

**Responsabilidade civil por danos decorrentes de objetos
Lançados ao espaço exterior****Civil liability for damages arising from objects
Launched outside**

DOI:10.34117/bjdv6n2-054

Recebimento dos originais: 30/12/2019

Aceitação para publicação: 06/02/2020

Thiago Dellazari Melo

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Aeroespaciais da Universidade da Força Aérea (UNIFA), Rio de Janeiro RJ
dellazaritdm@fab.mil.br

RESUMO

Este artigo analisa a responsabilidade civil, por danos decorrentes de objetos lançados ao Espaço Exterior, em um contexto de ascensão da exploração espacial com entrada de novos atores nesse mercado e o crescente número de microssatélites sendo colocados em órbita, abordando ainda o problema relacionado aos detritos espaciais (space debris). Tal abordagem se justifica em razão da possibilidade de ocorrência de danos causados por objetos lançados e a necessidade de observância de regras jurídicas que objetivem minimizar estes danos, além de responsabilizar os Estados envolvidos na exploração espacial. O objetivo deste estudo é demonstrar cenários e desafios que poderão ser enfrentados nesta nova etapa das atividades espaciais, como forma de proporcionar a ampliação do debate sobre o tema. Para este propósito foi realizada a revisão bibliográfica e a pesquisa descritiva de dados relacionados aos danos decorrentes de objetos lançados ao Espaço Exterior, a metodologia utilizou dados públicos e trabalhos acadêmicos. A análise demonstra a necessidade de ampliação do debate acadêmico sobre ameaças e oportunidades inerentes à atual regulamentação jurídica existente.

Palavras-chave: Responsabilidade, dano, detritos espaciais, space debris.

ABSTRACT

This article analyzes civil liability for damages arising from objects launched into outer space, in a context of the rise of space exploration with the entry of new players in this market and the growing number of microsatellites being placed in orbit, also addressing the problem related to debris space debris. Such an approach is justified due to the possibility of damage caused by launched objects and the need to comply with legal rules that aim to minimize this damage, in addition to holding the States involved in space exploration accountable. The objective of this study is to demonstrate scenarios and challenges that may be faced in this new stage of space activities, as a way of providing an extension of the debate on the theme. For this purpose, a bibliographic review and a descriptive research of data related to the damage resulting from objects thrown to the Outer Space were carried out, the methodology used public data and academic works. The analysis demonstrates the need to expand the academic debate about threats and opportunities inherent in the current existing legal regulation.

Keywords: Liability, damage, space debris, space debris.

1 INTRODUÇÃO

A exploração espacial adquiriu novo formato. O Velho Espaço, caracterizado pela bipolaridade EUA/URSS e pelos altos custos, está sendo substituído pelo agora chamado Novo Espaço (*new space*), mais ágil e tecnológico, com novos atores (múltiplas nações e empresas privadas) como protagonistas na corrida espacial. O advento dos microssatélites e a redução dos custos de acesso ao Espaço impulsionam a formação deste novo cenário para a utilização do Espaço Exterior. (SMARTT, 2016)

Como reflexo desse crescente acesso ao Espaço Exterior pela humanidade, o pesquisador Holger Burkhardt (2018) aponta que, em 2017, a massa de satélites lançados foi da ordem de 367 toneladas. Tal fato representa como a sociedade atual criou uma grande dependência dos serviços satelitais, os quais estão presentes no cotidiano das pessoas das mais variadas formas e, em grande medida, através da popularização da utilização dos *smartphones*.

De outro lado, esse avanço da exploração espacial tem ocasionado consequências preocupantes que não podem ser negligenciadas. Não se pode perder de vista a sustentabilidade da atividade espacial, daí a necessária preocupação com a grande quantidade de detritos espaciais (*space debris*) gerados e acumulados nas órbitas da Terra.

Segundo relatório técnico da Organização das Nações Unidas (ONU) são considerados detritos espaciais (*space debris*) todos os objetos feitos pelo homem, incluindo-se fragmentos e componentes, cujos proprietários estejam identificados ou não, que estão nas órbitas da Terra ou reentrando em camadas densas da atmosfera e que não possuem a funcionalidade para que foram criados e não estão hábeis a retomar essas funcionalidades. (UNITED NATIONS, 1999)

Nesse conjunto de detritos espaciais, encontram-se peças, parafusos, partículas de tinta, estágios de foguetes, tanques de combustível, satélites inativos, dentre outros. Esses detritos representam uma concentração de resíduos nas órbitas da Terra como produto de mais de 05 (cinco) décadas de atividades humanas no Espaço Exterior. (BREARLEY, 2005)

Para Andrew Brearley (2005), os detritos em órbita representam uma real e crescente ameaça à atividade humana no espaço. Tais detritos possuem características internacionais, pois são criados por diferentes Estados, existem fisicamente fora de seus domínios e não reconhecem bandeiras nacionais, de modo que, em geral, um detrito espacial pode destruir qualquer outro objeto espacial. Acrescenta-se ainda às reflexões do supracitado autor, as consequências decorrentes da reentrada de tais detritos na atmosfera terrestre, inclusive, com impactos na superfície.

