

# Do Sputnik à era das grandes constelações de satélites: os desafios em se garantir a sustentabilidade espacial de longo prazo

Rodrigo C. Gebrim e Tarcísio A. Bakaus

**Resumo**— Este documento apresenta uma análise relativa aos desafios existentes para um uso seguro e sustentável do espaço, dado o aumento significativo do quantitativo de satélites de baixa órbita nos últimos anos. É apresentada uma análise sobre o número de objetos lançados ao espaço exterior desde 1957 até 2023, bem como uma projeção de crescimento até o ano de 2035. Também é abordado o contexto histórico internacional da sustentabilidade espacial e quais os desafios existentes para o devido tratamento do tema. Mais estudos são necessários para desenvolvimento de uma abordagem eficaz tanto em âmbito nacional quanto internacional.

**Palavras-Chave**— *Sustentabilidade Espacial, Espaço Exterior, Satélites de Baixa Órbita.*

**Abstract**— This document shows an analysis of the existing challenges for a safe and sustainable use of space, given the significant increase in the number of Low Earth Orbit satellites in recent years. An analysis of the number of objects launched into outer space from 1957 to 2023 is presented, as well as a growth projection by the year of 2035. The international historical context of space sustainability and the challenges for properly addressing the topic are also addressed. More studies are needed to develop an effective approach for both scenarios, nationally and internationally.

**Keywords**— *Space Sustainability, Outer Space, Low Earth Orbit Satellites.*

## I. INTRODUÇÃO

Em 4 de outubro de 1957, a antiga União Soviética lançava o primeiro satélite artificial da humanidade ao espaço, o Sputnik 1, dando início à denominada era espacial [1]. Este evento, que marcou o início da corrida espacial entre os Estados Unidos da América e a União Soviética, também trouxe preocupações de longo prazo para a comunidade internacional, que reconheceu a necessidade de monitorar as atividades espaciais desenvolvidas pelos países. Visando garantir a transparência e a segurança destas atividades, a Organização das Nações Unidas - ONU estabeleceu, em 1961, o Registro de Objetos Lançados ao Espaço Exterior<sup>1</sup>, administrado pelo *United Nations Office for Outer Space Affairs - UNOOSA*.

Com o passar dos anos, o aumento do número de lançamentos gerou uma preocupação em relação à quantidade de detritos espaciais existentes e futuros. Em 1978, Donald J. Kessler e Burton G. Cour-Palais publicaram um artigo que descrevia uma nova teoria, denominada Síndrome de Kessler, em que se previa que o incremento da quantidade de objetos em órbita baixa poderia ocasionar colisões em cascata, aumentando

exponencialmente a quantidade de detritos espaciais [2]. Como consequência dessas preocupações, ações como o *Space Debris Office*<sup>2</sup>, da *European Space Agency - ESA*, e o *Orbital Debris Program Office*<sup>3</sup>, da *National Aeronautics and Space Administration - NASA*, foram criadas na década de 1980, iniciando os esforços para rastreamento destes detritos e visando mitigar os riscos associados a possíveis colisões.

Em 1999, um novo marco para o desenvolvimento das atividades espaciais foi estabelecido, por meio da Declaração de Viena sobre a Exploração e Uso do Espaço Exterior [3]. Este documento das Nações Unidas enfatizou as diretrizes e ações de cooperação internacional para o uso pacífico e seguro do espaço, visando à promoção de um desenvolvimento sustentável das atividades espaciais. Anos depois, a ONU reafirmou a importância da Declaração de Viena, por meio da Resolução 62/217 (2007) [4] e das Diretrizes para a Sustentabilidade de Longo Prazo das Atividades Espaciais (2018) [5].

Os esforços para desenvolver práticas internacionais que visem à sustentabilidade espacial são essenciais para garantir um espaço exterior seguro para as futuras gerações. A comunidade global está atenta ao crescente número de lançamentos de satélites e às preocupações decorrentes, como o aumento exponencial de detritos espaciais, os possíveis problemas de observação astronômica, a ocupação desorganizada e concentrada de órbitas, dentre outros.

