missões com CubeSats e está implícita nas que utilizam micro e nanossatélites. A importância decorre, entende-se, do fato dessas missões frequentemente usarem grande quantidade de satélites o que só é sustentável se o custo e prazo de entrega unitários forem reduzidos em comparação com os satélites tradicionais, de maior porte.

Como mencionado anteriormente, a Tabela 14 também inclui informações do satélite VCUB-1 da empresa Visiona. A Visiona Tecnologia Espacial S.A. é uma *joint venture* entre as empresas Embraer Defesa, privada, e

Telebrás, estatal, e é a primeira organização brasileira não governamental a lançar um programa de desenvolvimento de um satélite.

Com base nas informações divulgadas pela empresa tem-se a expectativa de que esse satélite estará no estado da arte desse tipo de missão. Todavia, a menos da carga útil óptica desenvolvida pela empresa brasileira Opto Space & Defense (2020), não se tem informações sobre o modelo de desenvolvimento dos demais subsistemas, em especial sobre o Transponder PCD (Plataforma de Coleta de Dados), que constitui a segunda carga útil da missão VCUB, e sobre o subsistema de transmissão de dados da carga útil óptica.

Dados informais indicam que a Visiona assumiu o trabalho de engenharia de sistemas e que os principais subsistemas especificados serão adquiridos no exterior. Posteriormente a empresa fará a AIT do satélite. Espera-se que, com o progresso da missão VCUB, mais informações e dados sejam disponibilizados de forma que o grau de domínio das tecnologias espaciais por parte das organizações nacionais possa ser avaliado com maior objetividade.

10.1 Tecnologias para missões de comunicações com nanossatélites e CubeSats

Consultando-se as informações disponíveis sobre as missões de comunicações com satélites de pequeno porte e CubeSats pesquisadas até o momento (Apêndice A – Pesquisa de missões de comunicações com SPP) e artigos técnicos sobre esse tipo de missão como, por exemplo, Saeed et al. (2020) e Burleigh et al. (2019), foram identificados como ponto chave para o desenvolvimento dos subsistemas de comunicações dessas missões as seguintes tecnologias e *know-how*:

- a) Tecnologia SDR (Rádio Definido por *Software*, do inglês Software defined radio), para o transponder da carga útil (bandas X, Ku e Ka) e de comunicações de serviço (TT&C, banda S);
- b) Antenas de alto desempenho nas bandas de frequência UHF e S (TT&C), X, Ku e Ka (carga útil);
- c) Enlaces intersatélites;
- d) Protocolos de dados flexíveis para a carga útil;
- e) *Know-how* de utilização de partes *low-grade* e COTS.

É importante reforçar que na elaboração da lista acima só foram analisados os subsistemas de comunicações, nominalmente, carga útil e TT&C. O desenvolvimento das missões de comunicações em pauta pode depender de tecnologias chave em outros subsistemas do satélite, mas tal análise foi considerada fora da alçada e escopo do presente trabalho.

Considera-se que nem o *know-how*, nem as tecnologias acima são, no momento, dominadas pelas organizações nacionais. A seguir, elas são comentadas brevemente e, quando julgado necessário, são propostos roteiros para que o domínio dessas tecnologias venha a ocorrer.

11 Tecnologia SDR

Na tecnologia SDR o processamento de sinais de um equipamento é parcialmente feito em *hardware*, da forma tradicional, e parcialmente feito em um processador digital que executa um *software* ou *firmware* apropriado como ilustrado na Figura 16 para o caso de um transceptor.

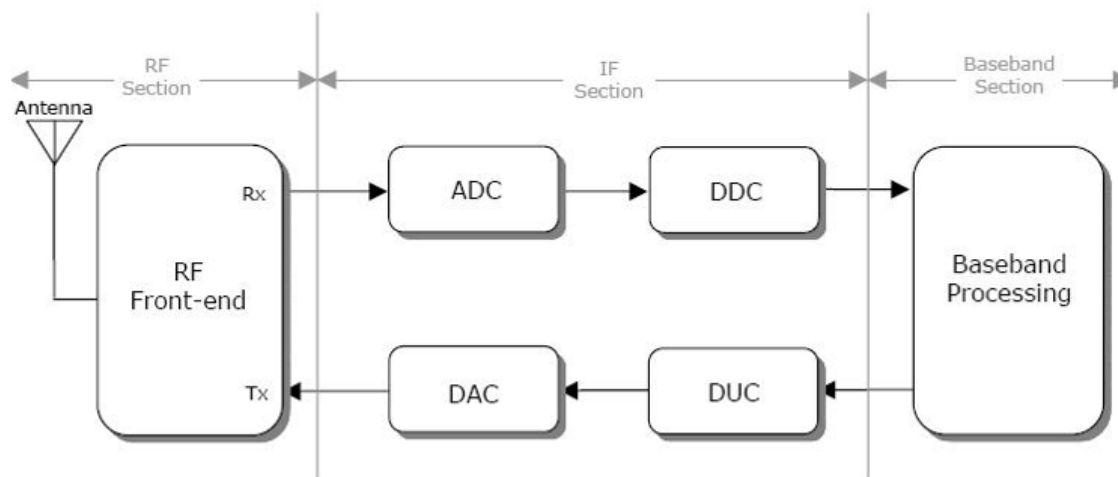


Figura 16. Princípio de funcionamento da tecnologia SDR.

Fonte: VASUDEVAN (2011).

A aplicação da tecnologia SDR aos equipamentos embarcados em satélites traz as seguintes vantagens principais: a) flexibilização dos requisitos de desempenho; b) padronização do *hardware*; c) redução de massa e volume; d) redução da contagem de partes; e) redução do prazo de fabricação; f) redução do custo de fabricação; g) reconfigurabilidade em voo. As principais desvantagens são a susceptibilidade à radiação e consumo de energia. O leque de vantagens da tecnologia é amplo e é isto que faz dela uma tecnologia disruptiva para a aplicação espacial.

O INPE reconheceu a importância desta inovação para seus programas ao lançar os Desafios Números 4a e 4b na Chamada PIPE - PAPPE de 2015 (FAPESP / FINEP, 2015). Duas empresas foram selecionadas em 2017 (ATMOS e OMNISYS), mas salvo engano, o resultado do trabalho dessas chamadas ainda não foi divulgado.

O processamento digital de sinais requer o uso de conversores A/D (Analógico/Digital) e D/A (Digital/Analógico), processador adequado (DSP – *Digital Signal Processor*, FPGA – *Field Gate Programmable Array*, ASIC – *Application Specific Integrated Circuit*, microprocessador etc.) e de memórias. Esses componentes são, normalmente, susceptíveis à radiação e sua utilização no ambiente espacial requer cuidados adequados. A dose total de radiação e os tipos de radiação sobre esses componentes dependem da órbita do satélite, do efeito de blindagem da estrutura do satélite e do empacotamento dos equipamentos (GHIZONI, CARRARA, 2015), e da vida útil desejada.

Em alguns equipamentos espaciais a frequência do sinal de RF (rádio frequência) é muito alta para ser processada diretamente pelo bloco digital e assim são usadas arquiteturas que realizam a conversão de

frequência do sinal de RF para FI (frequência intermediária) de valor adequado, como ilustrado na Figura 17. O valor máximo da FI depende das características dos conversores A/D e D/A e do processador e impacta diretamente na estrutura do equipamento, principalmente no arranjo de filtros de RF.

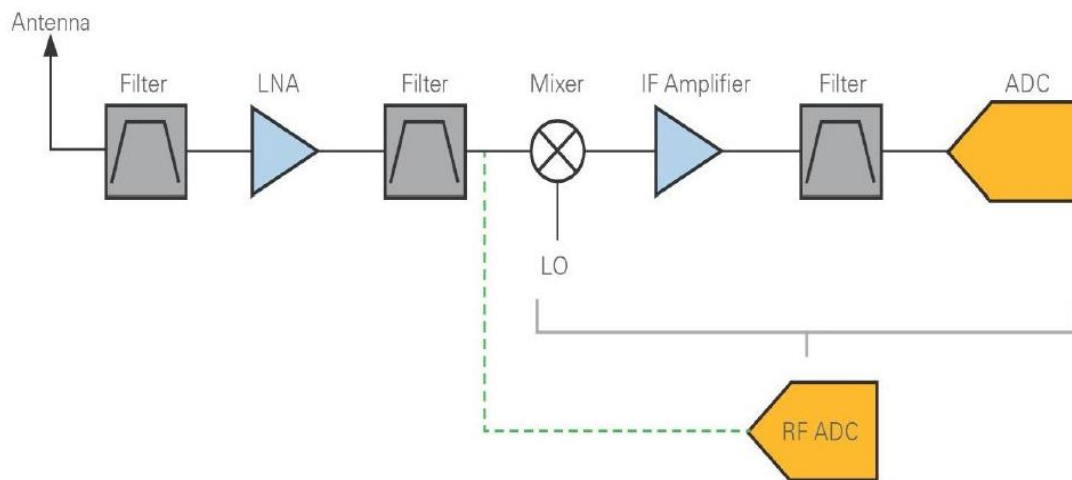


Figura 17. Tecnologia SDR com amostragem do sinal de RF ou de FI.

Fonte: NATIONAL INSTRUMENTS (2019).

O processamento do sinal pode ser mais ou menos complexo dependendo da aplicação. Nos receptores algumas funções comuns são a demodulação (PM, BPSK, FSK, QPSK) do sinal de RF/FI, CAG (Controle Automático de Ganho) e recuperação/sincronização de sinal de relógio. Nos transmissores duas funções comuns são a modulação analógica (PM) ou digital (BPSK, FSK, QPSK) de uma portadora de RF, ou de um sinal de FI, e filtragem associada, e o controle do nível do sinal a ser transmitido (ALC - *Automatic Level Control*).

Podem ser identificados três blocos componentes no SDR da Figura 17. Tecnologia SDR com amostragem do sinal de RF ou de FI.:

- a) *Hardware* de RF/FI;
- b) *Hardware* Digital;
- c) *Software / Firmware* do *Hardware* Digital.

O componente do item (a) é composto pelo circuito de entrada do bloco receptor e pelo circuito de saída do bloco transmissor. Esses circuitos compreendem, respectivamente, os elementos do receptor que estão entre a antena e a entrada do conversor A/D, e os elementos do transmissor que estão entre a saída do conversor D/A e a antena. O componente *Hardware* de RF/FI opera no assim chamado domínio analógico.

O componente do item (b) pertence ao assim chamado domínio digital e compreende todos os elementos do receptor e do transmissor que estão entre a entrada do conversor A/D, saída do conversor D/A e as portas de entrada/saída de baixa frequência do equipamento.

O terceiro bloco componente do SDR, o *Software / firmware* do *Hardware* Digital, também pertence ao domínio digital. Ele possui uma arquitetura que corresponde à representação gráfica do processamento de sinal por ele realizada.

11.1 Domínio da tecnologia SDR

O bloco componente *Hardware* de RF/FI envolve componentes analógicos adequados para as frequências de operação do receptor e transmissor. Nos sistemas de comunicações em pauta, elas podem chegar até a banda Ka.

Para trabalhar nas frequências mais altas (Ku, Ka), serão necessárias mudanças nas técnicas de projeto dos equipamentos embarcados e melhoria dos equipamentos e acessórios dos laboratórios de micro-ondas, mas esse *gap* pode ser vencido pelas próprias organizações que atuam na área. Mesmo assim, elas podem se beneficiar dos resultados do roteiro de capacitação proposto abaixo.

Os outros dois blocos componentes, *Hardware* Digital e *Software / Firmware* do *Hardware* Digital, são multidisciplinares e representam um desafio maior para as organizações. Propõe-se que um grupo multidisciplinar de trabalho (GMD) siga o roteiro da Figura 18 para alcançar o domínio das tecnologias associadas a esses blocos.

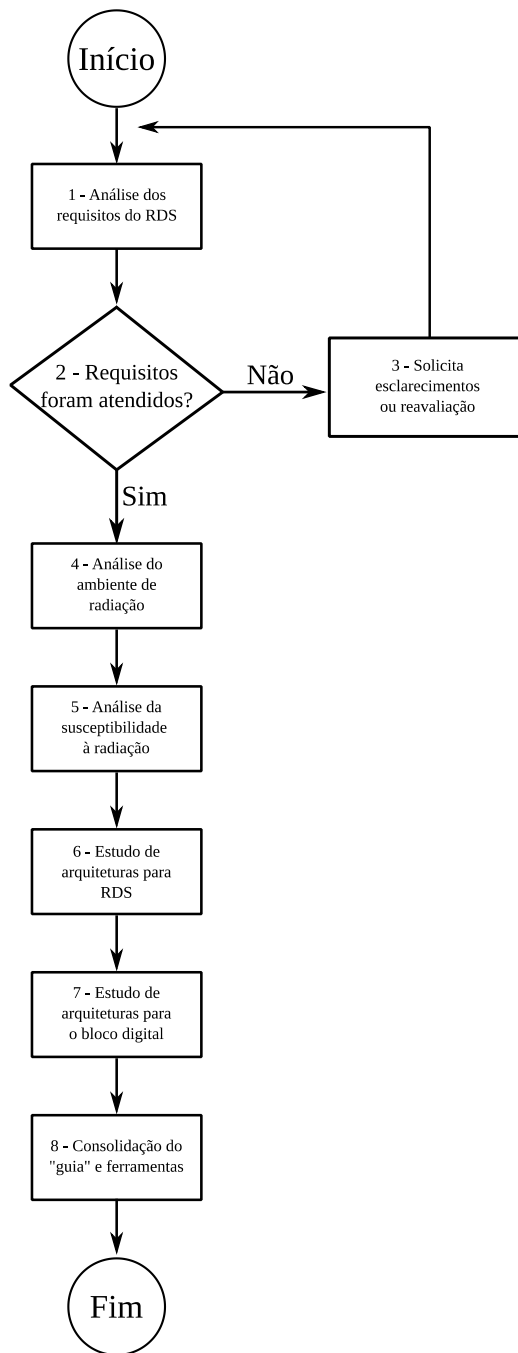


Figura 18. Roteiro para domínio da tecnologia SDR.