A relevância do assunto é tamanha que a Agência Espacial Americana (NASA - *National Aeronautics and Space Administration*) assumiu, através do Escritório do Programa de Detritos Orbitais (*Orbital Debris Program Office*), a liderança internacional na condução de estudos e medidas

técnicas para mitigação dos efeitos dos detritos espaciais. A NASA estima a existência, em órbita, de cerca de 19 mil objetos com 10cm ou mais detectados, entre 1 e 10cm podem chegar a 500 mil e com menos de 1cm são estimados em dezenas de milhões. (ORBITAL DEBRIS PROGRAM OFFICE, 2019)

Em relação ao Brasil, uma nova inserção brasileira no mercado de exploração das atividades espaciais está sendo aguardada, haja vista o anúncio de que o País celebrou, em 2019, um Acordo de Salvaguarda Tecnológica (AST) com os Estados Unidos. O referido acordo poderá representar a utilização comercial do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) para lançamentos espaciais de diversos países que utilizam componentes americanos em seus equipamentos a serem lançados a partir do Brasil. (AGÊNCIA BRASIL, 2019)

No âmbito da comunidade internacional, no que se refere ao Direito Espacial, o Estado Brasileiro é signatário dos principais Tratados sobre a utilização do Espaço Exterior, inclusive, a Convenção sobre Responsabilidade Internacional por Danos Causados por Objetos Espaciais de 1972. Essa Convenção foi incorporada ao Ordenamento Jurídico Brasileiro pelo Decreto nº. 71.981, de 22 de março de 1973. (BRASIL, 1973)

Não obstante as atividades espaciais estarem sujeitas a elevados riscos, o Brasil já possui uma experiência trágica com o acidente ocorrido em agosto de 2003 no Centro de Lançamento de Alcântara, o qual resultou na perda lastimável da vida de 21 técnicos que trabalhavam no lançamento. (TECMUNDO, 2019)

Portanto, a ascensão da exploração espacial também aumenta a possibilidade da ocorrência de danos decorrentes, não somente das atividades em superfície, mas também de objetos espaciais lançados. Principalmente, os chamados *space debris* que podem ocasionar danos na superfície da Terra, na atmosfera ou mesmo na órbita terrestre.

Nesse ponto, o Brasil deverá estar atento aos riscos e às responsabilidades a serem assumidas no cenário internacional em decorrência do seu ingresso no mercado comercial de lançamentos espaciais, especialmente, ao figurar como Estado Lançador.

Daí a atualidade do tema e a importância do presente estudo para despertar reflexões acerca dos detritos espaciais, dos danos decorrentes da exploração espacial e da responsabilização dos Estados, em fomentar a sustentabilidade da utilização do Espaço Exterior.

2. DA RESPONSABILIDADE CIVIL POR OBJETOS LANÇADOS

A responsabilidade civil no mundo ocidental recebeu forte influência do Direito Romano, sendo conceituada, por exemplo, no Direito Francês por autores como Savatier (1951, p. 361) como

sendo a obrigação incumbida a uma pessoa em reparar o prejuízo causado a outra, por fato próprio ou por fato de pessoas ou coisas que dela dependam.

Na mesma linha de entendimento, Pirson e De Villé (1935, p. 132) definiram a responsabilidade civil como a obrigação imposta pela lei às pessoas no sentido de responderem pelos seus atos, isto é, suportar, em certas condições as consequências prejudiciais destes.

Assim, no mundo ocidental, a responsabilidade civil está relacionada com a ocorrência da danos provocados pela ação ou omissão do agente e a obrigação incumbida a esse mesmo agente de reparar os prejuízos causados.

O estudo da Convenção sobre Responsabilidade Internacional por Danos Causados por Objetos Espaciais, celebrada em 1972, demonstra as raízes da responsabilidade civil nos conceitos ocidentais.

Essa Convenção de 1972 estabeleceu um marco normativo internacional acerca da responsabilidade internacional por danos causados por objetos espaciais, no entanto, foi redigida em um contexto que os detritos espaciais ainda não eram um problema.

Não se pode esquecer o momento histórico em que a Convenção de 1972 foi redigida. No auge de um contexto de bipolaridade na exploração espacial, composto pelas grandes potências EUA-URSS, as quais praticamente atuavam de maneira isolada em atividades espaciais.

Sendo assim, a Convenção de 1972 foi concebida com uma atenção voltada aos possíveis danos a serem causados na superfície da Terra, sendo incompleta em relação aos danos causados em órbita.

A colisão de objetos em órbita também é uma ameaça ao uso pacífico do espaço, visto que o contexto geopolítico mundial pode favorecer o acirramento de disputas entre as nações, sob a alegação da intencionalidade de danos provocados em órbita.

