



Um estudo sobre lançadores de *CubeSats*

FERREIRA, F. S.¹, RABELLO, A. P. S. S.², SOUZA, M. L. O.³, MANEA, S.⁴

¹Aluno de Mestrado do Curso Engenharia e Tecnologia Espaciais / Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais – ETE/CSE.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil.

²Colaboradora Especial do Curso Engenharia e Tecnologia Espaciais / Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais – ETE/CSE.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil.

^{3/4}Professores do Curso Engenharia e Tecnologia Espaciais / Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais – ETE/CSE.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil.

flferrei14@gmail.com

Resumo. *O Mercado de lançadores para CubeSat tem demonstrado grande crescimento devido a grande demanda de pequenos satélites. Os CubeSats têm tido acesso ao espaço através de carona com os lançadores tradicionais ou são levados como pequenas cargas até a estação espacial internacional e de lá são lançados. Os custos desses lançamentos estão em torno de EUR50.0000,00/Kg, que é considerado alto para esse novo mercado, fazendo com que novos desenvolvimentos de lançadores específicos para pequenos satélites se esforcem para reduzir esses custos. Grande parte desses novos lançadores estão sendo desenvolvidos por empresas privadas com a motivação de obter grandes lucros e ter grande reconhecimento como a empresa americana Space-X. Além das empresas privadas, agências e governos de muitos países que não possuem acesso ao espaço de forma independente estão investindo nesse tipo de lançador, obtendo assim sua soberania e desenvolvendo tecnologia espacial para geração de renda e emprego de alta qualificação.*

Palavras-chave: *Launch vehicle; VLM; CubeSat Launchers.*

1. Introdução

O aumento da demanda por *CubeSats* demonstrado nos últimos anos e nos prognósticos dos próximos, deixa claro que estes se tornarão comercialmente viáveis (SPACEWORKS, 2020).

O atendimento desse tipo de demanda impõe uma nova lógica pertinente à aceitação de riscos e à confiabilidade de missões espaciais. Nesse sentido, os *Cubesats* vêm sendo considerados como uma solução altamente competitiva e que, em muitos casos, permitem um equilíbrio aceitável entre as variáveis tempo, custo e confiabilidade (VILLELA, 2016).

Os *Cubesats* estão sendo desenvolvidos por meio de uma arquitetura aberta para os subsistemas mais comuns, o que facilita o uso de módulos, tanto para o desenvolvimento de missões quanto para o lançamento dos satélites ao espaço (VILLELA, 2016).



Com o aumento do número de *CubeSats*, surgiram nos últimos anos novos projetos de lançadores para atender a demanda de lançamento destes. Este artigo mapeia o cenário atual desses novos lançadores, seu mercado, a disponibilidade de lançadores versus demanda para os próximos anos, o custo/kg de cada lançador, o tipo e local de lançamento e as inovações tecnológicas empregadas.

2. Conceitos

2.1 Classificação dos Satélites Artificiais

Satélites artificiais são dispositivos complexos projetados e construídos para funcionar no espaço que circunda a Terra (AEB, 2020).

Os satélites são classificados por diferentes parâmetros como: Órbita, massa, custo, tempo de desenvolvimento dentre outros. Considerando apenas a sua massa e excluindo os grandes satélites que possuem massa maior que 1000Kg, atualmente os satélites são classificados conforme Figura 1.



Figura 1: Classificação dos Satélites por massa Fonte: Retirado de *SPACEWORKS*, (2020)

Os *CubeSats* são um tipo de nanosatélite definidos pelas especificações de projeto de *CubeSat* (do termo inglês: *CSD - CubeSat Design Specification*). Essas especificações definem suas dimensões conforme Figura 2:

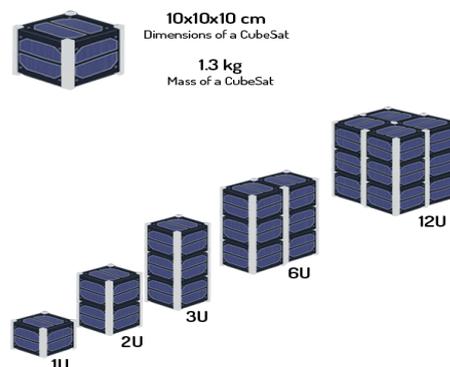


Figura 2: Dimensão dos *CubeSats* Fonte: Retirado de *ALÉN*, (2020)

O menor *CubeSat* existente é de 0,25U e o maior de 27U (*NANOSATS DATABASE*, 2020).