Fonte: CGEE (2020).

A composição do GMD inclui os seguintes profissionais / especialistas:

- a) engenheiro de sistemas – receptores, transmissores, transponders;
- b) engenheiro de desenvolvimento – circuitos de RF & micro-ondas (HW);
- c) engenheiro de desenvolvimento – processamento de sinais analógicos e digitais (HW);
- d) engenheiro de desenvolvimento – processamento digital de sinais em banda base (SW);
- e) engenheiro de desenvolvimento – processamento digital de sinais de FI (SW);
- f) engenheiro de desenvolvimento – aplicação de partes e materiais;
- g) especialista em radiação;
- h) especialista em tecnologias de componentes eletrônicos (analógicos, digitais, baixa frequência, RF, micro-ondas);
- i) especialista em processamento digital de sinais.

O perfil desses profissionais, em linhas gerais, é de que os engenheiros tenham formação teórica adequada e atuem no Grupo com foco nas necessidades da aplicação (“projeto”). Os especialistas devem ter formação científica / acadêmica e o foco de sua atuação no Grupo deve ser a fundamentação teórica para as decisões e atividades de projeto. Desta forma, a soma dos conhecimentos dos integrantes do GMD deve cobrir todo o espectro desde a aplicação até a ciência, no estado da arte se e quando necessário. A interface entre as atuações desses dois tipos de profissional deve ocorrer sem solução de continuidade.

O roteiro da Figura 18 e o seu *rationale* são descritos a seguir:

PASSO 1

O GMD, com base no seu conhecimento e experiência, analisa criticamente o conjunto completo de requisitos recebido do responsável pelo equipamento SDR verificando sua consistência, completude, criticidade, dúvidas etc.

Essa análise deve ser feita de forma sistematizada, registrada e seguindo um roteiro elaborado pelo GMD de modo que este venha a se tornar o primeiro documento de um “guia de projeto de SDR”.

PASSO 2

Com base no resultado do passo anterior o GMD decide pela continuidade do fluxo de atividades ou pela solicitação de esclarecimentos / reavaliação de requisitos ao responsável pelo equipamento.

PASSO 3

O GMD solicita ao responsável pelo equipamento SDR esclarecimentos / reavaliação de requisitos utilizando documento em formato definido pelo GMD para esta finalidade e que fará parte do “guia de projeto de SDR”.

Com a resposta do responsável, a análise dos requisitos, PASSO 1, é retomada iterando o quanto for necessário para que os requisitos iniciais do equipamento SDR estejam em patamar considerado adequado pelo seu responsável e pelo GMD.

PASSO 4

O objetivo deste passo é o estudo da radiação no ambiente espacial, sua relação com a órbita do satélite e com o tempo em órbita, estudo do efeito de blindagem da estrutura do satélite e dos equipamentos embarcados, determinando o “ambiente de radiação primário”, visto pelo satélite, e o “ambiente de radiação efetivo”, visto pelo equipamento SDR.

O ambiente de radiação efetivo deve ser obtido a partir dos parâmetros orbitais e vida útil esperada, e informações de blindagem. O GMD deve definir a forma apropriada de informar o ambiente efetivo para os desenvolvedores do equipamento SDR, com elementos que facilitem a escolha das tecnologias de componentes mais adequadas para o ambiente.

Para as análises e estudos acima, além do desenvolvimento de ferramentas próprias, o GMD pode utilizar ferramentas públicas como SHIELDOSE (SELTZER, 1980), GEANT4 (AGOSTINELLI, 2003), SPENVIS (ESA, 2019), desenvolvendo rotinas e procedimentos de acesso a essas ferramentas.

Todas essas ações devem ser sistematizadas e documentadas de forma a integrarem o futuro “guia de projeto de SDR”.

Com base nos ambientes primário e efetivo, o GMD também pode analisar criticamente os requisitos de radiação recebidos.

PASSO 5

O foco deste passo é o estudo da susceptibilidade à radiação (tipo de radiação, intensidade, mecanismos de falha etc.) dos principais componentes analógicos e digitais necessários para o projeto do equipamento SDR tais como transistores de baixa e rádio frequência, amplificadores operacionais, diodos, *mixers*, comparadores de fase, divisores de frequência, memórias, microprocessadores, DSPs, FPGAs.

Aspectos bastante diversos desses componentes deverão ser analisados a fim de se compreender e avaliar seu desempenho com a radiação tais como:

- a) funcionamento intrínseco do componente;
- b) projeto do componente;
- c) material semicondutor (Si, AsGa, GaN etc.);
- d) processo de fabricação;
- e) atendimento de normas (MIL-19500, MIL-M-38510, ECSS etc.);
- f) nível de integração (discreto, MSI, LSI, VLSI etc.);
- g) tipo e material do encapsulamento;

- h) conexão do chip;
- i) herança espacial ou de outros ambientes com radiação;
- j) métodos de teste;
- k) realização de experimentos de radiação em instituições nacionais ou estrangeiras;
- l) etc.

O passo também deve abordar as proteções contra radiação e os meios de mitigação de seus efeitos como, por exemplo, blindagem e circuitos de proteção.

O resultado do Passo 5 deve ser a emissão dos seguintes catálogos que comporão o “guia de projeto de SDR”:

- a) catálogo de componentes *rad-hard*;
- b) catálogo de componentes *rad-tolerant*;
- c) catálogo de componentes *commercial* para espaço;
- d) catálogo de tecnologias de componentes para o ambiente de radiação espacial;
- e) catálogo de técnicas de proteção e mitigação para o ambiente de radiação espacial.

PASSO 6

Esse passo tem o objetivo de estudar e desenvolver arquiteturas do equipamento SDR (blocos *Hardware RF/FI*, *Hardware Digital* e *Software / Firmware* do *Hardware Digital*) e as correspondentes demandas por componentes analógicos e digitais.

Cada arquitetura deve passar por uma análise dos pontos fortes e fracos sob o ponto de vista de desempenho do equipamento e de requisitos dos componentes. Alguns itens a serem considerados na análise crítica de cada arquitetura:

- a) grau de dificuldade de atendimento dos requisitos funcionais;
- b) prós e contras da alocação de funcionalidades nos domínios analógico e digital;
- c) requisitos funcionais dos componentes (analógicos, digitais e mistos) e grau de dificuldade de atendimento dos mesmos;
- d) requisitos ambientais dos componentes e grau de dificuldade de atendimento dos mesmos, particularmente o ambiente de radiação;
- e) grau de dificuldade de implementação das funções do processamento digital.

O GMD definirá uma forma de apresentação do resultado das análises, provavelmente na forma de um catálogo de arquiteturas do SDR, com seus prós e contras, e que será integrado no “guia de projeto de SDR”.

PASSO 7

Esse passo, diretamente relacionado com os blocos *Hardware Digital* e *Software / Firmware do Hardware Digital*, abordará de forma sistemática as arquiteturas para o processamento digital das funções do equipamento, e a forma, vantagens e desvantagens de implementá-las com diferentes tipos de componentes. Serão investigados o *hardware* e algoritmos associados, necessários para esses processamentos. Alguns itens a serem considerados na análise crítica de cada implementação:

- grau de dificuldade de atendimento dos requisitos de desempenho;
- tipo de componente em que pode ser realizada (ASIC, DSP, FPGA);
- parâmetros a serem analisados na eventual escolha de bloco *Hardware Digital* de terceiros;
- demanda de potência.

O GMD definirá uma forma de apresentação do resultado das análises, provavelmente na forma de um catálogo de arquiteturas digitais, com seus pró e contras, e que será integrado no “guia de projeto de SDR”.

PASSO 8

Revisão e consolidação do “guia de projeto de SDR” e das ferramentas utilizadas ao longo do roteiro.

A expectativa é de que, ao seguir esse roteiro, todo o GMD, mas especialmente o grupo de engenheiros, em um tipo de “*on job training*”, adquira os *know why* e *know-how* da tecnologia SDR que permitam sua aplicação em novos projetos, isto é, que eles se tornem capacitados na tecnologia. Adicionalmente, deverão estar disponíveis várias ferramentas, além do próprio “guia de projeto SDR”, que facilitarão a replicação da capacitação com outros grupos de engenheiros, não sendo mais necessários os “especialistas”. Por fim, essas mesmas ferramentas também deverão ser usadas como ferramentas de projeto.

11.2 Antenas de alto desempenho para CubeSats, nano e microssatélites

Os novos programas de CubeSats, nano e microssatélites passaram a usar frequências de operação mais altas para viabilizar as taxas de dados mais altas requerendo, conseqüentemente, bandas de operação mais largas.

Essas novas frequências e larguras de banda são mais exigentes quanto ao desempenho da antena. Gao et al (2018) apresentam uma revisão de várias soluções de antenas de alto desempenho utilizadas em CubeSats, nanosatélites, microssatélites nos últimos anos. A maioria dessas antenas, se não todas, utilizam tecnologias convencionais, diferenciando-se pela engenhosidade das soluções.

É possível, portanto, desenvolver antenas para as bandas de interesse (UHF a Ka), com o desempenho necessário, e com as tecnologias de materiais e componentes atualmente disponíveis para as organizações nacionais que atuam nessa área.

Assim, não se divisa no momento a necessidade de capacitação em novas tecnologias para o desenvolvimento das antenas das missões espaciais de comunicações com CubeSats e nanosatélites.

11.3 Enlaces intersatélites

Os enlaces intersatélites têm sido uma técnica chave usada por diversas constelações de satélites como forma de se atingir cobertura global. A literatura reporta o uso tanto de enlaces em micro-ondas como o de enlaces a laser.

Evitando-se um salto tecnológico muito grande, podem ser considerados neste trabalho somente os enlaces em micro-ondas que, nas bandas mais altas como X, Ku e Ka, permitem a transmissão com altas taxas de dados (SAEED, 2020).

Esses enlaces necessitam, basicamente, de transponders e antenas. Assim, apesar da aplicação única, são necessários equipamentos cujas soluções e tecnologias já foram abordadas acima, nas seções 11.2 e 11.3.

11.4 Protocolos de dados flexíveis

Os sistemas de comunicações com satélites de pequeno porte têm encontrado diversas aplicações, desde as mais tradicionais, como comunicação P2P, quanto novas aplicações como M2M, Internet, IoT, IoRT, acesso a rede terrestre 3G/4G as quais requerem diferentes protocolos de dados.

Para tornar o meio de comunicação mais transparente para o usuário é necessária maior flexibilidade no uso dos protocolos de dados e dos próprios protocolos. A primeira parte é resolvida com facilidade pelos transponders SDR que podem utilizar protocolos diferentes para os diferentes serviços oferecidos. A flexibilidade dos próprios protocolos para operar com diferentes meios (satélites, cabos etc.) também tem sido bastante trabalhada (SAEED, 2020).

Entende-se que as organizações nacionais que trabalham nesta área poderão utilizar a ampla literatura disponível para vencer com esforço próprio o *gap* tecnológico entre os protocolos até aqui utilizados e os demandados pelas novas aplicações, sem a necessidade do estabelecimento de um processo formal e extenso de capacitação.

11.5 Aplicação de partes *low-grade* e COTS

Partes e materiais de alta confiabilidade têm alto custo e prazos de entrega longos que impactam direta e negativamente no custo e prazo do equipamento / subsistema. Uma iniciativa antiga e ainda sob bastante discussão é o uso de partes COTS – *Commercial-Off-The-Shelf* para substituir partes com qualificação espacial (FRIEDLANDER, 2018). A ideia básica é que a melhoria do nível de qualidade das partes eletrônicas para os mercados industrial e automotivo, ocorrida ao longo dos anos, resultou em níveis de qualidade e confiabilidade compatíveis com as aplicações espaciais. Uma dificuldade remanescente para o uso espacial de partes COTS é o seu desempenho em ambiente com radiação.

A escolha de partes *low-grade* para espaço como, por exemplo, JANTX ao invés de JANS, também necessita de embasamento técnico para que possa ser feita corretamente.

As organizações nacionais vêm de uma longa experiência de fornecimento de equipamentos para os programas do INPE nos quais as partes *low-grade* e COTS não eram, em geral, aceitas.

Com a mudança de paradigma em curso, por força das novas missões com nanosatélites e CubeSats, é necessário revisitar a questão da aplicação espacial de partes dos diversos níveis de qualidade, com o embasamento técnico suficiente para orientar e justificar as seleções de partes a serem feitas nos novos programas.

11.5.1 Obtenção de *know-how* para aplicação de partes *low-grade* e COTS

Devido a natureza do assunto, acredita-se que as organizações podem obter o *know-how* necessário para a aplicação de partes, incluindo partes *low-grade* e COTS, capacitando seu grupo de engenheiros de desenvolvimento de *hardware* (micro-ondas, analógico e digital) e de aplicação de partes através de um curso ou *workshop* de alguns dias que cubra os seguintes tópicos:

- a) visão geral da fabricação de partes eletrônicas, tipos, níveis de qualidade e qualificação;
- b) normas (MIL, NASA, DoD, ECSS, industriais etc.) aplicáveis às partes e correspondentes diferenças nos processos produtivos;
- c) nível de qualidade das partes e confiabilidade;
- d) requisitos de recebimento, manuseio, armazenamento de partes;
- e) requisitos ambientais para uso das partes, incluindo radiação;
- f) diferenciação efetiva de partes espaciais, *hi-rel*, *low-grade*, MIL, COTS;
- g) diretrizes para uso.

12 Considerações finais

Nesse documento, foram apresentadas as características das telecomunicações realizadas por meio de satélites de um modo geral e, especificamente, mostrados alguns aspectos da realização de tal aplicação espacial por meio de satélites de pequeno porte, como o avanço de algumas tecnologias que podem ser aplicadas nesse campo.