A colisão entre satélites pode ser interpretada como uma neutralização de um objeto espacial ou mesmo uma agressão entre Estados, daí a ameaça ao uso pacífico do espaço, da mesma forma que a destruição de um objeto espacial, ainda que pelo próprio Estado proprietário, poderá lançar componentes em direção à outros ativos espaciais de outros Estados, gerando uma polêmica relacionada aos danos provocados.

Dennerley (2018) aponta que os danos causados por um objeto em órbita, por meio de uma colisão com outro objeto espacial também em órbita, encontram limitações de aplicabilidade para a Convenção de Responsabilidade de 1972.

Isto porque o autor indica que a Convenção de 1972 exige a prova de culpa (*fault*) do Estado, porém esse conceito de culpa é ambíguo e não está delimitado de forma objetiva. Consequentemente, a crescente utilização do Espaço Exterior representa uma oportunidade para que os Estados resolvam

essa ambiguidade da interpretação de culpa, estabelecendo instrumentos legais, normas e padrões de comportamento, com o objetivo de minimizar as dúvidas decorrentes da interpretação do Artigo 3º da Convenção de Responsabilidade de 1972.

No entanto, não se pode negar completamente que os conceitos delineados na Convenção de 1972 sejam aplicáveis, ainda que lacunas precisem ser preenchidas em razão da nova dinâmica em torno da exploração espacial, com o ingresso de empresas privadas, a reentrada de objetos na atmosfera e o acúmulo de detritos espaciais em órbita.

A Convenção de 1972 estabelece o conceito de objeto espacial, contemplando peças e componentes de um objeto espacial, o seu veículo de lançamento e as peças do mesmo, sendo assim, através de uma interpretação mais abrangente pode-se concluir que os detritos espaciais estão abarcados no conceito de objeto espacial.

A Convenção de 1972 também define o conceito de “Estado Lançador”, conceito esse que merece reflexões, especialmente, diante da cooperação dos Estados nos programas espaciais e da utilização de Centros de Lançamentos ao redor do mundo.

No Artigo 1º são definidos os principais conceitos, quais sejam, dano, lançamento, Estado Lançador e objeto espacial:

ARTIGO 1º Para os propósitos da presente convenção:

- (a) o termo “**dano**” significa perda de vida, ferimentos pessoais ou outro prejuízo à saúde; perdas de propriedade de Estados ou de pessoas físicas ou jurídicas ou danos sofridos por tais propriedades, ou danos e perdas no caso de organizações intergovernamentais internacionais;
- (b) o termo “**lançamento**” incluir tentativas de lançamento;
- (c) o termo “**Estado lançador**” significa:
 - (i) um Estado que lança ou promove o lançamento de um objeto espacial;
 - (ii) um Estado de cujo território ou de cujas instalações é lançado um objeto espacial;
- (d) o termo “**objeto espacial**” incluir peça, componentes de um objeto espacial, e também o seu veículo de lançamento e peças do mesmo. (grifo nosso)

Observa-se que, especificamente, o conceito de “Estado Lançador” abrange não só o Estado que lança ou promove o lançamento, mas também o Estado de cujo território ou de cujas instalações é lançado um objeto espacial, já o Artigo 2º define a responsabilidade pelo pagamento de indenizações por danos causados, senão vejamos:

ARTIGO 2º

Um Estado lançador será responsável absoluto pelo pagamento de indenização por danos causados por seus objetos espaciais na superfície da Terra ou a aeronaves em vôo. (grifo nosso)

No caso brasileiro, diante da pretensão de comercialização da utilização do Centro de Lançamento de Alcântara, no Maranhão, conclui-se que tal responsabilidade abrange o Brasil, a partir de lançamentos realizados do CLA, por se tratar de lançamento oriundo do território brasileiro.

Daí a importância de o Estado Brasileiro estar atento aos compromissos internacionais assumidos, bem como preocupar-se em estabelecer contratualmente, quando da eventual

comercialização de serviços a partir do CLA, de forma clara e objetiva, a delimitação de responsabilidades por danos causados por objetos espaciais lançados.

Tal cuidado é imprescindível porque muitos programas espaciais são compostos por vários países atuando em conjunto e de forma colaborativa, assim, o dimensionamento da responsabilidade de cada um em caso de danos é de difícil mensuração. Ainda mais quando se tratar da responsabilização do Estado em que o lançamento foi originado, o qual pode não ter participado efetivamente da missão espacial e somente ter abrigado as atividades de lançamento.

Como se vê, a Convenção sobre Responsabilidade Internacional por Danos Causados por Objetos Espaciais de 1972 dedica maior atenção aos danos causados, de forma posterior a sua ocorrência. Não há instrumentos objetivos e mecanismos para mitigar tais danos, de forma preventiva. Assim, a Convenção de 1972 dispõe de forma superficial sobre os detritos espaciais, sendo silente em fixar um verdadeiro compromisso internacional para que os detritos espaciais não se tornem restritivos para a atividade humana no Espaço Exterior.