2.2 Constelação de satélites

Uma constelação é um grupo de satélites similares que orbitam a terra de forma sincronizada e otimizada complementando a varredura das diferentes faixas da superfície terrestre (STANLEY, 2004). A Figura 3 apresenta uma constelação de satélites de comunicação.

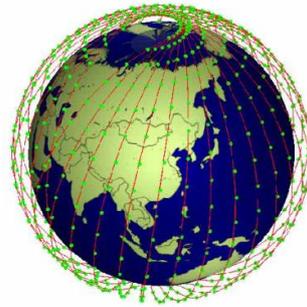


Figura 3: Constelação de Satélites Fonte: Retirado de TELEDESIC, (2020)

2.3 Lançadores

Os veículos de lançamento são os sistemas movidos a foguetes que fornecem transporte da superfície da Terra para o ambiente do espaço (NASA, 2020). A plataforma de lançamento é um fator importante que interfere na tecnologia dos lançadores. As plataformas de solo não possuem movimento relativo no momento do lançamento e tem sua posição definida no globo terrestre, as marítimas possui pequenas oscilações durante o lançamento a serem compensadas pelos sistemas de controle e propulsão do lançador e podem ser posicionadas em diferentes localização sobre a superfície dos oceanos, e as plataformas aéreas que utilizam aeronaves estão em movimento no momento do lançamento e possuem grande flexibilidade de posição no globo terrestre. Existe também plataforma aérea baseada em balão especificamente projetado para esta finalidade. A Tabela 1 apresenta a forma de lançamento de alguns lançadores e sua localização.

Vehicle Name	Launch Type	Launch Location	Vehicle Name	Launch Type	Launch Location
Anion 2	Land	South Europe	NEPTUNE N1	Land, Sea	Moody Space Centre, Australia. Int'l Water; also US?
Bagaveev	Land, Sea		Orbital 500R	Air	Malta
Bloostar	Balloon	Int'l Water	Pegasus (Strato)	Air	Mojave, CA
Boreas-Hermes	Balloon		Pegasus XL	Air	Int'l Water – Multiple locations demonstrated
Cab-3A	Air	KSC, Int'l Water	Prometheus-1	Land	
Chang Zheng 11	Land, Sea	China	PSLV Light	Land	
Chariot	Air		RS1	Land	Camden, GA; Kodiak, AK
Cloud IX	Air		Sagitarus Space		
Electron	Land	Birdling's Flat, New Zealand	Arrow CM	Air	Int'l Water, Spanish airport
Eris	Land	Queensland, Australia	Skyrora XL	Land	Scotland
Firefly Alpha	Land	VAFB, Cape Canaveral, Spaceport Camden, Wallops	Space Rider	Land	Kouru
Helios	Land		Star-Lord	Sea	KSC, 20 km offshore
Intrepid-1	Land	Kennedy Space Center	Tronador II	Land	Puerto Belgrano Naval Base
Kaituoze-2	Land	China	VALT	Land, Sea, Air	
Kuaizhou-1A	Land	China	Vector-R	Land, Sea	Kodiak, Cape Canaveral, Wallops
LandSpace-1	Land	Wenchang, Hainan, China	VLM-1	Land	Alcatara, Brazil
LauncherOne	Air	Int'l Water	Volant	Land	Kodiak
Minotaur I	Land	VAFB, KLC, WFF, CCAFS			

Tabela 1: Forma de Lançamento e localização Fonte: Adaptado de NIEDERSTRASSER, 2018



3. Discussão - Lançadores de *CubeSats*

O acesso de *CubeSats* ao espaço está apresentando mudanças significativas em comparação ao acesso de satélites tradicionais (normalmente com maior massa e tempo de vida). Em geral, um veículo lançador coloca um ou poucos satélites em órbita a cada lançamento. Com os *CubeSats*, essa lógica está sendo alterada. Há a possibilidade de inserção em órbita de dezenas desses objetos a cada lançamento. Por exemplo, em 2013, 84 desses pequenos satélites foram levados à Estação Espacial Internacional como carga comum e, de lá, inseridos em órbita. Em 2014, 37 satélites foram colocados em órbita por meio de um único lançamento do veículo Dnepr, da Rússia (VILLELA, 2016). Entretanto, essa dependência dos grandes lançadores freia a demanda de *CubeSats*, pois é necessário esperar o lançamento de um grande artefato para poder compartilhar sua carona, além do custo de lançamento ainda ser considerado elevado, da ordem de EUR 50.0000,00 por Kg (TIMMERMANS, 2018).