Foram apresentadas também as tendências tecnológicas associadas a esse setor específico e feito um levantamento das capacidades nacionais para desenvolver missões dedicadas a telecomunicações com tais artefatos.

Espera-se que as informações coletadas nesse estudo (nem todas elas apresentadas nesse documento, mas disponíveis no OTE/CGEE) possam ajudar e facilitar o desenvolvimento nacional de tais missões e auxiliar o processo de gestão tecnológica do Programa Espacial Brasileiro.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. Institucional. Disponível em: <https://www.anatel.gov.br/institucional/institucional-menu>. Acessado em: 18/07/2020.

_____. Satélites. Disponível em: <https://anatel.gov.br/setorregulado/apresentacao-satelite>. Acessado em: 18/07/2020a.

AGOSTINELLI, S. et al. GEANT4 - A Simulation Toolkit. Nuclear Instruments and Methods, Section A, Volume 506, Issue 3, 2003. p250-303. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900203013688?via%3Dihub> . Acessado em 29/07/19.

BODEN, Daryl, G. Introduction to Astrodynamics. In: LARSON, Wiley J.; WERTZ, James R. (Ed.). Space Mission Analysis and Design. 2. ed. Torrance: Microcosm; Dordrecht/Boston/London: Kluwer, *Copyright* 1992. p. 129-156.

BURLEIGH, Scott C., et al. From Connectivity to Advanced Internet Services: A Comprehensive Review of Small Satellites Communications and Networks. Wireless Communications and Mobile Computing. Volume 2019, Article ID 6243505, 17 pages. <https://doi.org/10.1155/2019/6243505>

CENTRO DE GESTÃO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. CubeSats. Brasília, DF: 2018. 46 p.

_____. Informações fornecidas pelo Observatório de Tecnologias Espaciais do CGEE. Brasília, 15/06/2020.

ELBERT, Bruce, R. Introduction to Satellite Communication. 3. ed. Norwood, MA: Artech House, *Copyright* 2008. 463 p.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. Space project management: Project planning and implementation. Noordwijk, The Netherlands, p.50. 2009.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). SPENVIS – Space Environment Information System. Disponível em <https://www.spennis.oma.be/intro.php> . Acessado em 29/07/19.

FAPESP / FINEP. ANEXO 1 - Lista de Desafios Tecnológicos. Anexo da Seleção pública FAPESP e MCTI/FINEP/FNDCT – Subvenção Econômica à Pesquisa para Inovação – Subvenção Econômica No. 0107077500 - Pesquisa para o desenvolvimento de tecnologias e produtos para aplicações espaciais - PROGRAMA PIPE/PAPPE SUBVENÇÃO. 2015.

FRIEDLANDER, Dan. COTS in space – the future. No portal *Intelligent Aerospace*. 18/11/2018.

FUNCATE. INPE desenvolve novo transponder para satélites de coleta de dados ambientais. Disponível em: <https://www.funcate.org.br/pt/imprensa/noticias/256/inpe-desenvolve-novo-transponder-para-satelites-de-coleta-de-dados-ambientais>. 06/01/2015.

GAO, Steven, et al. Advanced Antennas for Small Satellites. Proceedings of the IEEE, 106 (3). pp. 391-403 (2018) Advanced.

GHIZONI, Leonardo; CARRARA, Sidney S.A. How much qualification do we really need? Importance of system layout in space radiation analysis. VI WERICE AEROESPACIAL. São José dos Campos. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. 1º Satélite de Coleta de Dados – SCD-1. Disponível em: http://www.inpe.br/scd1/site_scd/scd1/osatelite.htm. Acessado em: 25/08/2020.

INTERNATIONAL AMATEUR RADIO UNION. About IARU. Disponível em <https://www.iaru.org/about-us/>. Acessado em 18/07/2020.

_____. Satellites: Amateur Radio Satellite Frequency Coordination. Disponível em: <https://www.iaru.org/reference/satellites/>. Acessado em 18/07/2020a.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. Radio Regulations: Articles. 2016. ed. Geneva, Switzerland: ITU Library & Archives Service, 2016. 430 p.

_____. About ITU. <https://www.itu.int/en/about/Pages/default.aspx>. Acessado em 18/07/2020.

KEPLER COMMUNICATIONS. Kepler's High-Power Nanosatellites - KIPP. Disponível em: <https://www.keplercommunications.com/network#kipp-slide>. Acessado em 18/07/2020.

_____. Kepler's High-Power Nanosatellites - CASE. Disponível em: <https://www.keplercommunications.com/network#case-slide>. Acessado em 18/07/2020a.

_____. Kepler's High-Power Nanosatellites - TARS. Disponível em: <https://www.keplercommunications.com/network#tars-slide>. Acessado em 18/07/2020b.

_____. Constellation Roll-Out. In: Kepler's High-Power Nanosatellites. Disponível em: <https://www.keplercommunications.com/network>. Acessado em 18/07/2020c.

MARAL, Gérard, BOUSQUET, Michel. Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology. 5. ed. Chichester, UK: John Wiley, 2009. 743 p.

NATIONAL INSTRUMENTS. Advantages of direct RF sampling architectures. May 24th, 2019. Disponível em: <http://www.ni.com/pt-br/innovations/white-papers/18/advantages-of-direct-rf-sampling-architectures.html> . Acessado em 29/06/19.

OPTO SPACE & DEFENSE. *Payload* óptico 3U para observação da Terra. Disponível em: <https://optosd.com.br/projetos/earth-observation-3u-optical-payload/>. Acessado em: 25/08/2020.

RAIMUNDO, Paula Cristiane Pinto; KUGA, Hélio Koiti; VILHENA DE MOARES, Rodolpho. Variações Orbitais nas Vizinhanças de uma Órbita Congelada. In: Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicações, 4., 2005, UNESP – Campus de Bauru, Anais, p. 1-9.

SAEED, Nasir, et al. CubeSat Communications: Recent Advances and Future Challenges. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/340881168_CubeSat_Communications_Recent_Advances_and_Future_Challenges

SELTZER, S. M.. SHIELDSE, A Computer Code for Space-Shielding Radiation Dose Calculations. National Bureau of Standards, *NBS Technical Note 1116*, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1980.

STARK, John, P.W., SWINERD, Graham, G. Mission Analysis. In: FORTESCUE, Peter, STARK, John, SWINERD, Graham. (Ed.). *Spacecraft Systems Engineering*. 3. ed. Chichester, UK: John Wiley, Copyright 2003. p. 111-167.

TELESAT. Telesat LEO – Why LEO? Disponível em <https://www.telesat.com/services/leo/why-leo>. Acessado em 18/07/2020.

VASUDEVAN S.K, VENKATESHWARAN K, SUBASHRI V, VAITHIYANATHAN V. (2011). Analogue to digital converter design for software defined radio – an optimised approach. *International Journal of Internet Technology and Secured Transactions*, 3(2). doi: 10.1504/IJITST.2011.039772

WERTZ, James, R. Space Mission Geometry. In: LARSON, Wiley J.; WERTZ, James R. (Ed.). *Space Mission Analysis and Design*. 2. ed. Torrance: Microcosm; Dordrecht/Boston/London: Kluwer, Copyright 1992.

WHITWORTH, Gary, G. Ground System Design and Sizing. In: LARSON, Wiley J.; WERTZ, James R. (Ed.). *Space Mission Analysis and Design*. 2. ed. Torrance: Microcosm; Dordrecht/Boston/London: Kluwer, Copyright 1992. p. 579-601.

Apêndice A – Pesquisa de missões de comunicações com SPP

O levantamento das missões de comunicações utilizando satélites de pequeno porte (SPP) conforme discussão da seção 5 será registrado em uma tabela cujo conjunto de colunas ocupa duas páginas (PARTE A e PARTE B). A descrição dessas colunas bem como as regras a serem observadas no preenchimento da tabela são apresentadas a seguir.

A **PARTE A** tem as seguintes colunas:

Coluna 1: **ITEM** – Número sequencial que indica a ordem temporal de registro do conjunto de dados na tabela;

Coluna 2: **LANÇAMENTO (DD/MM/AA)** – Registro da data de lançamento do satélite. Quando ainda em desenvolvimento, registra a data prevista para o lançamento, conforme as referências disponíveis. Quando não há previsão clara de data nas referências disponíveis, registra a data estimada pelo responsável pelo preenchimento da tabela. Neste caso é feito um destaque mudando-se a cor da fonte para vermelho e colocando-a em negrito;

Coluna 3: **NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO** – Registra o nome do satélite, do satélite e constelação, ou da constelação, conforme informações disponíveis;

Coluna 4: **DESENVOLVEDOR** – Nome da organização responsável pela fabricação e teste do satélite/constelação;

Coluna 5: **PAÍS** – país sede da organização desenvolvedora;

Coluna 6: **ARQUITETURA & MISSÃO** – Breve descrição da arquitetura (quantidade de satélites, órbita(s), estações terrenas etc.) e da missão (tipo, objetivos, usuários etc.);

Coluna 7: **TM** – Tipo de Missão conforme convenção: **1** – Comunicações – CubS; **2** – Comunicações – NanS; **3** – Comunicações – PMS; **4** – Comunicações – Carga Útil – SPP; **5** – Comunicações de Serviço – SPP; **9** – Outras. Registro objetiva permitir filtragem dos dados. Convenção pode ser ampliada conforme necessidade;

Coluna 8: **CS** – Classe do Satélite. Registro de uma das abreviaturas da seção anterior (PicS / NanS / MicS / PMS / CubS);

Coluna 9: **VOL** – Volume do satélite. Se for da classe CubS, o volume é registrado em número de “U” (exemplo: **6U**). Se de outra classe o volume é registrado em metros cúbicos, sem colocar unidade (exemplo: **0,03**).

A **PARTE B** possui as seguintes colunas:

Coluna 1: **ITEM** – Cópia da coluna 1 da PARTE A;

Coluna 2: **NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO** – Cópia da coluna 3 da PARTE A;

Coluna 3: **MASSA (kg)** – Massa do satélite em kg;

Coluna 4: **POTÊNCIA (W)** – Potência elétrica total do gerador solar em W, sem unidade;

Coluna 5: **V. UTIL (Anos)** – Vida útil do satélite, ou do satélite/constelação, em anos, sem unidades. Exemplos: **2** (satélite com vida útil de 2 anos); **2/15** (cada satélite com vida útil de 2 anos e a constelação com 15 anos); **2/** (cada satélite com vida útil de 2 anos, vida da constelação desconhecida); **/15** (vida de cada satélite desconhecida, constelação com vida útil de 15 anos);

Coluna 6: **BANDA** – Banda(s) de frequências utilizada(s) pelo satélite/constelação conforme designação de bandas da Tabela 3.3-1. Separar com barra(s) no caso de mais de uma banda. Exemplo: **VHF/UHF**. Uma banda seguida apenas de barra indica que o satélite utiliza mais de uma banda, mas que as outras não são conhecidas. Exemplo: **Ku/**.

Coluna 7: **TECNOLOGIA DA ANTENA** – Breve descrição do(s) tipo(s) e aspectos tecnológicos da(s) antena(s);

Coluna 8: **TECNOLOGIA DO RX/TX** – Breve descrição dos aspectos tecnológicos do receptor e transmissor embarcados;

Coluna 9: **TECNOLOGIA OUTROS EQUIPS. RELEVANTES** – Breve descrição dos aspectos de outros equipamentos embarcados julgados relevantes para o objeto do levantamento (computador de bordo etc.).

Células vazias da tabela indicam que a informação correspondente não foi obtida até a data da revisão da tabela (indicada no canto superior esquerdo das páginas 1 e 2). Quando a informação correspondente não for aplicável, a célula é preenchida com NA (Não Aplicável).

As referências bibliográficas (RB) utilizadas para obtenção dos dados lançados na tabela terão o arquivo eletrônico correspondente com o nome RBaaa-bbb onde “aaa” identifica o “item” da tabela e “bbb”

é um número sequencial para identificar a referência específica. Esses arquivos eletrônicos serão arquivados convenientemente.

A Tabela 15 apresenta os resultados do levantamento mais recente (30/07/20) e na Tabela 16, as referências bibliográficas encontradas. Os dados da PARTE A da Tabela 15, com exceção das colunas 6, 7 e 8, dos itens 1 a 124 foram obtidos do banco de dados do CGEE (2020).

Tabela 15. Levantamento das missões de comunicações com SPP até 30/07/20.