Neste contexto, o objetivo deste documento é apresentar uma análise relativa aos desafios para um uso seguro e sustentável do espaço, principalmente no cenário atual que contempla um aumento em escala exponencial de satélites de baixa órbita. Na Seção II é abordado o contexto internacional do tema de sustentabilidade espacial, além dos desafios existentes para tratamento e padronização do assunto entre as nações. Na Seção III são apresentados os dados de objetos lançados ao espaço exterior entre os anos de 1957 e 2023. Na Seção IV é realizada uma projeção de crescimento do número de objetos lançados ao espaço exterior até o ano de 2035. Por fim, na Seção V, são apresentadas as conclusões e direcionamentos para a continuidade do desenvolvimento de ações sobre o tema.

## II. A SUSTENTABILIDADE ESPACIAL NO CONTEXTO INTERNACIONAL

Com o aumento expressivo do número de lançamentos de objetos ao espaço nos últimos anos, as ações que visem à sustentabilidade espacial de longo prazo vêm se tornando cada vez mais uma prioridade global, exigindo políticas e diretrizes

Rodrigo C. Gebrim, Agência Nacional de Telecomunicações, Brasília-DF, e-mail: [rodrigogebrim@anatel.gov.br](mailto:rodrigogebrim@anatel.gov.br); Tarcísio A. Bakaus, Agência Nacional de Telecomunicações, Brasília-DF, e-mail: [bakaust@anatel.gov.br](mailto:bakaust@anatel.gov.br).

<sup>1</sup><https://www.unoosa.org/oosa/en/spaceobjectregister/index.html>

<sup>2</sup>[https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Operations/Ground\\_Systems\\_Engineering/ESA\\_Space\\_Debris\\_Office](https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Ground_Systems_Engineering/ESA_Space_Debris_Office)

<sup>3</sup><https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/>

coordenadas e promovidas por órgãos internacionais e países. O UNOOSA, órgão das Nações Unidas criado em 1958, é atualmente responsável por promover a cooperação internacional para o uso pacífico e sustentável do espaço exterior, coordenando atividades espaciais entre nações, implementando políticas e acordos internacionais, apoiando países em ciência e tecnologias espaciais, e administrando o Registro de Objetos Lançados ao Espaço Exterior<sup>1</sup> [6]. Operando sob a égide do UNOOSA, o *Committee on the Peaceful Uses of Outer Space - COPUOS*, criado em 1959, desenvolve diretrizes e políticas para garantir que as atividades espaciais sejam pacíficas e seguras, promovendo a colaboração internacional e a criação de normas, de maneira a assegurar o uso sustentável e benéfico do espaço exterior para todas as nações [7].

Por meio dos órgãos acima citados, a ONU promove a cooperação internacional para o uso pacífico e sustentável do espaço. Dentre as diretrizes internacionais já estabelecidas pelas Nações Unidas nesta temática, cabe destacar: (i) a Declaração de Viena sobre a Exploração e Uso do Espaço Exterior (1999), que enfatiza a cooperação internacional e o desenvolvimento sustentável no espaço [3]; (ii) a Resolução 62/217 (2007), que apoia medidas para mitigar detritos espaciais [4]; e (iii) as Diretrizes para a Sustentabilidade de Longo Prazo das Atividades Espaciais (2018), que recomendam práticas para a sustentabilidade das operações espaciais [5].

Além dessas diretrizes, há inúmeras questões técnicas a serem desenvolvidas para o alcance do objetivo de se manter um uso pacífico e sustentável do espaço. Neste âmbito técnico, a coordenação das ações e regramentos fica a cargo da União Internacional de Telecomunicações – UIT, especificamente de seu setor de Radiocomunicações (UIT-R), órgão das Nações Unidas responsável pela gestão do espectro de radiofrequências e das órbitas de satélites para garantir uma utilização racional, equitativa, eficiente e econômica destes recursos por todos os serviços de radiocomunicações [8].

Em 2022, na Conferência de Plenipotenciários da UIT, reunião do mais alto nível deste órgão e que serve como mecanismo de tomada de decisão quanto aos planos estratégicos e financeiros, liderança e direção geral da organização [9], foram aprovadas três resoluções sobre a temática de sustentabilidade espacial: (i) a Resolução 186 (Rev. Bucharest, 2022), que destaca a necessidade de cooperação internacional e reforça o papel da UIT no que diz respeito à transparência e às medidas de confiança nas atividades espaciais [10]; (ii) a Resolução 218 (Bucharest, 2022), que ressalta o papel da UIT no desenvolvimento da Agenda Espacial 2030, considerando o espaço como motor de um desenvolvimento sustentável [11]; e (iii) a Resolução 219 (Bucharest, 2022), que determina estudos sobre a questão do aumento do uso do espectro e das órbitas não-geoestacionárias, visando a sustentabilidade espacial de longo prazo destes recursos e o uso racional e equitativo do espaço [12].