3.1 O Mercado de novos lançadores

A Figura 4 apresenta a previsão de lançamento de *CubeSats* para os próximos 5 anos, enquanto a Tabela 2 nos mostra os preços de lançamentos de satélites praticados no ano de 2019 em milhares de dólares.

SATELLITE LAUNCH HISTORY & MARKET FORECAST Nano/Microsatellites (1 – 50 kg)

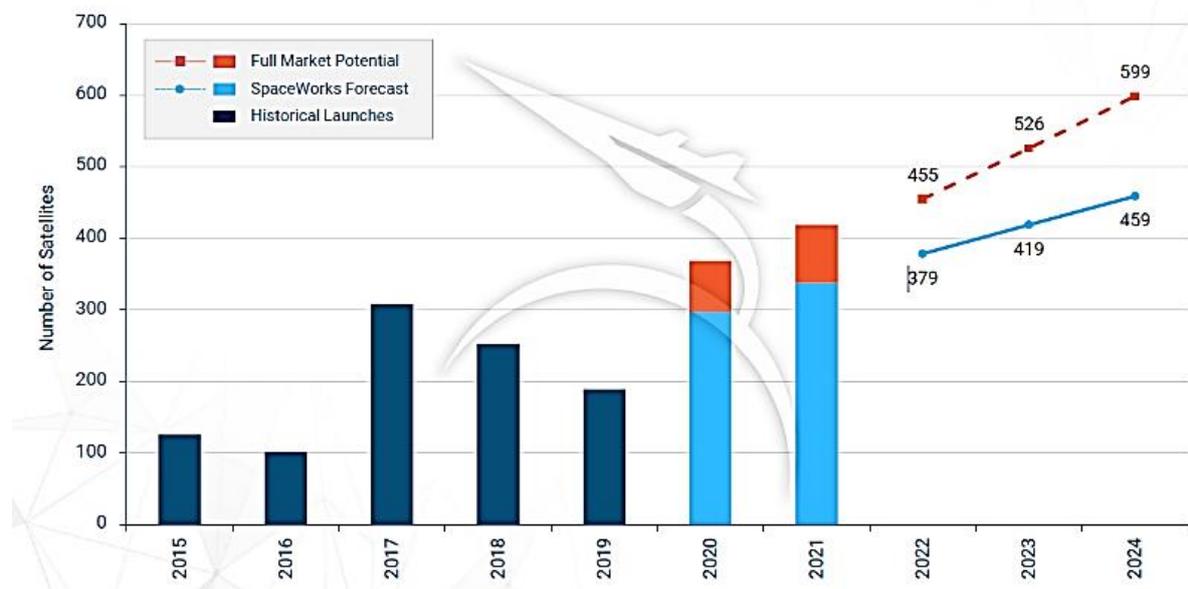


Figura 4: Previsão de Lançamentos Fonte: Retirado de SPACEWORKS, (2020).



DETAIL	CONTAINERIZED			SATELLITE CLASS								
	PAYLOAD TYPE	3U	6U	12U	50kg	100kg	150kg	200kg	300kg	450kg	750kg	1000kg
LENGTH (CM)	34.05	34.05	34.05	80	100	100	100	125	200	300	350	
HEIGHT/DIA (CM)	10	10	22.63	40	50	60	80	100	150	200	200	
WIDTH (CM)	10	22.63	22.63	40	50	60	80	100				
MASS (KG)	5	10	20	50	100	150	200	300	450	750	1000	
PRICE-LEO	\$295	\$545	\$995	\$1,750	\$3,950	\$4,950	\$5,950	\$7,950	\$17,500	\$22,000	\$28,000	
PRICE-GTO	\$915	\$1,400	\$2,750	\$4,600	\$8,400	\$9,800	\$11,200	\$14,000	CALL	CALL	CALL	

Pricing in thousands (USD)

Tabela 2: Preço de Lançamento em 2019 Fonte: Retirado de SPACEFLIGHT, (2020).

3.2 Lançadores x países x fabricantes x data do primeiro lançamento

Além dos lançadores em atividades apresentados na Tabela 3, existe uma grande quantidade de novos lançadores em desenvolvimento, estes estão relacionados na Tabela 4. Isso deve-se ao fato da expansão do mercado de lançamento de *CubeSats*. De acordo com NIEDERSTRASSER (2018) os direcionadores motivacionais desses novos desenvolvedores são puramente comerciais atraídos por contratos governamentais milionários e pela inspiração visível causada pelo sucesso da empresa *SpaceX*.