3. DA RESPONSABILIDADE POR DETRITOS ESPACIAIS

O aumento do número de registros de reentrada de objetos na atmosfera terrestre lança um alerta à comunidade internacional relacionado aos danos que tais objetos podem causar, razão pela qual a humanidade não pode negligenciar tal fato.

A reentrada de objetos oriundos do Espaço Exterior no território de um país soberano pode até mesmo ser interpretada como uma violação de sua soberania ou a responsabilização pode estar limitada somente à ocorrência de danos físicos? São questões difíceis e que demandam aprofundamento do debate.

O risco de reentrada de objetos pode até mesmo ameaçar a aviação comercial e o aumento do tráfego aéreo contribui para a elevação dessa possibilidade. De outro lado, estudiosos sustentam que 75% da superfície terrestre é composta por oceanos e portanto, há uma grande probabilidade de que os objetos caiam no mar e danos não ocorram.

Os satélites possuem uma vida útil variável, conseqüentemente, quando completam suas missões, tornam-se inativos, podendo ser, intencionalmente, retirados da sua órbita original para serem atraídos de volta à Terra.

A intenção é que a reentrada na atmosfera terrestre provoque a incineração dos seus componentes, entretanto, muitos componentes resistem à reentrada e podem causar danos no impacto com a superfície terrestre.

Vários são os motivos que encerram a vida útil de um satélite, tais como a exposição ao ambiente hostil do Espaço Exterior, a obsolescência de suas funções, atritos com meteoritos ou

objetos feitos pelo homem, ou mesmo o seu abandono ao final da sua missão. Porém, a alteração de operacional para desativado não é reconhecida pelos Tratados Internacionais sobre a utilização do Espaço Exterior.

Assim, quando os satélites deixam de funcionar e perdem a conexão com o controle de solo, eles se tornam um resíduo à deriva. Somente satélites operacionais podem ser direcionados, reentrados na atmosfera ou até mesmo receber comandos de autodestruição, conseqüentemente, a única lei que os objetos vagando no Espaço Exterior obedecem é a da física gravitacional, responsável por manter em órbita esses objetos como mortos-vivos. (DAMJANOV, 2017)

Autores como Lee *et al* (2016) apontam que, embora aproximadamente 5.400.000 kg de detritos espaciais tenham reentrado na atmosfera da Terra, durante os últimos 40 anos, prever a massa de detritos tem sido extremamente difícil. De fato, a maioria das peças são incineradas na atmosfera, mas pedaços sobrevivem às altas temperaturas decorrentes do atrito com a atmosfera, de modo que cerca de 20-40% da massa total de um satélite que reentra na atmosfera da Terra é conhecida por alcançar a superfície terrestre. Os autores citam como exemplos, fragmentos encontrados por pessoas no Texas, Oklahoma, África do Sul e Arábia Saudita.

Os autores também apontam em seu estudo que o Comitê Inter Agências de Coordenação de Detritos Espaciais (IADC – *Inter Agency Space Debris Coordination Committee*), na tentativa de buscar a redução da quantidade de detritos espaciais, desenvolveu Diretrizes de Mitigação de Detritos Espaciais. O referido documento deve servir de orientação para o debate acerca da exploração espacial sustentável.

Ainda como contribuição ao monitoramento dos detritos espaciais, estudos coreanos indicaram que os *softwares* utilizados pela Agência Espacial Europeia (ESA – *European Space Agency*) podem ser aprimorados. A título de exemplo, o método de geocodificação reversa demonstrou ser mais preciso na indicação do posicionamento de detritos espaciais do que o programa DRAMA (*Debris Risk Assessment and Mitigation Analysis*) utilizado pela ESA (LEE *et al*, 2016). Depreende-se do estudo acima que, apesar da dificuldade técnica de monitoramento e controle dos detritos espaciais, até mesmo o modelo sistematizado de controle e monitoramento dos detritos espaciais utilizado por uma das maiores agências espaciais do mundo pode ser aprimorado, da mesma forma que lança um alerta sobre a precisão e acurácia dos sistemas de monitoramento dos detritos espaciais.

Para Singer e Musacchio (2011), o problema dos detritos espaciais apresenta-se similar aos problemas climáticos decorrentes da poluição, pois ações individuais afetam um recurso compartilhado (Espaço Exterior) ensejando o potencial para uma tragédia de conseqüências comuns a todos. Isto porque o custo das Nações para mitigar os efeitos do crescimento dos detritos espaciais

é elevado e os benefícios podem ser pequenos para o País que investe, ao passo que outra Nação pode não realizar tais custos e continuar com suas atividades espaciais, conseqüentemente, tal comportamento em escala global pode levar ao desinvestimento em ações para mitigação dos efeitos dos detritos espaciais.