Ato contínuo, em sua Assembleia de Radiocomunicações de 2023, a UIT aprovou a Resolução ITU-R 74, que determinou à UIT-R, em caráter de urgência, a continuidade das atividades técnicas para garantir a sustentabilidade espacial de longo prazo, com foco na prevenção de interferências prejudiciais e na

garantia do uso racional, equitativo, eficiente e econômico do espectro de radiofrequências e dos recursos orbitais associados, bem como o desenvolvimento de um manual sobre melhores práticas para o uso sustentável de frequências e órbitas não-geoestacionárias associadas por serviços de radiocomunicações espaciais. Essa mesma Resolução também instruiu os grupos de estudo relevantes do UIT-R a desenvolver uma nova recomendação sobre estratégias e metodologias seguras e eficientes de *deorbit*<sup>4</sup> para estações espaciais não-geoestacionárias após o fim da sua vida útil, considerando a colaboração e a troca de informações com outras organizações das Nações Unidas que lidam com atividades espaciais, especialmente o UNOOSA e o COPUOS [13].

Outros órgãos internacionais, como a Academia Internacional de Astronáutica - IAA e o *World Economic Forum - WEF*, também desempenham um papel crucial para a sustentabilidade espacial. A IAA organiza conferências internacionais e publica relatórios sobre gestão de detritos espaciais, segurança de missões e sustentabilidade das operações espaciais, enquanto o WEF, através do Conselho Global do Futuro sobre o Futuro do Espaço, promove discussões e parcerias globais para desenvolver práticas sustentáveis, reunindo líderes da indústria, governos e sociedade civil [14] [15]. A União Europeia, através da ESA, também promove políticas de sustentabilidade espacial e lidera projetos de tecnologias para gestão de detritos, além de coordenar o programa "*Space Surveillance and Tracking*", que é focado na monitorização e mitigação de detritos espaciais [16].

Apesar das inúmeras ações existentes no contexto internacional, ainda há poucos países que de fato implementam regras específicas de sustentabilidade espacial em seus regramentos nacionais. O Brasil, por meio do Ministério das Relações Exteriores, da Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL e da Agência Espacial Brasileira - AEB, tem participado ativamente das discussões nos organismos internacionais, na tentativa de criar um padrão e uma conscientização global. O fato é que, como o espaço é um bem comum da humanidade, se as ações não forem desenvolvidas em conjunto, de forma organizada, há grande risco de que sua ocupação se dê de maneira não coordenada, o que pode gerar um risco de colapso muito em breve.

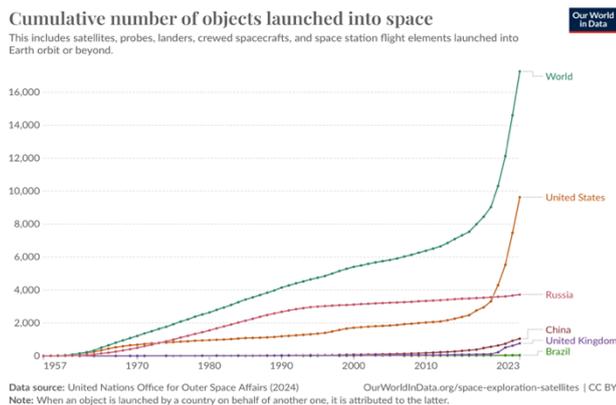
### III. OBJETOS LANÇADOS AO ESPAÇO EXTERIOR ENTRE 1957-2023

De acordo com os dados do UNOOSA, compilados pelo "*Our World in Data*" [17], até 2023 havia 17.489 objetos lançados ao espaço exterior por diversos países do mundo, incluindo satélites, sondas, módulos de aterrissagem, espaçonaves tripuladas e elementos de voo de estações. Estes dados podem ser visualizados na Figura 1 e mostram que nações como os Estados Unidos da América, a Rússia, a China e o Reino Unido possuem os maiores quantitativos de objetos lançados ao espaço exterior.