MISSÕES ESPACIAIS COM SATÉLITES DE PEQUENO PORTE - ÊNFASE EM COMUNICAÇÕES E CUBESATS

Rev.: 30/07/20

PARTE A

ITEM	LANÇAMENTO (DD/MM/AA)	NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO	DESENVOLVEDOR	PAÍS	ARQUITETURA & MISSÃO	TM	CS	VOL
1	21/02/06	CUTE 1.7	Tokyo Institute of Technology	Japan			CubS	2U
2	09/12/06	RAFT (NO 60)	US Naval Academy	US			CubS	1U
3	09/12/06	MARSCOM	US Naval Academy	US			CubS	1U
4	13/09/12	SMDC ONE 2.1	MilTec	US			CubS	3U
5	13/09/12	Aeneas	University of Southern California	US			CubS	3U
6	13/09/12	SMDC ONE 2.2	MilTec	US			CubS	3U
7	26/04/13	TURKSAT 3USAT	Istanbul Technical University	Turkey			CubS	3U
8	20/11/13	Ho'oponopono-2	University of Hawaii	US			CubS	3U
9	21/11/13	ZACUBE 1	Cape Peninsula University of Technology	South Africa			CubS	1U
10	21/11/13	Triton 1	ISIS-BV	Netherlands			CubS	3U
11	21/11/13	HumSat-D	University of Vigo	Spain			CubS	1U
12	19/08/15	AAUSAT-5	Aalborg University	Denmark			CubS	1U
13	19/09/15	DCBB (CAS 3G)	Shenzhen Aerospace Dongfanghong HIT Satellite Ltd.	China			CubS	2U
14	08/10/15	Fox 1A (AO-85)	AMSAT	US			CubS	1U
15	08/10/15	SNAP-3 ALICE	SMDC	US			CubS	3U
15	08/10/15	SNAP-3 EDDIE	SMDC	US			CubS	3U
17	08/10/15	SNAP-3 JIMI	SMDC	US			CubS	3U
18	16/12/15	VELOX II	Nanyang Technological University	Singapore			CubS	6U
19	28/12/16	BY70-1	CAST	China			CubS	2U
20	18/04/17	SHARC	AFRL	US			CubS	5U

ITEM	LANÇAMENTO (DD/MM/AA)	NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO	DESENVOLVEDOR	PAÍS	ARQUITETURA & MISSÃO	TM	CS	VOL
21	18/04/17	Biarri-Point	Boeing	Australia, Canada, US, UK			CubS	3U
22	14/06/17	TNS 0-2	Southwestern State University	Russia			CubS	3U
23	23/06/17	Red Diamond	GOMSpace	UK, Israel, Australia			CubS	3U
24	23/06/17	Blue Diamond	GOMSpace	UK, Israel, Australia			CubS	3U
25	23/06/17	Green Diamon	GOMSpace	UK, Israel, Australia			CubS	3U
26	26/08/17	DHFR (DARPA High Frequency Receiver Experiment)	DARPA	US			CubS	3U
27	12/11/17	CHEFSat (Cost-effective High E- Frequency Satellite)	NRL	US			CubS	3U
28	12/11/17	Lemur-2 50 Yonglin	Spire	US			CubS	3U
29	12/11/17	Lemur-2 51 Kevin	Spire	US			CubS	3U
30	12/11/17	Lemur-2 52 BrianDavie	Spire	US			CubS	3U
31	12/11/17	Lemur-2 53 Romacoste	Spire	US			CubS	3U
32	12/11/17	Lemur-2 54 RocketJonah	Spire	US			CubS	3U
33	12/11/17	Lemur-2 55 Liu-Poh-Chun	Spire	US			CubS	3U
34	12/11/17	Lemur-2 56 McGullagh	Spire	US			CubS	3U
35	12/11/17	Lemur-2 57 Dunlop	Spire	US			CubS	3U
36	28/11/17	Lemur-2 58 McGarvey	Spire	US			CubS	3U
37	28/11/17	Lemur-2 59 BenYeoh	Spire	US			CubS	3U
38	28/11/17	Lemur-2 60 Harvey	Spire	US			CubS	3U
39	28/11/17	Lemur-2 61 Matthew	Spire	US			CubS	3U
40	28/11/17	Lemur-2 62 Maximillie	Spire	US			CubS	3U
41	28/11/17	Lemur-2 63 Smilie-Face	Spire	US			CubS	3U
42	28/11/17	Lemur-2 64 NRE-Metts	Spire	US			CubS	3U
43	28/11/17	Lemur-2 65 CylonRaider	Spire	US			CubS	3U
44	28/11/17	Lemur-2 66 Ector	Spire	US			CubS	3U

ITEM	LANÇAMENTO (DD/MM/AA)	NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO	DESENVOLVEDOR	PAÍS	ARQUITETURA & MISSÃO	TM	CS	VOL
45	28/11/17	Lemur-2 67 Craig	Spire	US			CubS	3U
46	12/01/18	Lemur-2 68 PeterWebster	Spire	US			CubS	3U
47	12/01/18	Lemur-2 69 DaveWilson	Spire	US			CubS	3U
48	12/01/18	Lemur-2 70 McCafferty	Spire	US			CubS	3U
49	12/01/18	Lemur-2 71 BrownCow	Spire	US			CubS	3U
50	12/01/18	DemoSat 2	Astranis	US			CubS	3U
51	19/01/18	Kepler-1 KIPP	Kepler Communications	Canada		1	CubS	3U
52	21/01/18	Lemur-2 72 Tallhamn-ATC	Spire	US			CubS	3U
53	21/01/18	Lemur-2 73 Marshall	Spire	US			CubS	3U
54	01/02/18	Lemur-2 74 Kadi	Spire	US			CubS	3U
55	01/02/18	Lemur-2 75 TheNickMolo	Spire	US			CubS	3U
56	01/02/18	Lemur-2 76 Jin-Luen	Spire	US			CubS	3U
57	01/02/18	Lemur-2 77 UramChanSol	Spire	US			CubS	3U
58	21/05/18	Radix	Analytical Space	US			CubS	6U
59	21/05/18	Lemur-2 78	Spire	US			CubS	3U
60	21/05/18	Lemur-2 79	Spire	US			CubS	3U
61	21/05/18	Lemur-2 80	Spire	US			CubS	3U
62	21/05/18	Lemur-2 81	Spire	US			CubS	3U
63	29/10/18	Tianqi 1 (Tiange 1)	Guodian Gaoke	China			CubS	6U
64	11/11/18	Lemur-2 82 Zupanski	Spire	US			CubS	3U
65	11/11/18	Lemur-2 83 Chausiak	Spire	US			CubS	3U
66	11/11/18	Proxima 1	Fleet Space	Australia			CubS	1.5U
67	11/11/18	Proxima 2	Fleet Space	Australia			CubS	1.5U
68	17/11/18	CHEFSat 2 (Cost-effective High E-Frequency Satellite)	US Naval Research Laboratory	US			CubS	3U
69	29/11/18	Centauri II	Fleet Space	Australia			CubS	3U
70	29/11/18	Hiber One (Hiber 1)	Hiber Global (Magnitude Space)	Netherlands			CubS	6U
71	29/11/18	Kepler-2 CASE	Kepler Communications	US		1	CubS	3U

ITEM	LANÇAMENTO (DD/MM/AA)	NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO	DESENVOLVEDOR	PAÍS	ARQUITETURA & MISSÃO	TM	CS	VOL
72	29/11/18	Lemur-2 84 Orzulak	Spire	US			CubS	3U
73	29/11/18	Lemur-2 85 Vladimir	Spire	US			CubS	3U
74	29/11/18	Lemur-2 86 Kobyszcze	Spire	US			CubS	3U
75	29/11/18	Lemur-2 87 Duly	Spire	US			CubS	3U
76	03/12/18	Audacy Zero	Clyde Space/Audacy	US			CubS	3U
77	03/12/18	Fox-1C (Fox 1Cliff)	AMSAT, Vanderbilt University, Virginia Tech	US			CubS	1U
78	03/12/18	KNACKSAT	King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB)	Thailand			CubS	1U
79	03/12/18	Hiber Two (Hiber 2)	Hiber Global (Magnitude Space)	Netherlands			CubS	6U
80	03/12/18	Centauri 1	Fleet Space	Australia			CubS	3U
81	03/12/18	SpaceBEE 5	Swarm technologies	US			CubS	1U
82	03/12/18	SpaceBEE 6	Swarm technologies	US			CubS	1U
83	03/12/18	SpaceBEE 7	Swarm technologies	US			CubS	1U
84	03/12/18	Astrocast 0.1	Astrocast AS	Switzerland			CubS	3U
85	03/12/18	BRIO	SpaceQuest, Myriota	US			CubS	3U
86	03/12/18	Exseed Sat 1	Exseed Space	India			CubS	1U
87	03/12/18	ICE-Cap	US Navy PEO Space System	US			CubS	3U
88	03/12/18	Polar Scout A	United States Cost Guard/Department of Homeland Security	US			CubS	6U
89	03/12/18	Polar Scout B	United States Cost Guard/Department of Homeland Security	US			CubS	6U
90	27/12/18	Lemur-2 88 (Remy-Colton)	Spire	US			CubS	3U
91	27/12/18	Lemur-2 89 (Gustavo)	Spire	US			CubS	3U
92	27/12/18	Lemur-2 90 (Christina Holt)	Spire	US			CubS	3U
93	27/12/18	Lemur-2 91 (Zo)	Spire	US			CubS	3U

ITEM	LANÇAMENTO (DD/MM/AA)	NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO	DESENVOLVEDOR	PAÍS	ARQUITETURA & MISSÃO	TM	CS	VOL
94	27/12/18	Lemur-2 92 (Tinykev)	Spire	US			CubS	3U
95	27/12/18	Lemur-2 93 (Sarah Betty Boo)	Spire	US			CubS	3U
96	27/12/18	Lemur-2 94 (Natalie Murray)	Spire	US			CubS	3U
97	27/12/18	Lemur-2 95 (Daisy-Harper)	Spire	US			CubS	3U
98	27/12/18	ZACUBE 2	Cape Peninsula University of Technology	South Africa			CubS	3U
99	24/01/19	Kalamsat v2	SpaceKidz	India			CubS	1U
100	01/04/19	Lemur-2 96 Johan Loran	Spire	US			CubS	3U
101	01/04/19	Lemur-2 97 Beaudacious	Spire	US			CubS	3U
102	01/04/19	Lemur-2 98 Elham	Spire	US			CubS	3U
103	01/04/19	Lemur-2 99 Victor Andrew	Spire	US			CubS	3U
104	01/04/19	Astrocast 0.2	Astrocast AS	Switzerland			CubS	3U
105	05/06/19	Tianqi 3	Guodian Gaoke	China			CubS	6U
106	05/07/19	Lemur-2 100	Spire	US			CubS	3U
107	05/07/19	Lemur-2 101	Spire	US			CubS	3U
108	05/07/19	Lemur-2 102	Spire	US			CubS	3U
109	05/07/19	Lemur-2 103	Spire	US			CubS	3U
110	05/07/19	Lemur-2 104	Spire	US			CubS	3U
111	05/07/19	Lemur-2 105	Spire	US			CubS	3U
112	05/07/19	Lemur-2 106	Spire	US			CubS	3U
113	05/07/19	Lemur-2 107	Spire	US			CubS	3U
114	05/07/19	JAISAT 1	RAIST	Thailand			CubS	3U
115	17/08/19	Tianqi 2	Guodian Gaoke	China			CubS	6U
116	07/12/19	Tianqi 4 ^a	Guodian Gaoke	China			CubS	6U
117	07/12/19	Tianqi 4B	Guodian Gaoke	China			CubS	6U
118	11/12/19	Lemur-2 108 (Pappy)	Spire	US			CubS	3U
119	11/12/19	Lemur-2 109 (HiMomAndDad)	Spire	US			CubS	3U
120	11/12/19	Lemur-2 110 (JPGSquared)	Spire	US			CubS	3U
121	11/12/19	Lemur-2 111 (Theodosia)	Spire	US			CubS	3U

ITEM	LANÇAMENTO (DD/MM/AA)	NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO	DESENVOLVEDOR	PAÍS	ARQUITETURA & MISSÃO	TM	CS	VOL
122	18/12/19	ANGELS (Argos Neo on a Generic Economical and Light Satellite)	CNES	France			CubS	12U
123	18/12/19	Eye-Sat	CNES	France			CubS	3U
124	20/12/19	FloripaSat 1	Federal University of Santa Catarina	Brazil		9	CubS	1U
125		Kepler 3 - TARS	Kepler Communications	Canada	Satélite em órbita polar, altitude 575 km (TBC). Continuação do programa de demonstração da comunicação P2P em banda Ku, sistema Store-and-Forward, dos dois satélites anteriores e introdução de comunicação bidirecional em banda S para usuários IoT e M2M.	1	CubS	6U
126	31/12/20	Kepler - Gen 1 Satellites	Kepler Communications	Canada	Grupo inicial de 15 satélites em órbitas polares, altitude 575 km (TBC). Comunicação P2P em banda Ku no modo Store-and-Forward; comunicação duplex em banda S para dispositivos IoT e M2M.	1	CubS	6U
127	30/06/22	Kepler - Gen 2 Satellites	Kepler Communications	Canada	Grupo adicional de 35 satélites em órbitas polares, altitude 575 km (TBC). Comunicação P2P em banda Ku no modo Store-and-Forward; comunicação duplex em banda S para dispositivos IoT, M2M e usuários móveis. Latência < 1 h.	1	CubS	6U
128	30/06/23	Kepler - Gen 3 Satellites	Kepler Communications	Canada	Grupo adicional final de 90 satélites, completando 140 satélites em órbitas polares, altitude 575 km (TBC). Comunicação P2P em banda Ku no modo Store-and-Forward; comunicação duplex em banda S para dispositivos IoT, M2M e usuários móveis. Acesso em tempo real aos satélites, comunicação em tempo real. Disponibilizados enlaces em banda Ka para oferta de serviço de comunicação entre satélites.	1	CubS	6U

ITEM	LANÇAMENTO (DD/MM/AA)	NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO	DESENVOLVEDOR	PAÍS	ARQUITETURA & MISSÃO	TM	CS	VOL
129	31/12/22	Telesat LEO	Telesat	Canada	Constelação com aproximadamente 300 satélites em órbitas LEO híbridas, polares e inclinadas (inovação para maior cobertura). Conectividade com taxa de dados na faixa de Gbps e capacidade de transporte de dados na faixa de Tbps, cobertura global, disponibilidade 24 h. Também pode atuar como suporte à infraestrutura de comunicações movel terrestre (3G/4G/5G) (backhaul). Vários gateways distribuídos globalmente.	1		
130	30/06/21	GEMS - Global Environmental Monitoring System	Orbital Micro Systems		Constelação com 16 satélites para observação radiométrica da Terra gerando dados para previsões meteorológicas e afins.	9	CubS	6U
131		Space Loop	Orbitare AG / Orbitare Luxemburgo AS	Suíça/Luxemburgo	Space Loop will be the first commercial personal satellite communication system in Low Earth Orbit developed and built in Europe.	1		
132		Project Kuiper	Amazon	US	Constelação 3236 satélites, fornecimento de acesso a Internet	3	PMS	
133		Space Union			Constelação com 32 satélites para retransmissão de dados a taxas altas.	3	PMS	
134		MARIOT	Sternula e consórcio de instituições	Dinamarca	Maritime IoT using small satellites	3	PMS	
135	31/12/22	KINEIS	Thales Alenia Space	França	Constelação de 25 nanosatélites para fornecimento de IoT, M2M globalmente	1	NanS	
136	31/12/21	Alya Nanosatellites Constelation	SpicSpace	Brasil	Constelação para observação da terra com imagens diárias e transmissão de dados (IoT, M2M) de qualquer parte do território brasileiro	1	CubS	6U
137		Constelação Omnispace	Omnispace	US	Fornecimento de conectividade IoT, M2M, 5G	1	CubS	6U
138		Constelação OneWeb	OneWeb e consórcio de empresas	US/UK	Constelação de 648 satélites, 74 já lançados, para fornecimento de acesso a Internet globalmente	3	PMS	