Portanto, somente a partir do consenso e do compromisso das grandes potências da exploração espacial é que as normas de mitigação dos efeitos dos detritos espaciais passarão a ser de observância das demais Nações.

Há que se considerar que o Direito Internacional pode facilmente ser desrespeitado por grandes potências, porém, a lei internacional é o mecanismo disponível para regular políticas globais. Os problemas gerados pelos detritos espaciais afetam a todos, com destaque para as Nações que efetivamente estão realizando a exploração espacial. Logo, estas mesmas Nações possuem interesse em preservar suas atividades no Espaço, assim, é que o Direito Internacional servirá para proteger interesses e incentivar comportamentos tendentes a minimizar o problema.

O crescimento descontrolado da quantidade de detritos espaciais precisa ser evitado para garantir que as operações espaciais no futuro sejam seguras, não há uma única medida de mitigação capaz de conter o problema, mas uma série de medidas derivadas da cooperação internacional para proporcionar que o ambiente espacial permaneça acessível no futuro. (REX *et al*, 1999)

4. OS DETRITOS ESPACIAIS E AS ÓRBITAS TERRESTRES

Como demonstrado, os detritos espaciais são um grande problema. Em relação ao tema, passa-se a tecer esclarecimentos acerca das órbitas baixas (LEO – *Low Earth Orbit*) e da órbita geostacionária (GEO – *Geostationary Orbit*).

As órbitas baixas (LEO) compreendem a menor altitude em que objetos podem ser sustentados ao redor da Terra, compreendendo uma altitude de cerca de até 2.000km da superfície da Terra, estas são as órbitas que concentram o maior quantitativo de detritos espaciais. A simples razão para que as órbitas baixas possuam a maior concentração de detritos reside no fato de serem as mais utilizadas. (BREARLEY, 2005)

Assim, apesar da imensidão do Espaço Exterior ser incompreensível, as atividades espaciais humanas estão localizadas em uma pequena e muito específica parte dessa imensidão, daí o porquê da preocupação especial com o acúmulo de detritos espaciais nas órbitas baixas da Terra e também na órbita geostacionária.

Brearley (2005) indica o prognóstico físico e gravitacional de que os detritos espaciais localizados em altitudes entre 200 e 400 km reentrem na atmosfera terrestre em poucos meses, por esta razão, a faixa de altitude de até 500 km é considerada de auto-limpeza em poucos anos, de modo

que neste altitude estão localizados os detritos que podem alcançar a superfície da Terra no curto prazo.

Porém, a extensão das órbitas baixas é de até 2.000 km e acima dos 500 km o arrasto gravitacional da Terra é insignificante, da mesma forma que na órbita geoestacionária, que compreende uma altitude de cerca de 36.000 km, os detritos espaciais permanecerão lá indefinidamente, Johnson e McKnight (1991) estimam que na órbita geoestacionária o arrasto é tão fraco que um objeto perderia somente 1 km de altitude em mais de 1.000 anos.

As órbitas baixas constituem um recurso natural global que deve ser preservado, a dependência da humanidade aos serviços satelitais localizados nas LEO é diária, seja em sensoriamento remoto, posicionamento global, coleta de dados e de forma ainda mais significativa em toda a rede de telecomunicações global. Destacando-se o incremento das operações espaciais decorrentes do crescimento do mercado de pequenos satélites. Em decorrência do crescimento da exploração, muitos estudos demonstram que os detritos espaciais continuam a aumentar de forma a ameaçar a exploração espacial que necessariamente precisa atravessar as órbitas baixas. (PERCY; LANDRUM, 2014)

Há cerca de 20 anos, estudos de Johnson (1998) apontavam a existência de aproximadamente 1.500 corpos de foguetes em órbita e o problema gerado pelos componentes maiores é a sua fragmentação em componentes menores, através do impacto com outras partículas.

A continuidade desses impactos poderá gerar o fenômeno conhecido como a Síndrome de Kessler, situação em o volume excessivo de objetos nas órbitas baixas da Terra provocará um colapso, decorrente de uma reação em cadeia em que objetos maiores são atingidos por objetos menores e se fragmentam, gerando uma maior quantidade de objetos menores que por sua vez voltam a se chocar com outros objetos e assim sucessivamente, inviabilizando o funcionamento de satélites e a própria utilização das órbitas baixas da Terra. (KESSLER; COUR PALAIS, 1978)

Ocorrências envolvendo detritos espaciais são mais comuns do que se imagina, atualmente, toda e qualquer missão espacial deve considerá-los. Uma investigação realizada pela Agência Espacial Europeia concluiu que o satélite Sentinel 1A foi atingido, em 23 de agosto de 2016, por um objeto de 0,2g de massa e aproximadamente 1 cm, as consequências do incidente foram a perda de funcionalidades do satélite e uma área de dano de cerca de 40 cm de diâmetro, caso o detrito fosse maior que 10 cm, o satélite poderia ter sido perdido de forma definitiva. Neste evento, destaca-se ainda que a colisão ocorreu e o Escritório de Detritos Espaciais da ESA reportou que não havia observado o objeto voando perto do satélite, ainda que o referido Escritório realize o monitoramento de 18.000 detritos. (KRAG *et al*, 2017)