Ao se realizar uma análise gráfica desses números, é possível inferir que há uma tendência de crescimento linear até o ano de 2018, momento em que se passa a ter uma tendência de crescimento com bases exponenciais.

<sup>4</sup> *Deorbit*: ação de se retirar do espaço um satélite ou um sistema espacial.

FIGURA 1 - OBJETOS LANÇADOS AO ESPAÇO EXTERIOR 1957-2023



Fonte: Our World in Data [17]

Os números anuais referentes ao quantitativo de lançamentos de objetos ao espaço exterior, assim como de objetos espaciais retirados de órbita, estão presentes no Índice Online de Objetos Lançados ao Espaço Exterior<sup>1</sup>, e podem ser visualizados na Tabela 1, onde  $Y_{ano}$  = número de lançamentos em determinado ano;  $Y_{agr}$  = número de lançamentos agregados por ano;  $O_r$  = número de objetos espaciais retirados de órbita em determinado ano; e  $O_p$  = número de objetos espaciais remanescentes em órbita por ano.

TABELA 1 – OBJETOS LANÇADOS AO ESPAÇO / RETIRADOS DE ÓRBITA - 1957-2023

Ano	Y <sub>ano</sub>	Y <sub>agr</sub>	O <sub>r</sub>	O <sub>p</sub>	Ano	Y <sub>ano</sub>	Y <sub>agr</sub>	O <sub>r</sub>	O <sub>p</sub>
1957	2	2	0	2	1991	137	4282	60	4222
1958	8	10	5	5	1992	130	4412	69	4343
1959	14	24	8	16	1993	108	4520	47	4473
1960	20	44	10	34	1994	123	4643	36	4607
1961	38	82	14	68	1995	105	4748	43	4705
1962	77	159	47	112	1996	100	4848	29	4819
1963	71	230	44	186	1997	152	5000	30	4970
1964	107	337	54	283	1998	157	5157	24	5133
1965	161	498	71	427	1999	129	5286	29	5257
1966	145	643	99	544	2000	121	5407	38	5369
1967	159	802	94	708	2001	86	5493	44	5449
1968	140	942	99	843	2002	96	5589	45	5544
1969	138	1080	98	982	2003	88	5677	23	5654
1970	130	1210	84	1126	2004	74	5751	15	5736
1971	156	1366	75	1291	2005	72	5823	24	5799
1972	133	1499	66	1433	2006	95	5918	20	5898
1973	138	1637	65	1572	2007	111	6029	25	6004
1974	128	1765	69	1696	2008	109	6138	22	6116
1975	158	1923	69	1854	2009	125	6263	24	6239
1976	158	2081	69	2012	2010	121	6384	37	6347
1977	137	2218	57	2161	2011	129	6513	38	6475
1978	165	2383	82	2301	2012	134	6647	35	6612
1979	124	2507	94	2413	2013	210	6857	39	6818
1980	130	2637	94	2543	2014	241	7098	88	7010
1981	158	2795	82	2713	2015	222	7320	75	7245
1982	145	2940	72	2868	2016	221	7541	70	7471
1983	154	3094	75	3019	2017	456	7997	57	7940
1984	163	3257	66	3191	2018	452	8449	118	8331
1985	165	3422	68	3354	2019	586	9035	199	8836
1986	134	3556	54	3502	2020	1274	10309	117	10192
1987	135	3691	55	3636	2021	1813	12122	177	11945
1988	145	3836	72	3764	2022	2477	14599	395	14204
1989	139	3975	82	3893	2023	2890	17489	619	16870
1990	170	4145	63	4082					

Fonte: UNOOSA<sup>1</sup>

A tendência de crescimento exponencial a partir do ano de 2018 pode ser corroborada por meio de uma análise de regressão linear simples, onde se percebe que coeficiente de determinação

$R^2$ , que indica o quão bem os dados analisados se ajustam ao modelo de regressão linear, tem um valor máximo de variação de 0,9945 em 2018 (ver explicação a seguir) e, a partir de 2019, possui uma queda acentuada.