Organization	Vehicle Name	Country	First Launch
China Aerospace Science and Technology Corporation	Chang Zheng 11	China	25 Sep 2015
Rocket Lab	Electron	USA/New Zealand	21 Jan 2018
China Aerospace Science and Technology Corporation	Kaituoze-2	China	3 Mar 2017
ExPace	Kuaizhou-1A	China	9 Jan 2017
Northrop Grumman	Minotaur I	USA	27 Jan 2000
Northrop Grumman	Pegasus XL	USA	5 April 1990

Tabela 3: Lançadores em Atividade Fonte: Retirado de NIEDERSTRASSER, 2018



Organization	Vehicle Name	Country	Latest Launch Date
ABL Space Systems	RS1	USA	Q3 2020
Aphelion Orbitals	Helios	USA	2021
Bagaveev Corporation	Bagaveev	USA	2019
bspac	Volant	USA	2018
Celestia Aerospace	Sagittarius Space Arrow CM	Spain	2016
Cloud IX	Unknown	USA	
CONAE	Tronador II	Argentina	2020
CubeCab	Cab-3A	USA	2020
Departamento de Ciencia e Tecnologia Aeroespacial	VLM-1	Brazil	2019
ESA	Space Rider	Europe	2020
Firefly Aerospace	Firefly Alpha	USA	Q3 2019
Gilmour Space Technologies	Eris	Australia/Singapore	Q4 2020
Interorbital Systems	NEPTUNE N1	USA	
ISRO	PSLV Light	India	Q1 2019
LandSpace	LandSpace-1	China	H2 2018
Launcher	Rocket-1	USA	2025
LEO Launcher	Chariot	USA	Q4 2018
Linkspace Aerospace Technology Group	NewLine-1	China	2020
One Space Technology	OS-M1	China	2018
Orbex	Orbex	United Kingdom	
Orbital Access	Orbital 500R	United Kingdom	2020
PLD Space	Arion 2	Spain	3Q 2021
Rocketcrafters	Intrepid-1	USA	Q1 2019
RocketStar	Star-Lord	USA	2018
Skyrora	Skyrora XL	UK/Ukraine	
Space Ops	Rocky 1	Australia	2019
SpaceLS	Prometheus-1	United Kingdom	Q4 2017
SpinLaunch	Unknown	USA	
Stofiel Aerospace	Boreas-Hermes	USA	2019
Stratolaunch	Pegasus (Strato)	USA	
VALT Enterprises	VALT	USA	
Vector Space Systems	Vector-R	USA	H2 2018
Virgin Orbit	LauncherOne	USA	H1 2018
zero2infinity	Bloostar	Spain	2017

Tabela 4: Lançadores em desenvolvimento Fonte: Retirado de *NIEDERSTRASSER*, 2018

3.3 Performance e custo de missão para lançadores de *CubeSats*

NIEDERSTRASSER (2018), propôs uma divisão em classes para lançadores: *CubeSat* levando em consideração a carga paga e sua órbita de inserção conforme apresentado na Tabela 5.

Vehicle Name	Performance	Orbit	Vehicle Name	Performance	Orbit
Cab-3A	5 kg	400 km	Kaituoze-2	250 kg	SSO
NEPTUNE N1	6 kg	310 km SS)	Kuaizhou-1A	250 kg	500 km SSO
Bagaveev	10 kg	SSO	Prometheus-1	250 kg	LEO
Rocky 1	10 kg	600 km SSO	Tronador II	250 kg	600 km SSO
Sagittarius Space Arrow CM	16 kg	LEO	LauncherOne	300 kg	500 km SSO
Helios	20 kg	400 km	Rocket-1	300 kg	200 km
Cloud IX	22 kg	515 km	Star-Lord	300 kg	185 km
VALT	25 kg	500 km SSO	Skyrora XL	320 kg	600 km SSO
Vector-R	30 kg	450 km SSO	Chang Zheng 11	350 kg	SSO
Bloostar	75 kg	600 km SSO	Intrepid-1	376 kg	500 km SSO
OS-M1	143 kg	300 km SSO	Eris	380 kg	350 km
Arion 2	150 kg	400 km	Pegasus (Strato)	455 kg	LEO
Electron	150 kg	500 km SSO	Pegasus XL	468 kg	200 km
VLM-1	150 kg	LEO	Orbital 500R	500 kg	600 km SSO
LandSpace-1	200 kg	500 km SSO	PSLV Light	500 kg	LEO
NewLine-1	200 kg	500 km SSO	Minotaur I	584 kg	200 km
Volant	215 kg	LEO	Firefly Alpha	600 kg	500 km SSO
Orbex	220 kg	200 km	RS1	650 kg	500 km SSO
Boreas-Hermes	250 kg	LEO	Chariot	681 kg	LEO
			Space Rider	800 kg	400 km