Outro evento dramático de impacto com detrito espacial ocorreu em 1983, quando uma pequena fenda foi encontrada na janela do ônibus espacial *Challenger*, as análises revelaram que a rachadura foi causada por um pedaço de tinta de aproximadamente 0,2 mm de diâmetro, um eventual objeto um pouco maior poderia ter causado um dano a janela do ônibus espacial a ponto de comprometer a sua reentrada na atmosfera, ocasionando uma tragédia, a preocupação com este tipo de evento se deve ao fato de que existem mais de 1 milhão de fragmentos de tinta em órbita. (UNITED STATES CONGRESS, 1990)

Com o recente anúncio de empresas acerca da intenção de implantação de constelações de satélites nas órbitas baixas da Terra (LEO), alguns estudiosos como Radtke *et al* (2017) realizaram análises e simulações, utilizando como parâmetro a *OneWeb Constellation* com constelações de 720 satélites a 1.200 km, 1.000 satélites a 800 km e 640 satélites a 1.400 km. Os resultados acerca da probabilidade de colisões foram surpreendentes, alcançando os percentuais de probabilidade de colisão com objetos maiores do que 3cm de 35% para 720 satélites a 1.200 km, 69,35% para 1.000 satélites a 800 km e 45,28% para 640 satélites a 1.400 km.

Lewis (INDEPENDENT, 2017) adverte que, em simulações de 200 anos realizadas por computador, o lançamento de mega constelações de satélites aumenta em 50% o número de colisões catastróficas entre satélites. O mercado de microssatélites está em plena expansão, como por exemplo, com os recordes estabelecidos pela Índia que colocou em órbita em um único lançamento a quantidade de 104 satélites e também foi responsável pelo menor satélite colocado em órbita, com massa de 1,260 Kg.

Estes estudos indicam a necessidade de uma grande preocupação com a utilização de serviços nas órbitas baixas da Terra, alertando, inclusive, sobre a inviabilidade da exploração das órbitas em determinados parâmetros diante do elevado risco a que os satélites estarão expostos, ainda mais se considerada a probabilidade de ocorrência da Síndrome de Kessler.

É de conhecimento dos cientistas que pequenas partículas são abundantes no Espaço Exterior de modo que todo e qualquer objeto espacial é projetado para suportar os inevitáveis impactos com essas pequenas partículas. Certamente, os objetos espaciais colocados em órbita pelo homem irão sofrer impactos de partículas microns, como exemplo, o fato de que cada célula solar do Telescópio Espacial Hubble registrou uma média de 12 impactos durante pouco mais de 8 anos de exposição espacial. (DROLSHAGEN, 2008)

Estudos e simulações realizados por Hai *et al* (2007) apontam a preocupação de engenheiros e cientistas espaciais com a evolução da nuvem de detritos espaciais nas órbitas baixas. A probabilidade de colisão entre detritos espaciais e uma espaçonave é avaliada na tentativa de simular

um modelo de danos causados por um impacto de hipervelocidade, investigando a capacidade de sobrevivência de tais naves espaciais.

Essa hostilidade encontrada no ambiente espacial não deve ser ainda mais agravada com os detritos espaciais colocados em órbita pelo homem, ainda mais pelo fato de que os detritos humanos possuem tamanho significativamente superior, sendo classificados, para fins de monitoramento, em tamanhos de 1 cm a 10 cm e maiores do que 10 cm.

Percy e Landrum (2014) apresentam uma série de opções de regulamentação para preservação do ambiente em LEO, reconhecendo a existência de outras regulamentações viáveis a serem discutidas. Os autores buscaram identificar e sensibilizar as partes interessadas em tais regulamentos acerca das consequências dos detritos espaciais e as lacunas encontradas na estrutura regulatória dos Estados Unidos, destacando a necessidade de reformas no Direito Espacial Internacional para permitir a sustentabilidade da exploração espacial de longo prazo nas órbitas baixas da Terra.

Slann (2014), em relatório acerca dos debates realizados na conferência sobre detritos espaciais, identificou que as estimativas existentes apontam que cerca de 7.000 toneladas de materiais feitos pelo homem estão orbitando a Terra, a maioria objetos com mais de 10 cm, os quais totalizam cerca de 23.000 objetos, sendo que destes cerca de 6.000 objetos tem origem desconhecida. Os objetos menores do que 10 cm não podem ser rastreados e nem catalogados, estima-se cerca de 740.000 peças de detritos espaciais entre 1 e 10 cm. O fato é que os detritos espaciais já representam uma ameaça à operação de satélites, particularmente em LEO, na altitude em torno de 800 km, altitude esta em que a maioria dos satélites de sensoriamento remoto operam.