A análise de regressão linear é calculada por meio da equação  $y = \alpha x + \beta$ , onde  $y$  = estimativa do número acumulado de objetos espaciais lançados em determinado ano com base na tendência histórica linear;  $\alpha$  = coeficiente angular, que representa a taxa de variação anual média do número de lançamentos;  $x$  = ano de análise; e  $\beta$  = intercepto, que representa o valor teórico de  $y$  quando  $x$  é zero.

Para calcular o coeficiente angular e o intercepto, torna-se necessário saber a média relativa aos anos do período em análise ( $X_{med}$ ), bem como a média de lançamentos acumulados ( $Y_{med}$ ) neste mesmo período:

$$X_{med} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{62} \sum_{i=1957}^{2018} x_i = 1.987,5$$

$$Y_{med} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{1}{62} \sum_{i=1957}^{2018} y_i = 3.654,31$$

Com estes dados, pode-se calcular o coeficiente angular e o intercepto, para que seja possível definir a fórmula exata da equação de linearidade:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_{med})(y_i - Y_{med})}{\sum_{i=1}^n (x_i - X_{med})^2} = 133,28$$

$$\beta = Y_{med} - \alpha X_{med} = -261.246,35$$

A equação de linearidade para este caso analisado pode ser definida, então, por  $y' = 133,28x - 261.246,35$ , onde  $y'$  = número acumulado de lançamentos previstos em determinado ano; e  $x$  = ano de análise.

Agora, com todos os dados calculados, deve-se achar o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que é caracterizado por ser uma medida estatística que indica a proporção da variação da variável dependente (no caso, o número acumulado de lançamentos espaciais) que é explicada pela variável independente (o ano) no modelo de regressão. Para se calcular  $R^2$  utiliza-se a seguinte equação:

$R^2 = 1 - \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}}$ , onde  $SQ_{res}$  = a soma dos quadrados dos resíduos; e  $SQ_{tot}$  = a soma dos quadrados totais.

Os resíduos do modelo de regressão linear se referem à diferença entre o número real e o número estimado quando aplicada a equação de linearidade, ou seja, essa diferença mostra a discrepância entre a previsão do modelo e a realidade. Para se calcular o  $SQ_{res}$  e o  $SQ_{tot}$  aplica-se as equações a seguir:

$SQ_{res} = \sum_{i=1}^n (y_i - y')^2$ , onde  $y_i$  é o número de lançamentos observados e  $y'$  é o número de lançamentos previstos por cada ano.

$$SQ_{res} = \sum_{i=1957}^{2018} (y_i - y')^2 = 1.949.045,57$$

$SQtot = \sum_{i=1}^n (y_i - Ymed)^2$ , onde  $y_i$  é o número de lançamentos observados e  $Ymed$  é a média de lançamentos observados.

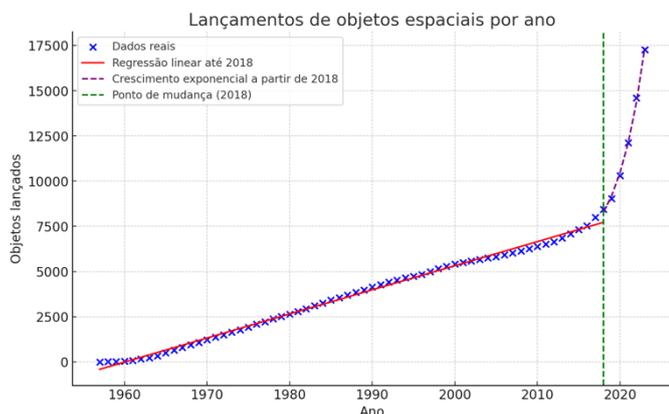
$$SQtot = \sum_{i=1957}^{2018} (y_i - Ymed)^2 = 354.671.095,18$$

Em posse do  $SQres$  e  $SQtot$ , chega-se ao valor de  $R^2$ :

$$R^2 = 1 - \frac{1.949.045,57}{354.671.095,18} \Rightarrow R^2 = 0,9945 \text{ ou } 99,45\%$$

O número de  $R^2$  encontrado indica que 99,45% da variação no número de objetos lançados ao espaço pode ser explicada pelo modelo de regressão linear, representando uma forte correlação de linearidade até o ano de 2018. Porém, se a série a partir de 2019 for considerada, o valor de  $R^2$  começa a diminuir e percebe-se que o crescimento deixa de ser linear e passa a aumentar em taxas exponenciais, conforme também demonstrado graficamente na Figura 2 a seguir:

FIGURA 2 - CURVA DE CRESCIMENTO DO NÚMERO DE OBJETOS ESPACIAIS LANÇADOS POR ANO



Fonte: Elaborada pelos autores

#### IV. PROJEÇÃO DE OBJETOS EXISTENTES NO ESPAÇO EXTERIOR ATÉ O ANO DE 2035

Para projetar o crescimento do número de objetos a serem lançados ao espaço exterior até o ano de 2035, utilizou-se a expressão de crescimento exponencial  $P(t) = P_0(1 + r)^t$ , em que  $P_0$  = quantidade inicial (número agregado de objetos lançados no ano de referência);  $r$  = taxa de crescimento anual; e  $t$  = número de anos no futuro. Foi considerada uma taxa de crescimento anual composta de 17,95%, calculada em relação ao agregado de objetos lançados entre 2019 e 2023, quando o comportamento mudou e o crescimento passou a se dar em bases exponenciais.

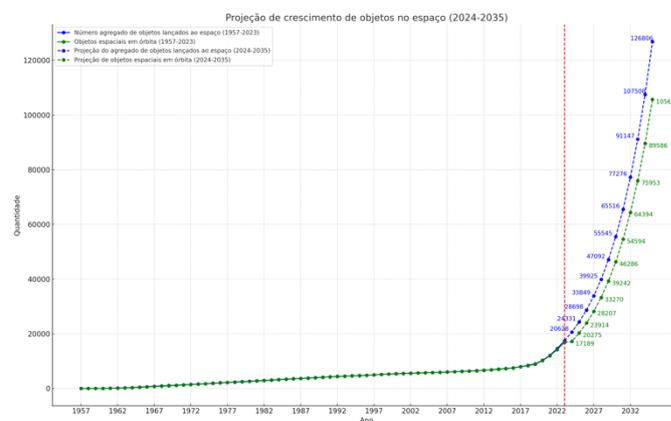
Além disso, visando uma projeção mais próxima da realidade, também se utilizou o número de objetos espaciais que saíram de órbita como um deflator no quantitativo projetado de objetos possivelmente existentes no espaço (ver explicação a seguir), conforme dados extraídos do Índice Online de Objetos Lançados ao Espaço Exterior<sup>1</sup>, consolidados na Tabela 1.

Neste ponto, cabe ressaltar que o tempo que os objetos espaciais levam para sair naturalmente de órbita varia conforme a altitude em que eles são lançados. Para as órbitas de até 400 km, esse período varia entre dois e cinco anos. Já para órbitas

entre 400 e 600 km, mais comumente ocupadas pelas grandes constelações de satélites, o tempo pode variar de cinco a quinze anos [18]. Diante deste contexto, e considerando que a maior ocupação das órbitas baixas pelas grandes constelações de satélites teve um aumento com bases exponenciais a partir de 2019, conforme demonstrado anteriormente neste documento, optou-se por utilizar, como base, a média percentual do quantitativo de objetos que saíram de órbita entre 2019 e 2023 em relação ao quantitativo de objetos lançados ao espaço no mesmo período (ver Tabela 1), o que resultou em um valor de 16,67%.

Deste modo, tem-se que o valor da projeção de crescimento para 2035 é  $P_{2035} = 17.489 \cdot (1 + 0,1795)^{12} \cong 126.806$ . Considerando o deflator de objetos que podem sair de órbita, de 16,67%, tem-se que  $P_{2035} \cong 105.667$ , conforme Figura 3 a seguir:

FIGURA 3 - PROJEÇÃO DE CRESCIMENTO DE OBJETOS NO ESPAÇO, COM BASE EM MODELO EXPONENCIAL



Fonte: Elaborada pelos autores

#### V. CONCLUSÕES

O recente aumento das constelações de satélites, que foi impulsionado, principalmente, por empresas privadas que têm um grande montante de recursos para investimento, tem o potencial de revolucionar a conectividade global, mas também acaba trazendo desafios significativos em termos de gerenciamento da ocupação das órbitas, com a conseqüente geração de detritos espaciais. Como mostrado neste documento, em 62 anos, entre 1957 e 2018, havia o registro de 8.449 objetos lançados ao espaço, mas este número mais do que dobrou em apenas 5 anos, totalizando 17.489 objetos lançados até o final de 2023 (ver Tabela 1), ou seja, em 5 anos houve o lançamento de quase a mesma quantidade de objetos ao espaço do que nos 62 anos anteriores.