ITEM	LANÇAMENTO (DD/MM/AA)	NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO	DESENVOLVEDOR	PAÍS	ARQUITETURA & MISSÃO	TM	CS	VOL
139		Constelação NSL Comm	NSL Comm	Israel	Constelação de 80 cubesats, 1 lançado, para fornecimento global de Internet, IoT, M2M com taxa de até 1 Gbps	1	CubS	6U
140		Constelação KLEO	Kleo Connect	Alemanha	Constelação com 300 satélites, 2 já lançados, órbita quase polar, altitude 1100 km, 12 planos orbitais, com enlace óptico entre satélites e enlace de descida na banda Ka. Fornecimento de conectividade IoT	3	PMS	

MISSÕES ESPACIAIS COM SATÉLITES DE PEQUENO PORTE - ÊNFASE EM COMUNICAÇÕES E CUBESATS

Rev.: 14/08/20

PARTE B

ITEM	NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO	MASSA (kg)	POTENCIA (W)	V. UTIL (Anos)	BANDA	TECNOLOGIA DA ANTENA	TECNOLOGIA DO RX / TX / TRX	TECNOLOGIA OUTROS EQUIPS. RELEVANTES
1	CUTE 1.7							
2	RAFT (NO 60)							
3	MARSCOM							
4	SMDC ONE 2.1							
5	Aeneas							
6	SMDC ONE 2.2							
7	TURKSAT 3USAT							
8	Ho'oponopono-2							
9	ZACUBE 1							
10	Triton 1							
11	HumSat-D							
12	AAUSAT-5							
13	DCBB (CAS 3G)							

ITEM	NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO	MASSA (kg)	POTENCIA (W)	V. UTIL (Anos)	BANDA	TECNOLOGIA DA ANTENA	TECNOLOGIA DO RX / TX / TRX	TECNOLOGIA OUTROS EQUIPS. RELEVANTES
14	Fox 1A (AO-85)							
15	SNAP-3 ALICE							
15	SNAP-3 EDDIE							
17	SNAP-3 JIMI							
18	VELOX II							
19	BY70-1							
20	SHARC							
21	Biarri-Point							
22	TNS 0-2							
23	Red Diamond	10			S		Usou, aparentemente, rádio SDR em banda S da GOMSpace (baseado em fotos do rádio GOMSpace e vídeo da montagem do satélite no site da SAS).	
24	Blue Diamond	10			S		Usou, aparentemente, rádio SDR em banda S da GOMSpace (baseado em fotos do rádio GOMSpace e vídeo da montagem do satélite no site da SAS).	
25	Green Diamon	10			S		Usou, aparentemente, rádio SDR em banda S da GOMSpace (baseado em fotos do rádio GOMSpace e vídeo da montagem do satélite no site da SAS).	
26	DHFR (DARPA High Frequency Receiver Experiment)							

ITEM	NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO	MASSA (kg)	POTENCIA (W)	V. UTIL (Anos)	BANDA	TECNOLOGIA DA ANTENA	TECNOLOGIA DO RX / TX / TRX	TECNOLOGIA OUTROS EQUIPS. RELEVANTES
27	CHEFSat (Cost-effective High E-Frequency Satellite)							
28	Lemur-2 50 Yonglin							
29	Lemur-2 51 Kevin							
30	Lemur-2 52 BrianDavie							
31	Lemur-2 53 Romacoste							
32	Lemur-2 54 RocketJonah							
33	Lemur-2 55 Liu-Poh-Chun							
34	Lemur-2 56 McGullagh							
35	Lemur-2 57 Dunlop							
36	Lemur-2 58 McGarvey							
37	Lemur-2 59 BenYeoh							
38	Lemur-2 60 Harvey							
39	Lemur-2 61 Matthew							
40	Lemur-2 62 Maximillie							
41	Lemur-2 63 Smilie-Face							
42	Lemur-2 64 NRE-Metts							
43	Lemur-2 65 CylonRaider							
44	Lemur-2 66 Ector							
45	Lemur-2 67 Craig							
46	Lemur-2 68 PeterWebster							
47	Lemur-2 69 DaveWilson							
48	Lemur-2 70 McCafferty							
49	Lemur-2 71 BrownCow							
50	DemoSat 2							
51	Kepler-1 KIPP				Ku	Rede de antenas microstrip	Transponder Ku em SDR	
52	Lemur-2 72 Tallhamn-ATC							
53	Lemur-2 73 Marshall							
54	Lemur-2 74 Kadi							

ITEM	NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO	MASSA (kg)	POTENCIA (W)	V. UTIL (Anos)	BANDA	TECNOLOGIA DA ANTENA	TECNOLOGIA DO RX / TX / TRX	TECNOLOGIA OUTROS EQUIPS. RELEVANTES
55	Lemur-2 75 TheNickMolo							
56	Lemur-2 76 Jin-Luen							
57	Lemur-2 77 UramChanSol							
58	Radix							
59	Lemur-2 78							
60	Lemur-2 79							
61	Lemur-2 80							
62	Lemur-2 81							
63	Tianqi 1 (Tiange 1)							
64	Lemur-2 82 Zupanski							
65	Lemur-2 83 Chanusiak							
66	Proxima 1							
67	Proxima 2							
68	CHEFSat 2 (Cost-effective High E-Frequency Satellite)							
69	Centauri II							
70	Hiber One (Hiber 1)							
71	Kepler-2 CASE				Ku	Rede de antenas <i>microstrip</i>	Transponder Ku em SDR	
72	Lemur-2 84 Orzulak							
73	Lemur-2 85 Vladimir							
74	Lemur-2 86 Kobyszcze							
75	Lemur-2 87 Duly							
76	Audacy Zero							
77	Fox-1C (Fox 1Cliff)							

ITEM	NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO	MASSA (kg)	POTENCIA (W)	V. UTIL (Anos)	BANDA	TECNOLOGIA DA ANTENA	TECNOLOGIA DO RX / TX / TRX	TECNOLOGIA OUTROS EQUIPS. RELEVANTES
78	KNACKSAT							
79	Hiber Two (Hiber 2)							
80	Centauri 1							
81	SpaceBEE 5							
82	SpaceBEE 6							
83	SpaceBEE 7							
84	Astrocast 0.1							
85	BRIO							
86	Exseed Sat 1							
87	ICE-Cap							
88	Polar Scout A							
89	Polar Scout B							
90	Lemur-2 88 (Remy-Colton)							
91	Lemur-2 89 (Gustavo)							
92	Lemur-2 90 (Christina Holt)							
93	Lemur-2 91 (Zo)							
94	Lemur-2 92 (Tinykev)							
95	Lemur-2 93 (Sarah Betty Boo)							
96	Lemur-2 94 (Natalie Murray)							
97	Lemur-2 95 (Daisy-Harper)							

ITEM	NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO	MASSA (kg)	POTENCIA (W)	V. UTIL (Anos)	BANDA	TECNOLOGIA DA ANTENA	TECNOLOGIA DO RX / TX / TRX	TECNOLOGIA OUTROS EQUIPS. RELEVANTES
98	ZACUBE 2							
99	Kalamsat v2							
100	Lemur-2 96 Johan Loran							
101	Lemur-2 97 Beaudacious							
102	Lemur-2 98 Elham							
103	Lemur-2 99 Victor Andrew							
104	Astrocast 0.2							
105	Tianqi 3							
106	Lemur-2 100							
107	Lemur-2 101							
108	Lemur-2 102							
109	Lemur-2 103							
110	Lemur-2 104							
111	Lemur-2 105							
112	Lemur-2 106							
113	Lemur-2 107							
114	JAISAT 1							
115	Tianqi 2							
116	Tianqi 4ª							
117	Tianqi 4B							
118	Lemur-2 108 (Pappy)							
119	Lemur-2 109 (HiMomAndDad)							
120	Lemur-2 110 (JPGSquared)							
121	Lemur-2 111 (Theodosia)							
122	ANGELS (Argos Neo on a Generic Economical and Light Satellite)							
123	Eye-Sat							

ITEM	NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO	MASSA (kg)	POTENCIA (W)	V. UTIL (Anos)	BANDA	TECNOLOGIA DA ANTENA	TECNOLOGIA DO RX / TX / TRX	TECNOLOGIA OUTROS EQUIPS. RELEVANTES
124	FloripaSat 1							
125	Kepler 3 - TARS				Ku/S	Redes de antenas <i>microstrip</i> (TBC banda S)	Transponders bandas S e Ku em SDR (TBC em banda S)	
126	Kepler - Gen 1 Satellites				Ku/S	Redes de antenas <i>microstrip</i> (TBC banda S)	Transponders bandas S e Ku em SDR (TBC em banda S)	
127	Kepler - Gen 2 Satellites				Ku/S	Redes de antenas <i>microstrip</i> (TBC banda S)	Transponders bandas S e Ku em SDR (TBC em banda S)	
128	Kepler - Gen 3 Satellites				Ku/S/Ka	<i>Microstrip phased array antenna</i> nas bandas S e Ku.	Transponders bandas S e Ku em SDR (TBC em banda S). Transponder banda Ka TBD.	

ITEM	NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO	MASSA (kg)	POTENCIA (W)	V. UTIL (Anos)	BANDA	TECNOLOGIA DA ANTENA	TECNOLOGIA DO RX / TX / TRX	TECNOLOGIA OUTROS EQUIPS. RELEVANTES
129	Telesat LEO					<i>Phased Array Antennas</i> . Enlace óptico entre satélites.	Processamento digital embarcado para demodulação, modulação, roteamento de dados.	
130	GEMS - Global Environmental Monitoring System				X			
131	Space Loop							
132	Project Kuiper							
133	Space Union							
134	MARIOT							
135	KINEIS							
136	Alya Nanosatellites Constelation							
137	Constelação Omnispace							

ITEM	NOME SATÉLITE / CONSTELAÇÃO	MASSA (kg)	POTENCIA (W)	V. UTIL (Anos)	BANDA	TECNOLOGIA DA ANTENA	TECNOLOGIA DO RX / TX / TRX	TECNOLOGIA OUTROS EQUIPS. RELEVANTES
138	Constelação OneWeb	125						
139	Constelação NSL Comm				Ka			
140	Constelação KLEO				Ka			
141	Constelação SAS	10			S		Satélites de demonstração (itens 23, 24 e 25) usaram aparentemente rádio SDR em banda S da GOMSpace (baseado em fotos do rádio GOMSpace e vídeo da montagem do satélite no site da SAS).	
142	Constelação Beacon				Ku (TBC)			
143	SpaceDust							
144	Athena	150			E			

Tabela 16 Referências bibliográficas da atualização das missões de comunicações de 30/07/20.

ITEM	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
051	RB051-001
071	RB071-001
125	RB125-001
126	RB126-001
127	RB127-001
128	RB128-001
129	RB129-001 a RB129-013
130	RB130-001
131	RB131-001
132	RB000-001
133	RB133-001
134	RB134-001
135	RB135-001
136	RB136-001
137	RB137-001
138	RB000-001
139	RB139-001
140	RB140-001

Apêndice B – Pesquisa de fontes de informações de C&T

O levantamento das fontes de informações científicas e tecnológicas de interesse para a área de sistemas de comunicações utilizando satélites de pequeno porte (SPP) e *cubesats* será registrado em tabela.

A Tabela 17 apresenta os resultados do levantamento até a data de 22/07/20.

Tabela 17. Levantamento das fontes de informações de C&T na área de comunicações com SPP até 30/07/20.

FONTES DE INFO DE C&T - SATÉLITES DE PEQUENO PORTE - ÊNFASE EM NANOSATS E COM

Rev.: 30/07/20

ITEM	FONTE DE INFORMAÇÃO	TIPO	N / I	URL
1	Small Spacecraft Systems Virtual Institute	Site	I	https://s3vi.ndc.nasa.gov/
2	International Telecommunication Union.	Site	I	https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx
3	Cubesat Developers Resources	Site	I	https://www.cubesat.org/resources

Apêndice C – Pesquisa de fontes de informações noticiosas

O levantamento das fontes de informações noticiosas de interesse para a área de sistemas de comunicações utilizando satélites de pequeno porte (SPP) e *cubesats* será registrado em tabela.

A Tabela Ap.C-1 apresenta os resultados do levantamento até a data de 22/07/20.

Tabela 18. Levantamento das fontes noticiosas na área de comunicações com SPP até 30/07/20.