Tabela 5: Performance de missão Fonte: Retirado de *NIEDERSTRASSER*, 2018



Os custos de missão projetados e os custos por quilo estimados de carga paga são apresentados na Tabela 6.

Vehicle Name	Projected Launch Cost (US\$M)	Estimated Cost per kg (US\$k)
Firefly Alpha	\$10.0 M	\$10.0 k
Sagittarius Space Arrow CM	\$0.2 M	\$14.7 k
OS-M1	\$3.2 M	\$15.5 k
RS1	\$17.0 M	\$18.9 k
Kuaizhou-1A	\$5.0 M	\$20.0 k
Star-Lord	\$6.0 M	\$20.0 k
Boreas-Hermes	\$5.0 M	\$20.0 k
LauncherOne	\$10.0 M	\$20.0 k
Vector-R	\$1.5 M	\$22.7 k
Eris	\$8.7 M	\$23.0 k
NewLine-1	\$4.7 M	\$23.4 k
Intrepid-1	\$9.0 M	\$23.9 k
Bagaveev	\$0.3 M	\$25.0 k
Helios	\$0.6 M	\$27.5 k
Electron	\$4.9 M	\$32.7 k
Rocket-1	\$10.0 M	\$33.3 k
NEPTUNE N1	\$0.3 M	\$39.7 k
Space Rider	\$32.0 M	\$40.0 k
Bloostar	\$4.0 M	\$40.0 k
Arion 2	\$7.1 M	\$47.1 k
Cab-3A	\$0.3 M	\$50.0 k
VLM-1	\$10.0 M	\$66.7 k
VALT	\$1.7 M	\$68.0 k

Tabela 6: Custos de Missão Fonte: Retirado de NIEDERSTRASSER, 2020

Como citado por NIEDERSTRASSER (2018), as fontes de investimentos tradicionalmente são governamentais, porém, dos novos projetos mapeados grande parte possui investimentos privados, vindo de investidores, passando por parcerias público-privadas e consórcio de empresas.

Da previsão apresentada na Figura 4, e do preço de lançamento para PRICE-LEO e *Payload* 6U da Tabela 2. Existe um potencial de receita médio para os próximos 5 anos conforme Tabela 7 (Preço em Milhões, exceto o acumulado).

	2020	2021	2022	2023	2024	Acumulado (Bilhões)
Full Market Potential	\$207.100	\$223.450	\$247.975	\$286.670	\$326.455	\$1.291.650
Spaceworks forecast	\$163.500	\$190.750	\$206.555	\$228.355	\$299.205	\$1.088.365

Tabela 7: Potencial de receita. (Propriedade do autor, 2020).



3.4 Diferencial tecnológico dos novos lançadores

Cada lançador apresentado possui um diferencial tecnológico segundo NIEDERSTRASSER (2018), dentre esses diferenciais estão:

- Tipo de propelentes: sólido ou líquido.
- Reuso de tecnologia já testadas, como motores, por exemplo.
- Limitação de carga paga e órbita de inserção.
- Reuso de estágios.
- Manufatura aditiva em motores.
- Método de lançamento (Terra, mar, avião ou balão).
- Estruturas de materiais compósitos.
- Bateria como fonte de energia para bombas.
- Fonte de combustível como *RP-1/LOX*, *LOX/Methane*, *hydrogen peroxide* /*kerosene*.

3.5 Demanda x disponibilidade de lançadores

Considerando a previsão de lançamentos da Figura 4 e a disponibilidade de lançadores da Tabela 4 (Não considerado os grandes lançadores) com a perspectiva de ambos acontecerem nos próximos 5 anos, a Tabela 8 apresenta uma projeção deste cenário da relação demanda por disponibilidade de lançador.