O cenário futuro aponta para um aumento ainda maior na ocupação das órbitas, o que reforça a necessidade de um esforço coletivo, mais intenso e contínuo, para promoção do uso sustentável do espaço. Os dados apresentados neste documento mostram que, ao considerar a série histórica de lançamentos espaciais, as projeções de crescimento, e a taxa média de objetos que podem sair de órbita até 2035, o número total de objetos no espaço exterior pode ultrapassar 105 mil unidades (ver Figura 3), um cenário de alto crescimento, mas que condiz com as notícias sobre os planos de lançamento de constelações de satélites pelas empresas e países [19].

Estes números, por si só, já são motivo de preocupação, mas tendem a ficar ainda mais alarmantes quando consideradas as premissas da Síndrome de Kessler, em que se prevê a possibilidade de ocorrência de colisões em cascata, aumentando exponencialmente a quantidade de detritos espaciais, devido ao incremento do número de satélites de baixa órbita. Dados providos pela ESA [20], com última atualização em dezembro de 2023, indicam que as redes de vigilância espacial rastreiam cerca de 35.150 detritos no espaço. Além disso, com base em modelos estatísticos, a ESA descreve que estima haver, atualmente, 36.500 objetos de detritos espaciais maiores que 10 cm, 1.000.000 entre 1 e 10 cm, e 130 milhões entre 1 mm e 1 cm.

A perspectiva de crescimento exponencial do número de objetos lançados ao espaço exige uma abordagem robusta e coordenada entre as nações e organizações internacionais. Mais estudos são necessários para se definir qual seria o valor máximo de ocupação das órbitas, ainda mais quando o aumento nesta ocupação também eleva o risco de ocorrência da Síndrome de Kessler. Neste contexto, a promoção de práticas sustentáveis e o desenvolvimento de tecnologias para a remoção de detritos do espaço, além da criação de normas e padrões internacionais, são medidas essenciais para evitar colisões e garantir a segurança de longo prazo das operações espaciais.

Diante deste cenário, fica patente que a sustentabilidade espacial deve continuar sendo uma prioridade global. Esforços conjuntos são necessários para se garantir um espaço exterior seguro e viável para as futuras gerações. Muita coisa mudou desde o lançamento do Sputnik, e a era das grandes constelações de satélites está a pleno vapor. Se de um lado é importante pensar na evolução tecnológica, também se torna primordial garantir que o avanço das tecnologias seja acompanhado por uma governança global adequada, para que seja possível enfrentar os desafios de conectividade existentes ao mesmo tempo em que se assegure o uso seguro e sustentável do espaço para o futuro.

O Brasil tem feito sua parte. A recém aprovada Lei nº 14.946, de 31 de julho de 2024, também conhecida como Lei Geral do Espaço [21], trouxe inovações importantes para o desenvolvimento sustentável das atividades espaciais nacionais. A seção IV da referida Lei, que trata da mitigação de detritos espaciais, estabelece as regras e obrigações para os operadores, além de definir os órgãos responsáveis pelo controle dessa questão. Não obstante, os esforços isolados de apenas algumas nações não serão suficientes para enfrentar os desafios espaciais existentes e futuros, pois o espaço é um bem comum da humanidade e qualquer impacto negativo neste ambiente pode ter repercussões globais, afetando não apenas uma nação, mas toda a comunidade internacional.