As discussões na supracitada conferência geraram a emergência de 04 (quatro) temas fundamentais quais sejam: 1 – os detritos espaciais são um problema urgente que requer ações de curto e longo prazo, 2 – a mitigação de detritos espaciais requer a implementação de tecnologias de modo a evitar o efeito em cascata dos detritos espaciais (Síndrome de Kessler), 3 – a governança dos detritos espaciais exige uma orientação legal clara quanto às responsabilidades, bem como transparência para que a utilização de tecnologias não seja vista como ameaça aos atores da exploração espacial e 4 – o controle de tráfego espacial se estende além dos detritos espaciais, envolvendo a regulação de frequências, clima espacial e manobras de manutenção de estações.

É importante referenciar iniciativas para mitigação das colisões de detritos espaciais, tais como a de Casanova *et al* (2014) na qual os autores desenvolveram uma sequência de três filtros para evitar colisões com detritos espaciais, essa sequência foi aplicada com sucesso em 864 peças de detritos espaciais, comprovando a eficiência da metodologia aplicada quando comparada o trabalho de Hoots *et al.* (1984).

Da mesma forma, Katarina Damjanov (2017) sustenta que a criação de novas tecnologias que podem reentrar por seus próprios meios na atmosfera ou mesmo serem recicladas são soluções convincentes para o longo prazo, porém os detritos espaciais que já se encontram em órbita exigem a coleta ou a dispersão, listando uma série de possíveis inovações a serem desenvolvidas.

Pesquisadores como McCormick (2013) são assertivos em afirmar que o ambiente existente de detritos espaciais atingiu um nível crítico a ponto de ser indiscutível que a exploração do Espaço Exterior perderá a sua viabilidade se a situação dos detritos espaciais não for corrigida.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho traz ao debate, debate acadêmico questões extremamente relevantes para a sustentabilidade da exploração espacial no futuro.

A dependência da sociedade atual dos serviços satelitais está presente no cotidiano das pessoas e o incremento da exploração espacial, com a participação de novos atores e o advento dos microssatélites, revela o preocupante crescimento descontrolado de detritos espaciais nas órbitas da Terra.

As limitações e lacunas existentes na Convenção sobre Responsabilidade Internacional por Danos Causados por Objetos Espaciais, celebrada em 1972, não conseguem satisfazer a necessidade de promover a sustentabilidade da exploração espacial no futuro.

O Brasil pretende fazer parte desse novo mercado espacial, através da comercialização de lançamentos a partir do Centro de Lançamento de Alcântara, conseqüentemente não deve ficar à margem da discussão acerca das responsabilidades a serem assumidas perante à Comunidade Internacional. Por esta razão, o debate acerca da mitigação e controle dos detritos espaciais deve fazer parte do gerenciamento de riscos do Programa Espacial Brasileiro.

A responsabilidade dos Estados sobre os detritos espaciais deve compreender ações de curto e longo prazo, considerando as ameaças decorrentes da reentrada de objetos na atmosfera terrestre, a consolidação da legislação acerca do tema, a revisão dos parâmetros utilizados pelos *softwares* de monitoramento de detritos e, principalmente, o incentivo a cooperação entre os Estados.

As órbitas baixas da Terra são as mais utilizadas pelos serviços satelitais e também as que enfrentam os maiores problemas decorrentes dos detritos espaciais, as ocorrências de impacto são cada vez mais frequentes e ameaçadoras, de modo que as mega constelações de satélites devem ser cuidadosamente planejadas, sob pena de desencadear efeitos indesejáveis de impactos catastróficos entre satélites, comprometendo até mesmo a utilização das LEO por décadas.

As ações para mitigação do problema dos detritos espaciais são urgentes. A sustentabilidade e a viabilidade da exploração espacial no futuro dependem da participação e colaboração de todos os atores das atividades espaciais no presente.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. **Brasil e EUA assinam acordo para uso da Base de Alcântara**. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-03/brasil-e-eua-assinam-acordo-para-uso-dabase-de-alcantara>>. Acesso em: 21 de mar. de 2019.

BRASIL. DECRETO Nº 71.981, DE 22 DE MARÇO DE 1973. **Promulga a Convenção sobre Responsabilidade Internacional por Danos Causados por Objetos Espaciais**, Brasília, DF, mar 1973. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1970-1979/D71981.html>. Acesso em: 10 jun 2019.

BREARLEY, Andrew. Faster than a speeding bullet: orbital debris. **Astropolicts**, v.3, n.1, p. 1-34, 2005

BURKHARDT, Holger. Nano/Microsatellite Market Forecast. Euroconsult, 2018; 8th Edition, **SpaceWorks Enterprises, Inc.**, 2018;

DAMJANOV, Katarina. Of Defunct Satellites and Other Space Debris: Media Waste in the Orbital Commons. **Science, Technology, & Human Values**, v. 42, n. 1, p. 166-185, 2017.