FONTES DE NOTÍCIAS - SATÉLITES DE PEQUENO PORTE - ÊNFASE EM NANOSATS E COMUNICAÇÕES

Rev.: 30/07/20

ITEM	FONTE NOTICIOSA	TIPO	N / I	URL	OBSERVAÇÕES
1	Space Newsfeed	Blog	I	https://www.spacenewsfeed.com/	
2	Spacenews	Blog	I	https://spacenews.com/	
3	Satsearch	Blog	I	https://satsearch.co	
4	SatNews	Blog	I	https://news.satnews.com/	
5	NewSpace Index	Site	I	https://www.newspace.im/	Concise original overview of commercial satellite constellations small satellite rocket launchers and NewSpace funding options.
6	Nanosats Database	Site	I	https://www.nanosats.eu/	Base de dados sobre nanossatélites
7	Factorie in Space	Site	I	https://www.factoriesinspace.com/	Base de dados sobre nanossatélites

Apêndice D – Pesquisa de eventos técnicos e científicos

O levantamento dos eventos técnicos e científicos de interesse para a área de sistemas de comunicações utilizando satélites de pequeno porte (SPP) e *cubesats* será registrado em tabela.

A Tabela 19 apresenta os resultados do levantamento até a data de 22/07/20.

Tabela 19. Levantamento dos eventos técnicos e científicos na área de comunicações com SPP até 30/07/20.

EVENTOS - SATÉLITES DE PEQUENO PORTE - ÊNFASE EM NANOSATS E COMUNICAÇÕES

Rev.: 30/07/20

ITEM	EVENTO	TIPO	N / I	URL	OBSERVAÇÕES
1	CubeSat Developer's Workshop	Workshop	I	https://www.cubesat.org/workshop-information	Evento anual organizado pela ONG CUBESAT
2	IAA Latin American CubeSat Workshop	Workshop	I	https://iaaspace.org/	Evento organizado pela IAA. Quarta edição em 03-06/08/20, plataforma digital.

Apêndice E – Pesquisa de instituições atuantes na área

O levantamento das instituições (empresas, instituições científicas e tecnológicas, órgãos regulamentadores etc.) cuja atuação está relacionada com a área de sistemas de comunicações utilizando satélites de pequeno porte (SPP) e *cubesats* será registrado em tabela.

A Tabela 20 apresenta os resultados do levantamento até a data de 22/07/20.

Tabela 20. Levantamento das instituições atuantes na área de comunicações com SPP até 30/07/20 (cont.)

INSTITUIÇÕES - SATÉLITES DE PEQUENO PORTE - ÊNFASE EM NANOSATS E COMUNICAÇÕES

Rev.: 30/07/20

ITEM	INSTITUIÇÃO	TIPO	N / I	URL	OBSERVAÇÕES
1	CubeSat	ONG	I	https://www.cubesat.org/	Criada pela California Polytechnic State University
2	International Amateur Radio Union - IARU	ONG	I	http://www.iaru.org/	Coordenação de frequências de satélites amadores
3	International Telecommunication Union - ITU	ONG	I	https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx	Coordenação internacional do uso do espectro eletromagnético, órbitas satelitais etc.
4	OneWeb Satellites	Empresa	I	https://onewebsatellites.com/	Fabricante dos satélites da constelação OneWeb
5	OneWeb	Empresa	I	https://www.oneweb.world/	Desenvolvedora da constelação OneWeb
6	Surrey Satellites Technology Ltd.	Empresa	I	https://sstl.co.uk	Sistemas, equipamentos, serviços para SPP
7	Laboratório de Sistemas Espaciais	Univ	N	https://spacelab.ufsc.br/pt/home-pt/	Universidade Federal de Santa Catarina
8	Agencia Espacial Brasileira	Gov	N	https://www.gov.br/aeb/pt-br	Apoia desenvolvimento de CubS
9	Telesat	Empresa	I	https://www.telesat.com/	Desenvolvedora da constelação Telesat LEO
10	Kepler Communications	Empresa	I	https://www.telesat.com/	Desenvolvedora da constelação Kepler
11	AAC Clyde Space	Empresa	I	https://www.aac-clyde.space/	Fabricante de nanosatélites
12	GOMSpace	Empresa	I	https://gomspace.com/home.aspx	Fabricante de nanosatélites e CubS
13	Orbital Micro Systems	Empresa	I	https://www.orbitalmicro.com/	Desenvolvedora da constelação GEMS
14	Myriota	Empresa	I	https://myriota.com	Possui frota de nanosatélites para IoT
15	NanoAvionics	Empresa	I	https://nanoavionics.com/	Fabricante de nanosatélites
16	Pumpkin, Inc.	Empresa	I	https://www.pumpkinspace.com/	Fabricante de nanosatélites
17	Stras Space	Empresa	I	http://www.stras-space.com/	Serviços e componentes
18	Princeton Satellite Systems	Empresa	I	http://www.psatellite.com/	Software de controle
19	Space Micro	Empresa	I	https://www.spacemicro.com/	Equipamentos TT&C, antenas, outros
20	Blue Canyon Technologies	Empresa	I	https://www.bluecanyontech.com/	Fornecedora de componentes e plataforma
21	Berlin Space Technologies	Empresa	I	https://www.berlin-space-tech.com/	Sistemas, equipamentos, serviços para SPP

ITEM	INSTITUIÇÃO	TIPO	N / I	URL	OBSERVAÇÕES
22	Tethers Unlimited, Inc.	Empresa	I	https://www.tethers.com/about/	Sistemas, equipamentos, serviços para SPP
23	Astronautical Development LLC	Empresa	I	http://www.astrodev.com/	Módulos eletrônicos para nanossatélites
24	CU Aerospace	Empresa	I	http://www.cuaerospace.com/Home	Sistemas de propulsão para CubS e NanS
25	IQ Wireless GmbH / IQ Spacecom	Empresa	I	https://www.iq-spacecom.com/	Transmissores e antenas
26	Helical Communication Technologies Inc	Empresa	I	https://www.helicomtech.com/	Antenas helicoidais e especiais
27	Innoflight	Empresa	I	https://www.innoflight.com/	Transponder Banda-S
28	DHV Technology	Empresa	I	https://dhvtechnology.com/	Painéis solares
29	Enpulsion Inc.	Empresa	I	https://www.enpulsion.com/	Propulsão elétrica
30	NewSpace Systems	Empresa	I	http://www.newspacesystems.com/	Subsistemas de determinação e controle de atitude
31	Flexitech Aerospace	Empresa	I	https://flexitechaerospace.com/	Subsistemas de comunicação
32	SatRevolution S.A.	Empresa	I	https://satrevolution.com/	Serviços e componentes
33	Alter Technology	Empresa	I	https://www.altertechnology-group.com/	Serviços de engenharia, <i>procurement</i> , testes
34	Spacemanic	Empresa	I	https://spacemanic.com/	Subsistemas e componentes para CubS e NanS
35	Open Cosmos	Empresa	I	https://www.open-cosmos.com/	Desenvolvedora de missões e fabricante de NanS
36	ISIS - Innovative Solution in Space	Empresa	I	https://www.isispace.nl/	Missões <i>turn-key</i> , subsistemas, componentes
37	Tyvak	Empresa	I	https://www.tyvak.com/	Serviços para missões satelitais
38	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	ICT	N	http://www.inpe.br/	INPE apoia missões com CubS e NanS
39	AEL Sistemas	Empresa	N	http://www.ael.com.br/	Engenharia e fabricação subsistemas
40	Akaer	Empresa	N	http://www.akaer.com.br/	Possui a divisão Opto com produtos para espaço
41	CENIC	Empresa	N	http://www.cenic.biz/	Engenharia e fabricação subsistemas
42	CRON Sistemas e Tecnologia Ltda.	Empresa	N	https://cronsistec.com.br/	Missões <i>turn-key</i> com CubS e NanS
43	EMSISTI Sistemas Aeroespaciais e Tecnologia	Empresa	N	http://emsisti.com.br/	Engenharia de sistemas para CubS e NanS
44	Equatorial Sistemas Ltda.	Empresa	N	http://www.equatorialsistemas.com.br/	Fornecimento de sistemas espaciais
45	Fibraforte EIC Ltda.	Empresa	N	http://www.fibraforte.com.br/	Engenharia e fabricação de subsistemas
46	Geotronic Engenharia Ltda.	Empresa	N	(12) 3922-8008	Serviços de engenharia
47	Neuron Eletrônica	Empresa	N	(12) 99739-3056	Engenharia e fabricação de subsistemas
48	Omnisys Engenharia Ltda.	Empresa	N	https://www.omnisys.com.br/	Engenharia e fabricação subsistemas
49	Orbital Engenharia S.A.	Empresa	N	http://orbitalengenharia.com.br/	Engenharia e fabricação subsistemas, painéis solares

ITEM	INSTITUIÇÃO	TIPO	N / I	URL	OBSERVAÇÕES
50	Visiona Tecnologia Espacial	Empresa	N	http://www.visionaespaial.com.br/	Integradora de sistemas espaciais, desenvolvendo CubS de sensoriamento remoto e coleta de dados
51	Associação das Industrias Aeroespaciais do Brasil	ONG	N	http://www.aiab.org.br/default.asp	Entidade representativa das empresas do setor aeroespacial
52	Associação Aeroespacial Brasileira	ONG	N	http://aeroespacial.org.br/	Congrega pessoas físicas e jurídicas com interesse na promoção e no desenvolvimento da Engenharia, Ciência e Tecnologia Aeroespaciais
53	CCISE - Comissão de Coordenação e Implantação de Sistemas Espaciais	Gov	N	https://www2.fab.mil.br/ccise/	Órgão da Aeronáutica que gerencia o PESE - Programa Estratégico de Sistemas Espaciais

Apêndice F – Pesquisa da capacidade nacional

O levantamento das organizações nacionais com potencial para participação de missões de comunicações com *cubesats* ou satélites de pequeno porte, e suas respectivas capacidades, conforme discutido na seção 3, será registrado em uma tabela cujo conjunto de colunas ocupa seis páginas (PARTE A a PARTE F). A descrição dessas colunas, bem como as regras observadas no preenchimento da tabela, é apresentada a seguir.

A **PARTE A** tem as seguintes colunas:

Coluna 1: **ITEM** – Número sequencial que indica a ordem temporal de registro do conjunto de dados na tabela;

Coluna 2: **ORGANIZAÇÃO** – Nome da organização cujas capacidades são avaliadas na tabela;

Coluna 3: **TIPO** – Indica o tipo de organização: empresa, órgão do governo, fundação etc.;

Coluna 4: **CIDADE** – Cidade onde está localizada a organização da coluna 2;

Coluna 5: **UF** – Estado onde está localizada a organização da coluna 2;

Coluna 6 a Coluna 11: **EXPERIÊNCIA AEROESPACIAL** – Registro da experiência aeroespacial da organização conforme os registros das Colunas 6 a 11 descritos a seguir:

Coluna 6: **CubS** – Preenchida com **S** (Sim) se a organização tem experiência com *cubesats* ou **N** (Não) no caso contrário;

Coluna 7: **NanS / MicS** – Preenchida com **S** (Sim) se a organização tem experiência com Nanossatélites / Microssatélites ou **N** (Não) no caso contrário;

Coluna 8: **PMS** – Preenchida com **S** (Sim) se a organização tem experiência com Pequeno / Médio Satélite ou **N** (Não) no caso contrário;

Coluna 9: **SGP** – Preenchida com **S** (Sim) se a organização tem experiência com Satélite de Grande Porte ou **N** (Não) no caso contrário;

Coluna 10: **AERO** – Preenchida com **S** (Sim) se a organização tem experiência Aeroespacial ou **N** (Não) no caso contrário (considerar experiência com Foguetes, Foguetes Sonda e Aviões);

Coluna 11: **COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES** – Texto aberto relatando a experiência nas áreas marcadas com **S** nas Colunas 6 a 10. Iniciar a frase com o nome da coluna para facilitar a correlação do texto e área. No caso AERO incluir na frase o termo “Foguete”, “Sonda” ou “Avião” para facilitar a correlação do texto e a área específica.

A **PARTE B** possui as seguintes colunas:

Coluna 1: **ITEM** – Cópia da coluna 1 da PARTE A (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 2: **ORGANIZAÇÃO** – Cópia da coluna 2 da PARTE A (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 3 a Coluna 8: **EXPERIÊNCIA SEGMENTO SOLO** – Registro da experiência da organização com o segmento solo conforme os registros das Colunas 3 a 8 descritos a seguir:

Coluna 3: **USU** – Preenchida com **S** (Sim) se a organização tem experiência com o Segmento de Usuários ou **N** (Não) no caso contrário;

Coluna 4: **CM** – Preenchida com **S** (Sim) se a organização tem experiência com o Segmento Controle de Missão ou **N** (Não) no caso contrário;

Coluna 5: **COCU** – Preenchida com **S** (Sim) se a organização tem experiência com o Segmento Controle de Operação da Carga Útil ou **N** (Não) no caso contrário;

Coluna 6: **COS** – Preenchida com **S** (Sim) se a organização tem experiência com o Segmento Controle de Operação do Satélite ou **N** (Não) no caso contrário;

Coluna 7: R. PÚBLICA – Preenchida com **S** (Sim) se a organização tem experiência com o uso da Rede Pública de comunicações como parte do Segmento Solo ou **N** (Não) no caso contrário;

Coluna 8: COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES – Texto aberto relatando a experiência nas áreas marcadas com **S** nas Colunas 3 a 7. Iniciar a frase com o nome da coluna para facilitar a correlação do texto e área.

Coluna 9 a Coluna 11: **CAPACIDADES / FERRAMENTAS / INFRA** – Avaliação das capacidades, disponibilidade de ferramentas e de infraestrutura conforme os registros das Colunas 9 a 11 descritos a seguir:

Coluna 9 a Coluna 10: **01** a **02** – Preenchidas com **S** (Sim), **P** (Parcial), **N** (Não), **X** (Avaliação Incompleta) se a organização tem a capacidade ou disponibiliza a ferramenta ou infraestrutura nesses graus (ver a Tabela 3-1 para a descrição dos códigos numéricos e a Tabela 3-2 para os graus de avaliação). O campo será deixado sem preenchimento (em branco) se o item não tiver sido avaliado;

Coluna 11: COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES – Texto aberto explicando / comentando a avaliação, principalmente no caso desta ter sido marcada como parcial (P). Iniciar a frase com o número que serve como nome da coluna para facilitar a correlação do texto e a capacidade / ferramenta / infraestrutura.