	2020	2021	2022	2023	2024	Total em 5 anos	Demanda x Disponibilidade e em 5 anos	Demanda x Disponibilidade em 1 ano
Full Market Potential	380	410	455	526	599	2370	72	14
Spaceworks forecast	300	350	379	419	549	1997	61	12
Disp. de lançadores	24	2	0	0	7	33		

Tabela 8: Demanda x disponibilidade de lançadores (Propriedade do autor, 2020).

Conforme esta avaliação, a projeção média anual da demanda para cada lançador disponível nos próximos 5 anos variará entre 12 à 14 por ano.

4. Conclusão

Avaliando as Tabelas 7 e 8 nota-se que a demanda x disponibilidade e o potencial de receita, motivam os novos desenvolvedores de lançadores, uma vez que estes visam o acesso a esse mercado bilionário, de grande prestígio e presença geopolítica.



Em contrapartida nota-se pela Tabela 6 que haverá grandes variações de custos de lançamentos entre os lançadores. Revelando-se que muitos *players* (empresas privadas ou governos) ainda estão em um primeiro momento buscando adquirir a soberania de acesso ao espaço para posteriormente tornar-se competitivos.

De qualquer forma é notório o esforço que os governos e empresas privadas estão dispendendo para essa nova era de acesso ao espaço, que os *CubeSats* estão proporcionando. O mercado de novos lançadores está muito aquecido conforme evidenciado na Tabela 5, porém não é possível afirmar que todos os novos lançadores se manterão ativos ou mesmo que farão seus primeiros lançamentos. Nos próximos 5 anos a demanda e oferta de novos lançadores tendem a achar seu ponto de equilíbrio, uma vez que as datas de primeiro lançamento, de todos estes desenvolvimentos, estão previstas ocorrerem neste período.

Para o lançador brasileiro é uma excelente oportunidade de não somente adquirir a soberania e presença geopolítica que falta para o Brasil, mas também de competir nesse mercado gerando emprego de qualidade e renda para a população Brasileira.

Referências

AEB. “**Satélites**”. Disponível em: < <http://www.aeb.gov.br/programa-espacial-brasileiro/satelites/>>. Acesso em: 13 jul. 2020.

ALÉN. “**A Basic Guide to Nanosatellites**”. Disponível em: <<https://alen.space/basic-guide-nanosatellites/>>. Acesso em: 01 mai. 2020.

NANOSATS DATABASE. “**What is a CubeSat?**”. Disponível em: < <https://www.nanosats.eu/CubeSat>>. Acesso em: 01 mai. 2020.

NASA. “**Launch Vehicles**”. Disponível em: < <https://history.nasa.gov/SP-4402/ch1.htm>>. Acesso em: 16 jul. 2020.

NIEDERSTRASSER, C. “**Small Launch Vehicles – A 2018 State of the Industry Survey**”. 2018. Proceeding 32nd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites SSC18-IX-01. Disponível em: <<https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4118&context=smallsat>>. Acesso em: 13 jul. 2020.

SPACEFLIGHT. “**Pricing Information**”. Disponível em: < <https://spaceflight.com/schedule-pricing/>>. Acesso em: 01 mai. 2020.



SPACEWORKS. “**Nano/Microsatellite Forecast, 10th Edition (2020)**”. Disponível em:
<<https://www.spaceworks.aero/nano-microsatellite-forecast-10th-edition-2020/>>. Acesso em: 01 mai. 2020.

STANLEY, Q.K. et al. “**13th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography**”. Disponível em:
<https://web.archive.org/web/20130615185849/http://amsu.cira.colostate.edu/kidder/SatMet13_P1.1.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2020.

TELEDESIC. “**GLOBAL TELECOM INSIGHT**”. Disponível em: <
<http://www.mobilecomms-technology.com/projects/teledesic/teledesic4.html>> Acesso em: 15 jul. 2020.

TIMMERMANS, L. et al. “**SMALL INNOVATIVE LAUNCHER FOR EUROPE: RESULTS OF THE H2020 PROJECT SMILE**”. Proceeding 69th International Astronautical Congress (IAC), Bremen, Germany, 1-5 October 2018. Disponível em:
<<https://www.small-launcher.eu/wp-content/uploads/IAC-18-D2.7.6.SMILE-paper-v20181001.pdf>> Acesso em: 01 mai. 2020.

VILLELA, T. et al. “**CubeSats e oportunidades para o setor espacial brasileiro**”. Proceeding Parc. Estrat. • Brasília-DF • v. 21 • n. 42 • p. 91-114 • jan-jun 2016. Disponível em:<http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/812/742>. Acesso em: 01 mai. 2020.