DROLSHAGEN, Gerhard. Impact effects from small size meteoroids and space debris. **Advances in Space Research**, v. 41, p. 1123–1131, 2008.

DE VILLÉ, Albert; PIRSON, Roger. **Traité de la Responsabilité Civile Extra-contractuelle**. T. I, n. 1. Paris, 1935.

DENNERLEY, Joel A. State Liability for Space Object Collisions: The Proper Interpretation of ‘Fault’ for the Purposes of International Space Law. **The European Journal of International Law**, v. 29, n. 1, p. 281-301, 2018.

HAI, Huang. GUANGHUI, Jia. YUNFENG, Dong. Study on Space Debris and Impact Effect on Spacecraft. **Nuclear Physics B - Proceedings Supplements**, v. 166, p. 282–285, 2007.

HOOTS, F. R. CRAWFORD, L. L. ROEHRICH R. L. An analytic method to determine future close approaches between satellites. **Celestial Mechanics**, v. 33, p. 143-158, 1984.

INDEPENDENT. **Boom in Cheap Satellites Could Lead to ‘Catastrophic Collisions’, warn Scientists**. Disponível em: <<https://www.independent.co.uk/news/science/new-satellites-collisions-catastrophiccommunication-space-junk-a7687696.html>>. Acesso em 21 jun 2019.

JOHNSON, Nicholas L. MCKNIGHT, Darren S. **Artificial Space Debris**. Malabar: Krieger Publishing Company, 1991.

JOHNSON, Nicholas L. Monitoring and Controlling Debris in Space. **Scientific American**, v. 279, n. 2, p. 62-67, 1998.

KESSLER, Donald J. COUR-PALAIS, Burton G. Collision Frequency of Artificial Satellites: The Creation of a Debris Belt. **Journal of Geophysical Research**, v. 83, p. 2637–2646, 1978.

KRAG, H. SERRANO, M. BRAUN, V. KUCHYNKA, P. CATANIA, M. SIMINSKI, J. SCHIMMEROHN, M. MARC, X. KUIJPER, D. SHURMER, I. O’CONNELL, A. OTTEN, M. MUÑOZ, Isidro. MORALES, J. WERMUTH, M. MCKISSOCK, D. A 1 cm space debris impact onto the Sentinel-1A solar array. **Acta Astronautica**, v. 137, p. 434–443, 2017.

LEE, Mi-hyun. MIN, Chan-oh. YOUNG-SIK, Kim. LEE, Dae-woo. CHO, Kyeum-rae. Analysis of population damage by space debris upon collision with Earth based on the reverse geocoding method. **Aerospace Science and Technology**, v. 50, p. 139–148, 2016.

MCCORMICK, Patricia K. Space debris: Conjunction opportunities and opportunities for international cooperation. **Science and Public Policy**, v. 40, p. 801–813, 2013.

ORBITAL DEBRIS PROGRAM OFFICE. **Debris missions**. Disponível em: <<https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/>>. Acesso em: 10 jun 2019.

PERCY, Thomas K. LANDRUM, Brian D. Investigation of national policy shifts to impact orbital debris environments. **Space Policy**, v. 30, p. 23-33, 2014.

RADTKE, Jonas. KEBSCHULL, Christopher. STOLL, Enrico. Interactions of the space debris environment with mega constellations—Using the example of the OneWeb constellation. **Acta Astronautica**, v. 131, p. 55–68, 2017.

REX, Dietrich. BENDISCH, Joerg U. FLURY, Walter. KLINKRAD, Heiner H. The ESA Space Debris Mitigation Handbook. **Advances in Space Research**, v. 23, n. 1, p. 215-225, 1999.

SAVATIER, René. **Traité de la responsabilité civile en droit français**. T. I. Paris, 1951.

SINGER, Michael J. MUSACCHIO, John T. An International Environmental Agreement for space debris mitigation among asymmetric nations. **Acta Astronautica**, v. 68, p. 326-337, 2011.

SLANN, Phillip A. Space debris and the need for space traffic control. **Space Policy**, v. 30, p. 40-42, 2014.

SMARTT, M. **Old vs New: The next generation of space industry**. The university of Queensland, 2016.

TECMUNDO. **Há 15 anos, o Brasil sofria seu pior acidente em exploração espacial**. Disponível em:<<https://www.tecmundo.com.br/ciencia/133484-ha-15-anos-brasil-sofria-pior-acidente-exploracaoespacial.htm>>. Acesso em: 21 jun 2019.

UNITED NATIONS. **Technical Report on Space Debris**. New York, 1999.

UNITED STATES CONGRESS. Orbiting Debris: A Space Environmental Problem – Background Paper. **Office of Technological Assessment**. Washington, DC: US Government Printing Office, 1990