#### REFERÊNCIAS

- [1] NASA, "Sputnik and the Origins of the Space Age," 2005. [Online]. Disponível em: <https://www.nasa.gov/history/sputnik/sputorig.html>
- [2] D. J. Kessler and B. G. Cour-Palais, "Collision Frequency of Artificial Satellites: The Creation of a Debris Belt," *Journal of Geophysical Research*, vol. 83, no. A6, pp. 2637-2646, 1978.
- [3] United Nations, "The Space Millennium: Vienna Declaration on Space and Human Development," 1999. [Online]. Disponível em: <https://www.unoosa.org/pdf/reports/unispace/viennadecle.pdf>
- [4] United Nations General Assembly, "International cooperation in the peaceful uses of outer space," Resolution 62/217, 2007. [Online]. Disponível em: [https://www.unoosa.org/pdf/gares/ARES\\_62\\_217E.pdf](https://www.unoosa.org/pdf/gares/ARES_62_217E.pdf)
- [5] United Nations Office for Outer Space Affairs, "Guidelines for the Long-term Sustainability of Outer Space Activities," 2018. [Online]. Disponível em: [https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2018/aac\\_1052018\\_crp/aac\\_1052018\\_crp\\_20\\_0\\_html/AC105\\_2018\\_CRP20E.pdf](https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2018/aac_1052018_crp/aac_1052018_crp_20_0_html/AC105_2018_CRP20E.pdf)
- [6] United Nations Office for Outer Space Affairs, "About Us," 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.unoosa.org/oosa/en/aboutus/index.html>
- [7] United Nations Office for Outer Space Affairs, "Committee on the Peaceful Uses of Outer Space," 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/index.html>
- [8] International Telecommunication Union, "Welcome to ITU-R," 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.itu.int/en/ITU-R/information/Pages/default.aspx#gsc.tab=0>
- [9] International Telecommunication Union, "What do you need to know ahead of PP-22," 2022. [Online]. Disponível em: <https://pp22.itu.int/en/itu-backgrounders/what-you-need-to-know-ahead-of-pp-22/>
- [10] International Telecommunication Union, "Resolution 186 (Rev. Bucharest, 2022)," [Online]. Disponível em: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-s/opb/conf/S-CONF-ACTF-2022-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-s/opb/conf/S-CONF-ACTF-2022-PDF-E.pdf), pp. 316-318, 2022
- [11] International Telecommunication Union, "Resolution 218 (Bucharest, 2022)," [Online]. Disponível em: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-s/opb/conf/S-CONF-ACTF-2022-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-s/opb/conf/S-CONF-ACTF-2022-PDF-E.pdf), pp. 401-404, 2022
- [12] International Telecommunication Union, "Resolution 219 (Bucharest, 2022)," [Online]. Disponível em: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-s/opb/conf/S-CONF-ACTF-2022-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-s/opb/conf/S-CONF-ACTF-2022-PDF-E.pdf), pp. 405-406, 2022
- [13] International Telecommunication Union, "Resolution ITU-R 74," [Online]. Disponível em: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/res/R-RES-R.74-2023-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/res/R-RES-R.74-2023-PDF-E.pdf), 2023
- [14] International Academy of Astronautics, "IAA At A Glance," 2024. [Online]. Disponível em: <https://iaaspace.org/about/iaa-in-brief/>
- [15] World Economic Forum, "Global Future Council on the Future of Space," 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.weforum.org/communities/gfc-on-space/>
- [16] European Space Agency, "Space Surveillance and Tracking - SST Segment", 2024. [Online]. Disponível em: [https://www.esa.int/Space\\_Safety/Space\\_Surveillance\\_and\\_Tracking\\_-\\_SST\\_Segment](https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Surveillance_and_Tracking_-_SST_Segment)
- [17] E. Mathieu and M. Roser, "Data Page: Cumulative number of objects launched into space," United Nations Office for Outer Space Affairs, 2022. [Online]. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/cumulative-number-of-objects-launched-into-outer-space>. Acessado em: 24 de maio de 2024.
- [18] NASA, "State-of-the-Art of Small Spacecraft – Deorbit Systems," 2024. [Online]. Disponível em: <https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/deorbit-systems/>
- [19] SPACE.com, "Over 1 million satellites could be headed to Earth orbit, and scientists are worried," 2023. [Online]. Disponível em: <https://www.space.com/million-satellites-congest-low-earth-orbit-study-shows>
- [20] European Space Agency, "Space debris by the numbers", 2023. [Online]. Disponível em: [https://www.esa.int/Space\\_Safety/Space\\_Debris/Space\\_debris\\_by\\_the\\_numbers](https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers). Acessado em: 06 de junho de 2024.
- [21] Brasil. "Lei nº 14.946, de 31 de julho de 2024, que institui normas aplicáveis a atividades espaciais nacionais," 2024. [Online]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2023-2026/2024/lei/L14946.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14946.htm)