A **PARTE C** possui as seguintes colunas:

Coluna 1: **ITEM** – Cópia da coluna 1 da PARTE A (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 2: ORGANIZAÇÃO – Cópia da coluna 2 da PARTE A (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 3 a Coluna 16: **CAPACIDADES / FERRAMENTAS / INFRA** – Avaliação das capacidades, disponibilidade de ferramentas e de infraestrutura conforme os registros das Colunas 3 a 16 descritos a seguir:

Coluna 3 a Coluna 15: **03 a 15** – Preenchidas com **S** (Sim), **P** (Parcial), **N** (Não), **X** (Avaliação Incompleta) se a organização tem a capacidade ou disponibiliza a ferramenta ou infraestrutura nesses graus (ver a Tabela 3-1 para a descrição dos códigos numéricos e a Tabela 3-2 para os graus de avaliação). O campo será deixado sem preenchimento (em branco) se o item não tiver sido avaliado;

Coluna 16: **COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES** – Texto aberto explicando / comentando a avaliação, principalmente no caso desta ter sido marcada como parcial (P). Iniciar a frase com o número que serve como nome da coluna para facilitar a correlação do texto e a capacidade / ferramenta / infraestrutura.

A **PARTE D** possui as seguintes colunas:

Coluna 1: **ITEM** – Cópia da coluna 1 da PARTE A (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 2: **ORGANIZAÇÃO** – Cópia da coluna 2 da PARTE A (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 3 a Coluna 16: **CAPACIDADES / FERRAMENTAS / INFRA** – Avaliação das capacidades, disponibilidade de ferramentas e de infraestrutura conforme os registros das Colunas 3 a 16 descritos a seguir:

Coluna 3 a Coluna 15: **16 a 28** – Preenchidas com **S** (Sim), **P** (Parcial), **N** (Não), **X** (Avaliação Incompleta) se a organização tem a capacidade ou disponibiliza a ferramenta ou infraestrutura nesses graus (ver a Tabela 3-1 para a descrição dos códigos numéricos e a Tabela 3-2 para os graus de avaliação). O campo será deixado sem preenchimento (em branco) se o item não tiver sido avaliado;

Coluna 16: **COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES** – Texto aberto explicando / comentando a avaliação, principalmente no caso desta ter sido marcada como parcial (P). Iniciar a frase com o número que serve como nome da coluna para facilitar a correlação do texto e a capacidade / ferramenta / infraestrutura.

A **PARTE E** possui as seguintes colunas:

Coluna 1: **ITEM** – Cópia da coluna 1 da PARTE A (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 2: ORGANIZAÇÃO – Cópia da coluna 2 da PARTE A (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 3 a Coluna 16: **CAPACIDADES / FERRAMENTAS / INFRA** – Avaliação das capacidades, disponibilidade de ferramentas e de infraestrutura conforme os registros das Colunas 3 a 16 descritos a seguir:

Coluna 3 a Coluna 15: **29 a 41** – Preenchidas com **S** (Sim), **P** (Parcial), **N** (Não), **X** (Avaliação Incompleta) se a organização tem a capacidade ou disponibiliza a ferramenta ou infraestrutura nesses graus (ver a Tabela 3-1 para a descrição dos códigos numéricos e a Tabela 3-2 para os graus de avaliação). O campo será deixado sem preenchimento (em branco) se o item não tiver sido avaliado;

Coluna 16: **COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES** – Texto aberto explicando / comentando a avaliação, principalmente no caso desta ter sido marcada como parcial (P). Iniciar a frase com o número que serve como nome da coluna para facilitar a correlação do texto e a capacidade / ferramenta / infraestrutura.

A **PARTE F** possui as seguintes colunas:

Coluna 1: **ITEM** – Cópia da coluna 1 da PARTE A (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 2: ORGANIZAÇÃO – Cópia da coluna 2 da PARTE A (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 3 a Coluna 16: **CAPACIDADES / FERRAMENTAS / INFRA** – Avaliação das capacidades, disponibilidade de ferramentas e de infraestrutura conforme os registros das Colunas 3 a 16 descritos a seguir:

Coluna 3 a Coluna 13: **42 a 52** – Preenchidas com **S** (Sim), **P** (Parcial), **N** (Não), **X** (Avaliação Incompleta) se a organização tem a capacidade ou disponibiliza a ferramenta ou infraestrutura nesses graus (ver a Tabela 3-1 para a descrição dos códigos numéricos e a Tabela 3-2 para os graus de avaliação). O campo será deixado sem preenchimento (em branco) se o item não tiver sido avaliado;

Coluna 14 a Coluna 15: N

Coluna 16: COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES – Texto aberto explicando / comentando a avaliação, principalmente no caso desta ter sido marcada como parcial (P). Iniciar a frase com o número que serve como nome da coluna para facilitar a correlação do texto e a capacidade / ferramenta / infraestrutura.

A

Tabela 21 apresenta os resultados do levantamento até 31/08/20 (a data da revisão da tabela é indicada no canto superior esquerdo das páginas 1 a 6).

Tabela 21. Levantamento das capacidades das organizações nacionais para missões de comunicações com SPP até 31/08/20.

CAPACIDADE NACIONAL - MISSÕES COM SATÉLITES DE PEQUENO PORTE - ÊNFASE EM COMUNICAÇÕES E CUBESATS

Rev.: 31/08/2020

PARTE A

ITEM	ORGANIZAÇÃO	TIPO	CIDADE	UF	EXPERIÊNCIA AEROESPACIAL					
					CubS	NanS / MicS	PMS	SGP	AERO	COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES
1	AEL Sistemas	Empresa	Porto Alegre	RS	N	S		S	S	NanS - possui plataforma MMM para missões militares;
2	Beta Telecom	Empresa	São José dos Campos	SP	N	N	N	S		CBERS 3 & 4
3	CENIC Eng. Ind. Comércio	Empresa	São José dos Campos	SP	N	N		S	S	CBERS 3 & 4
4	EMSISTI Sistemas	Empresa	São José dos Campos	SP		S				Testes ambientais
5	Equatorial Sistemas	Empresa	São José dos Campos	SP				S		CBERS 1 & 2, CBERS 3 & 4, PMM
6	Fibraforte EIC Ltda.	Empresa	São José dos Campos	SP	N	N	S	S	S	CBERS 1 & 2, CBERS 3 & 4, PMM
7	Geotronic Engenharia	Empresa	São José dos Campos	SP	N	N	N	S		CBERS 3 & 4
8	INPE / COCRC	Governo	São José dos Campos	SP	S	S	S	S	N	
9	INPE / CRN	Governo	Natal	RN	S	S	N	N	N	CONASAT
10	INPE / CRS	Governo	Santa Maria	RS	S	S	N	N	N	NanoSatC-BR1
11	INPE / ETE	Governo	São José dos Campos	SP				S		
12	INPE / LIT	Governo	São José dos Campos	SP				S		
13	Neuron Eletrônica	Empresa	São José dos Campos	SP				S		MECB, CBERS 1 & 2, CBERS 3 & 4, PMM
14	Omnisys Engenharia Ltda.	Empresa	São Bernardo do Campo	SP				S		CBERS 3 & 4
15	Orbital Engenharia S.A.	Empresa	São José dos Campos	SP				S		CBERS 3 & 4
16	VISIONA	Empresa	São José dos Campos	SP	S	S	N	S	N	SGDC, desenvolvendo o CubS VCUB1.

CAPACIDADE NACIONAL - MISSÕES COM SATÉLITES DE PEQUENO PORTE - ÊNFASE EM COMUNICAÇÕES E CUBESATS

Rev.: 31/08/2020

PARTE B

ITEM	ORGANIZAÇÃO	EXPERIÊNCIA SEGMENTO SOLO								CAPACIDADES / FERRAMENTAS / INFRA
		USU	CM	COCU	COS	R. PÚBLICA	COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES	01	02	COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES
1	AEL Sistemas	N	N	N	N	N		X	X	
2	Beta Telecom								X	
3	CENIC Eng. Ind. Comércio	N	N	N	N	N				
4	EMSISTI Sistemas				S	S	COS - Possui SW controle para estação terrena de NanS.			
5	Equatorial Sistemas	N	N	N	N	N		S	S	
6	Fibraforte EIC Ltda.	N	N	N	N	N				
7	Geotronic Engenharia	N	N	N	N	N		X	X	
8	INPE / COCRC									
9	INPE / CRN									
10	INPE / CRS									
11	INPE / ETE									
12	INPE / LIT	N	N	N	N	N				
13	Neuron Eletrônica	N	N	N	N	N		S	S	
14	Omnisys Engenharia Ltda.							X	S	
15	Orbital Engenharia S.A.	N	N	N	N	N		X	X	
16	VISIONA							S	S	

CAPACIDADE NACIONAL - MISSÕES COM SATÉLITES DE PEQUENO PORTE - ÊNFASE EM COMUNICAÇÕES E CUBESATS

Rev. 31/08/2020
:

PARTE C

ITEM	ORGANIZAÇÃO	CAPACIDADES / FERRAMENTAS / INFRA													COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES
		03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	
1	AEL Sistemas												X		14 - Forneceu OBCs para outras missões
2	Beta Telecom			X			X				X	X			
3	CENIC Eng. Ind. Comércio														
4	EMSISTI Sistemas						X			X					
5	Equatorial Sistemas	X	X	X			X		X	X			X		
6	Fibraforte EIC Ltda.	X													
7	Geotronic Engenharia			X			X			X	X	X			
8	INPE / COCRC				X	X		X							
9	INPE / CRN		X								X				
10	INPE / CRS		X												
11	INPE / ETE													X	
12	INPE / LIT														
13	Neuron Eletrônica	P		P			X			X	X	X			03- Faltam RH e ferramentas.
14	Omnisys Engenharia Ltda.	X	X	X			X		X	X	X	X	X		
15	Orbital Engenharia S.A.	X	X	X			X		X	X			X		
16	VISIONA	X	X	X			X		X	X				X	

CAPACIDADE NACIONAL - MISSÕES COM SATÉLITES DE PEQUENO PORTE - ÊNFASE EM COMUNICAÇÕES E CUBESATS

Rev.: 31/08/2020

PARTE D

ITEM	ORGANIZAÇÃO	CAPACIDADES / FERRAMENTAS / INFRA													COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES
		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
1	AEL Sistemas			X		N	N	N	N	N	N	N	N	N	18 - Forneceu equipamentos para outras missões.
2	Beta Telecom					N	N	N	N	N	N	N	N	N	
3	CENIC Eng. Ind. Comércio	X				N	N	N	N	N	N	N	N	N	
4	EMSISTI Sistemas					N	N	N	N	N	N	N	N	N	
5	Equatorial Sistemas	X	X			N	N	N	N	N	N	N	N	N	
6	Fibraforte EIC Ltda.	X			X	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
7	Geotronic Engenharia					N	N	N	N	N	N	N	N	N	
8	INPE / COCRC					N	N	N	N	N	N	N	N	N	
9	INPE / CRN					N	N	N	N	N	N	N	N	N	
10	INPE / CRS					N	N	N	N	N	N	N	N	N	
11	INPE / ETE					N	N	N	N	N	N	N	N	N	
12	INPE / LIT					N	N	N	N	N	N	N	N	N	
13	Neuron Eletrônica					N	N	N	N	N	N	N	N	N	
14	Omnisys Engenharia Ltda.					N	N	N	N	N	N	N	N	N	
15	Orbital Engenharia S.A.			X		N	N	N	N	N	N	N	N	N	
16	VISIONA					N	N	N	N	N	N	N	N	N	

CAPACIDADE NACIONAL - MISSÕES COM SATÉLITES DE PEQUENO PORTE - ÊNFASE EM COMUNICAÇÕES E CUBESATS

Rev.: 31/08/2020

PARTE E

ITEM	ORGANIZAÇÃO	CAPACIDADES / FERRAMENTAS / INFRA													COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES
		29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	
1	AEL Sistemas	N													
2	Beta Telecom	N													
3	CENIC Eng. Ind. Comércio	N					X								
4	EMSISTI Sistemas	N													
5	Equatorial Sistemas	N		X	X										
6	Fibraforte EIC Ltda.	N					X		X						
7	Geotronic Engenharia	N						X	X						
8	INPE / COCRC	N													
9	INPE / CRN	N													
10	INPE / CRS	N													
11	INPE / ETE	N													
12	INPE / LIT	N									X	X	X	X	
13	Neuron Eletrônica	N						P							35- Manutenção da workstation.
14	Omnisys Engenharia Ltda.	N													
15	Orbital Engenharia S.A.	N	X							X					
16	VISIONA	N						X							

CAPACIDADE NACIONAL - MISSÕES COM SATÉLITES DE PEQUENO PORTE - ÊNFASE EM COMUNICAÇÕES E CUBESATS

Rev.: 31/08/2020

PARTE F

ITEM	ORGANIZAÇÃO	CAPACIDADES / FERRAMENTAS / INFRA											COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES
		42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	
1	AEL Sistemas					X					X	X	
2	Beta Telecom			X	X							X	
3	CENIC Eng. Ind. Comércio								X			X	
4	EMSISTI Sistemas												
5	Equatorial Sistemas							X				X	
6	Fibraforte EIC Ltda.								X	X		X	
7	Geotronic Engenharia												
8	INPE / COCRC												
9	INPE / CRN												
10	INPE / CRS												
11	INPE / ETE			X	X		X	X		X	X	X	
12	INPE / LIT	X	X										
13	Neuron Eletrônica												
14	Omnisys Engenharia Ltda.			X	X						X	X	
15	Orbital Engenharia S.A.			X		X					X	X	
16	VISIONA											X	

Apêndice G – Pesquisa dos recursos humanos

O levantamento dos recursos humanos nacionais com potencial para participação de missões de comunicações com *cubesats* ou satélites de pequeno porte, e suas respectivas capacidades, conforme discutido na seção 4, será registrado em uma tabela cujo conjunto de colunas ocupa quatro páginas (PARTE A a PARTE D). A descrição dessas colunas bem como as regras observadas no preenchimento da tabela são apresentadas a seguir.

A **PARTE A** tem as seguintes colunas:

Coluna 1: **ITEM** – Número sequencial que indica a ordem temporal de registro do conjunto de dados na tabela;

Coluna 2: **PROFISSIONAL** – Nome do profissional cujas capacidades são avaliadas na tabela;

Coluna 3: **TIPO** – Indica o tipo de personalidade jurídica na atuação profissional: PF (Pessoa Física), AUTO (Autônomo), MEI (Micro Empresário Individual) etc.;

Coluna 4 a Coluna 6: **VÍNCULO** – Registro de eventual vínculo do profissional com uma organização conforme os registros das Colunas 4 a 6 descritos a seguir:

Coluna 4: **S / N** – Preenchida com **S** (Sim) se houver vínculo ou **N** (Não) no caso contrário;

Coluna 5: **ORGANIZAÇÃO** – Nome da organização a qual o profissional está vinculado;

Coluna 6: **TV** – Tipo de Vínculo, preenchida com **E** (Empregado), **SP** (Servidor Público), **EP** (Empregado Público (CLT)), **PROF** (Professor universitário , escola pública ou privada), **SOC** (Sócio);

Coluna 7 a Coluna 12: **EXPERIÊNCIA NOS SEGMENTOS ESPACIAL E SOLO** – Registro da experiência do profissional nesses segmentos conforme os registros das Colunas 7 a 12 descritos a seguir:

Coluna 7: **CubS** – Preenchida com **S** (Sim) se tiver alguma experiência com *cubesats* ou **N** (Não), no caso contrário;

Coluna 8: **SPP** – Preenchida com **S** (Sim) se tiver alguma experiência com Satélite de Pequeno Porte ou **N** (Não), no caso contrário;

Coluna 9: **SGP** – Preenchida com **S** (Sim) se tiver alguma experiência com Satélite de Grande Porte ou **N** (Não), no caso contrário;

Coluna 10: **AERO** – Preenchida com **S** (Sim) se tiver experiência Aeroespacial ou **N** (Não) no caso contrário (considerar experiência com Foguetes, Foguetes Sonda e Aviões);

Coluna 11: **SOLO** – Preenchida com **S** (Sim) se tiver experiência com o Segmento Solo ou **N** (Não) no caso contrário (considerar experiência com Controle do Satélite, Controle da Carga Útil, Operação da Missão, Segmento de Usuários, Rede Pública de Comunicações);

Coluna 12: **COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES** – Texto aberto relatando a experiência nas áreas marcadas com **S** nas Colunas 7 a 11. Iniciar a frase com o nome da coluna para facilitar a correlação do texto e área. No caso AERO incluir na frase o termo “Foguete”, “Sonda” ou “Avião” para facilitar a correlação do texto e a área específica.

A **PARTE B** possui as seguintes colunas:

Coluna 1: **ITEM** – Cópia da coluna 1 da PARTE A (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 2: **CIDADE** – Preenchida com a cidade de residência do profissional;

Coluna 3: **UF** – Preenchida com os estado de residência do profissional;

Coluna 4: **VINC.** – Vínculo - Cópia da coluna 4 da PARTE A (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 5 a Coluna 16: **CAPACIDADES DO RH** – Avaliação das capacidades do RH conforme os registros das Colunas 5 a 16 descritos a seguir:

Coluna 5 a Coluna 15: **01 a 11** – Preenchidas com **S** (Sim), **P** (Parcial), **N** (Não), **X** (Avaliação Incompleta) se o profissional tem a capacidade nesses graus (ver a Tabela 4-1 para a descrição dos códigos numéricos e a Tabela 4-2 para os graus de avaliação). O campo será deixado sem preenchimento (em branco) se o item não tiver sido avaliado;

Coluna 16: **COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES** – Texto aberto explicando / comentando a avaliação, principalmente no caso desta ter sido marcada como parcial (P). Iniciar

a frase com o número que serve como nome da coluna para facilitar a correlação do texto e a capacidade.

A **PARTE C** possui as seguintes colunas:

Coluna 1: **ITEM** – Cópia da coluna 1 da PARTE A (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 2: **CIDADE** – Cópia da coluna 2 da PARTE B (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 3: **UF** – Cópia da coluna 3 da PARTE B (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);;

Coluna 4: **VINC.** – Vínculo - Cópia da coluna 4 da PARTE A (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 5 a Coluna 16: **CAPACIDADES DO RH** – Avaliação das capacidades do RH conforme os registros das Colunas 5 a 16 descritos a seguir:

Coluna 5 a Coluna 15: **12 a 22** – Preenchidas com **S** (Sim), **P** (Parcial), **N** (Não), **X** (Avaliação Incompleta) se o profissional tem a capacidade nesses graus (ver a Tabela 4-1 para a descrição dos códigos numéricos e a Tabela 4-2 para os graus de avaliação). O campo será deixado sem preenchimento (em branco) se o item não tiver sido avaliado;

Coluna 16: **COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES** – Texto aberto explicando / comentando a avaliação, principalmente no caso desta ter sido marcada como parcial (P). Iniciar a frase com o número que serve como nome da coluna para facilitar a correlação do texto e a capacidade.

A **PARTE D** possui as seguintes colunas:

Coluna 1: **ITEM** – Cópia da coluna 1 da PARTE A (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 2: **CIDADE** – Cópia da coluna 2 da PARTE B (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 3: **UF** – Cópia da coluna 3 da PARTE B (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);;

Coluna 4: **VINC.** – Vínculo - Cópia da coluna 4 da PARTE A (com fundo cinza porque preenchida automaticamente pela planilha);

Coluna 5 a Coluna 16: **CAPACIDADES DO RH** – Avaliação das capacidades do RH conforme os registros das Colunas 5 a 16 descritos a seguir:

Coluna 5 a Coluna 15: **13 a 33** – Preenchidas com **S** (Sim), **P** (Parcial), **N** (Não), **X** (Avaliação Incompleta) se o profissional tem a capacidade nesses graus (ver a Tabela 4-1 para a descrição dos códigos numéricos e a Tabela 4-2 para os graus de avaliação). O campo será deixado sem preenchimento (em branco) se o item não tiver sido avaliado;

Coluna 16: **COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES** – Texto aberto explicando / comentando a avaliação, principalmente no caso desta ter sido marcada como parcial (P). Iniciar a frase com o número que serve como nome da coluna para facilitar a correlação do texto e a capacidade.

A Tabela 22 apresenta os resultados do levantamento até 31/08/20 (a data da revisão da tabela é indicada no canto superior esquerdo das páginas 1 a 4).

Tabela 22. Levantamento dos recursos humanos nacionais para missões de comunicações com SPP até 31/08/20

R. HUMANOS NACIONAIS - MISSÕES COM SATÉLITES DE PEQUENO PORTE - ÊNFASE EM COMUNICAÇÕES E CUBESATS

(OBSERVAÇÃO: OS NOMES DOS PESQUISADORES FORAM OMITIDOS EM ATENDIMENTO À LGPD. AS INFORMAÇÕES SOBRE OS RECURSOS HUMANOS NACIONAIS PODEM SER ENVIADAS QUANDO SOLICITADAS)

Rev.: 31/08/2020

PARTE A

R. HUMANOS NACIONAIS - MISSÕES COM SATÉLITES DE PEQUENO PORTE - ÊNFASE EM COMUNICAÇÕES E CUBESATS

Rev.: 31/08/2020

PARTE B

ITEM	CIDADE	UF	VINC.	CAPACIDADES DO RH											COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES
				01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	
1	Campinas	SP	S												
2	Curitiba	PR	0												
3	Pindamonhangaba	SP	S	S	S										
4	São José dos Campos	SP	N	X	X										
5	São José dos Campos	SP	S			S	S								
6	São José dos Campos	SP	S	S	S										
7	São José dos Campos	SP	N	S	S										
8	São Bernardo do Campo	SP	S												
9	Caçapava	SP	S												
10	São José dos Campos	SP	S	X	X								S		
11	São José dos Campos	SP	S	S	S										
12	São José dos Campos	SP	S	P	S	S	S								
13															
14	Campinas	SP	S												
15	São José dos Campos	SP	S	S	S										
16	São José dos Campos	SP	S												
17	São José dos Campos	SP	N							S					
18	São José dos Campos	SP	S	X	X										
19	São José dos Campos	SP	N									S			
20	São José dos Campos	SP	S			S	S								
21	São José dos Campos	SP	S								S				
22	São José dos Campos	SP	S	S	S		S	S							
23	São José dos Campos	SP	S												

ITEM	CIDADE	UF	VINC.	CAPACIDADES DO RH											COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES
				01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	
24	São José dos Campos	SP	S												
25															
26	São José dos Campos	SP	N			S	S								
27	São José dos Campos	SP	S											S	
28	São José dos Campos		S												
29															
30	São Paulo	SP	S												
31	Cachoeira Paulista	SP	N												
32	São José dos Campos	SP	0												
33	São José dos Campos	SP		S	S										
34	Porto Alegre	RS	N												
35	São José dos Campos	SP	N												
36															
37	São José dos Campos	SP	S												
38	São José dos Campos	SP	S												
39	São José dos Campos	SP	S			S	S								
40		SP	0												
41		SP	0						X						
42	São Bernardo do Campo	SP	S												
43	São José dos Campos	SP	S								S				

R. HUMANOS NACIONAIS - MISSÕES COM SATÉLITES DE PEQUENO PORTE - ÊNFASE EM COMUNICAÇÕES E CUBESATS

Rev.: 31/08/2020

PARTE C

ITEM	CIDADE	UF	VINC.	CAPACIDADES DO RH												COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES
				12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
1	Campinas	SP	S					X	X	X						
2	Curitiba	PR	0					X	X	X						
3	Pindamonhangaba	SP	S													
4	São José dos Campos	SP	N													
5	São José dos Campos	SP	S													
6	São José dos Campos	SP	S			S										
7	São José dos Campos	SP	N			S										
8	São Bernardo do Campo	SP	S									S				
9	Caçapava	SP	S									S				
10	São José dos Campos	SP	S													
11	São José dos Campos	SP	S													
12	São José dos Campos	SP	S			S	S									
13	0	0	0			S	S									
14	Campinas	SP	S			S										
15	São José dos Campos	SP	S													
16	São José dos Campos	SP	S										S			
17	São José dos Campos	SP	N													
18	São José dos Campos	SP	S													
19	São José dos Campos	SP	N											S		
20	São José dos Campos	SP	S													
21	São José dos Campos	SP	S													
22	São José dos Campos	SP	S													

ITEM	CIDADE	UF	VINC.	CAPACIDADES DO RH											
				12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES
23	São José dos Campos	SP	S												
24	São José dos Campos	SP	S				S								
25	0	0	0					S							
26	São José dos Campos	SP	N												
27	São José dos Campos	SP	S												
28	São José dos Campos	0	S												
29	0	0	0												
30	São Paulo	SP	S												
31	Cachoeira Paulista	SP	N												
32	São José dos Campos	SP	0			S									
33	São José dos Campos	SP	0												
34	Porto Alegre	RS	N			S									
35	São José dos Campos	SP	N												
36	0	0	0			S									
37	São José dos Campos	SP	S			S									
38	São José dos Campos	SP	S												
39	São José dos Campos	SP	S				S								
40	0	SP	0												
41	0	SP	0												
42	São Bernardo do Campo	SP	S			S	S								
43	São José dos Campos	SP	S												

R. HUMANOS NACIONAIS - MISSÕES COM SATÉLITES DE PEQUENO PORTE - ÊNFASE EM COMUNICAÇÕES E CUBESATS

Rev.: 31/08/2020

PARTE D

ITEM	CIDADE	UF	VINC.	CAPACIDADES DO RH											COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES
				23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
1	Campinas	SP	S												
2	Curitiba	PR	0												
3	Pindamonhangaba	SP	S												
4	São José dos Campos	SP	N												
5	São José dos Campos	SP	S												
6	São José dos Campos	SP	S												
7	São José dos Campos	SP	N												
8	São Bernardo do Campo	SP	S												
9	Caçapava	SP	S												
10	São José dos Campos	SP	S												
11	São José dos Campos	SP	S												
12	São José dos Campos	SP	S												
13	0	0	0												
14	Campinas	SP	S												
15	São José dos Campos	SP	S												
16	São José dos Campos	SP	S												
17	São José dos Campos	SP	N												
18	São José dos Campos	SP	S												
19	São José dos Campos	SP	N												
20	São José dos Campos	SP	S												
21	São José dos Campos	SP	S			S									
22	São José dos Campos	SP	S												

ITEM	CIDADE	UF	VINC.	CAPACIDADES DO RH											COMENTÁRIOS / OBSERVAÇÕES
				23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
23	São José dos Campos	SP	S										S	S	
24	São José dos Campos	SP	S												
25	0	0	0												
26	São José dos Campos	SP	N												
27	São José dos Campos	SP	S						S						
28	São José dos Campos	0	S												
29	0	0	0												
30	São Paulo	SP	S												
31	Cachoeira Paulista	SP	N												
32	São José dos Campos	SP	0												
33	São José dos Campos	SP	0												
34	Porto Alegre	RS	N												
35	São José dos Campos	SP	N												
36	0	0	0												
37	São José dos Campos	SP	S												
38	São José dos Campos	SP	S											S	
39	São José dos Campos	SP	S												
40	0	SP	0												
41	0	SP	0												
42	São Bernardo do Campo	SP	S												
43	São José dos Campos	SP	S			S									