



UMA DISCUSSÃO SOBRE A EXTENSÃO DAS PROBABILIDADES DE CONDIÇÕES DE FALÊNCIA DE UMA AERONAVE, CF. A SAE/ARP 4761, PARA POSSÍVEIS DANOS CAUSADOS POR PEQUENOS SATÉLITES DE BAIXA COMPLEXIDADE: CONTRIBUIÇÕES AO DIREITO ESPACIAL

Márcia Alvarenga dos Santos^a; Marcelo Lopes de Oliveira e Souza^a; Olavo de Oliveira Bittencourt Neto^b

[a] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Av. dos Astronautas, 1758, São José dos Campos – SP, 12227-10.

[b] Universidade Católica de Santos. Av. Conselheiro Nébias, 589/595, Santos – SP, 11045-003.

Resumo: Considerando que o risco é uma característica indesejável, apesar de inevitável, e está presente em diversas atividades humanas, diretrizes e métodos foram desenvolvidos para apreciá-lo de tal modo a mitigar o seu impacto ou, ao menos, entender as suas consequências e tomar providências. Tais diretrizes, provenientes de áreas técnicas como as Engenharias, estão presentes em ramos do Direito e, mais recentemente, foram propostas para o Direito Espacial. Dentre elas estão as Diretrizes e Métodos para Conduzir o Processo de Avaliação da Segurança de Sistemas e Equipamentos Aerotransportados, SAE/ARP 4761, do setor aeronáutico. Tais diretrizes podem ser estendidas a outros setores, como o espacial, particularmente para o setor de pequenos satélites de baixa complexidade, considerando que tais artefatos espaciais são cada vez mais numerosos; são fabricados e lançados por novos atores; ignorados pelo Direito Espacial Internacional; ocupam faixas de órbitas importantes para as atividades mais custosas; e, geralmente, não possuem controles e têm baixa confiabilidade. Assim, este trabalho objetiva discutir essa extensão. Para tanto, pretende-se: 1) resumir os níveis descritivos/qualitativos e quantitativos das probabilidades das condições de falência da aeronave, cf. a SAE/ARP 4761; 2) discutir sua extensão a possíveis danos causados por pequenos satélites de baixa complexidade; 3) ilustrar essa extensão com alguns casos da série de satélites OSCAR. Espera-se que: 1) tal extensão possa ser adotada pelos tomadores de decisão do setor espacial; 2) tal discussão contribua para educar as comunidades de pequenos satélites, desde construtores, como faculdades, universidades, et alii, a operadores, como usuários, pequenos negócios, et alii; 3) estimule o desenvolvimento do Direito Espacial, mormente, quanto à responsabilidade internacional por danos causados a terceiros e, eventualmente, quanto à mitigação de detritos espaciais.

Palavras-chave: Direito Espacial, SAE/ARP 4761, Pequenos Satélites, Baixa Complexidade, Risco de Dano.

1. INTRODUÇÃO

O risco é uma característica inerente a todos os esforços humanos. Por meio de diretrizes semi-quantitativas, o risco de um evento incerto é medido pela sua criticidade, como sendo o produto da probabilidade de sua ocorrência multiplicada pela severidade de suas consequências (RABELLO, 2016). Observa-se que alguns ramos do Direito como: o Direito Ambiental Internacional, em relação às mudanças climáticas¹; o Direito Interno, como na Suprema Corte Americana dos Estados Unidos²; e; mais recentemente, o Direito Espacial³; podem se beneficiar dessas diretrizes, desenvolvidas especialmente para áreas técnicas, como as Engenharias.

¹ Vide, por exemplo, a tabela de “Probabilidade de Ocorrência de um Evento Natural” do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas em: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2019). “Guidance Notes for Lead Authors of the IPCC Fourth Assessment Report on Addressing Uncertainties”. Disponível em: <<http://www.ipcc-wg2.aui.de/guidancepaper/uncertainty-guidance-note.pdf>>. Acesso em 30 ago. 2019.

² Weiss, C., (2003). “Expressing Scientific Uncertainty”. Law, Probability and Risk. Vol. 2. 2003. p. 26.

³ Santos, M. A., (2019). “Regime Internacional Aplicável a Pequenos Satélites de Baixa Complexidade: Propostas para Salvar Atores Espaciais e Mitigar Impactos Ambientais no Espaço Exterior”. 258 p. (sid.inpe.br/m21c/2019/06.27.17.03-TAE). Tese de Doutorado - Universidade Católica de Santos, Santos-SP, 2019.

Em particular, as Diretrizes e Métodos para Conduzir o Processo de Avaliação da Segurança de Sistemas e Equipamentos Aerotransportados, SAE/ARP 4761 (SAE, 1996), adotam tais ideias para orientar o setor aeronáutico na concepção e operação de aeronaves. Lá, o evento incerto é qualquer falha de um componente, equipamento ou subsistema que possa levar à falência da aeronave (sistema de sistemas). Tais diretrizes podem ser estendidas a outros setores, como o espacial, que se inspira nesses outros domínios, considerando que os artefatos espaciais são usualmente empreendimentos caros, submetidos a ambientes adversos, mas com atividades crescentes que são essenciais à vida humana. Nesse, o evento incerto é qualquer dano possível a um objeto espacial ou ao ambiente do espaço exterior causado por outro objeto espacial.

Isto é especialmente verdadeiro para pequenos satélites de baixa complexidade, devido ao seu crescente número, injeção em Órbitas Terrestres Baixas (LEOs), baixa confiabilidade, falta de controle de atitude e de órbita, propulsão; etc. Assim, este artigo apresenta uma discussão sobre a extensão das probabilidades das condições de falência cf. a SAE/ARP 4761 para possíveis danos causados por pequenos satélites de baixa complexidade como meio de fomentar decisões na esfera jurídica, já que esse tipo de satélite, por não possuir radioprecisão ou controle e ter uma vida útil muito curta, pode apresentar maiores riscos de espalhamento em frequência ou em posição^{4,5}, o que pode resultar em interferência/interrupção nas comunicações, colisão/fragmentação mecânica^{6,7}, com outros objetos ou missões operacionais, e até reentrada/impacto em instalações ou pessoas no solo^{8,9,10,11,12}; e, portanto, causar e/ou intensificar seus impactos ambientais no espaço exterior e até na Terra.

Tais ocorrências têm especial relevância ao se considerar o previsto no Artigo 6º. do Tratado sobre Princípios Reguladores das Atividades dos Estados na Exploração e Uso do Espaço Cósmico, inclusive a Lua e demais Corpos Celestes (Tratado do Espaço), de 1967, pelo qual os Estados têm a responsabilidade internacional das atividades nacionais realizadas no espaço exterior, inclusive na Lua e demais corpos celestes, quer sejam elas exercidas por organismos governamentais ou por entidades não-governamentais, e de assegurar

⁴ Souza, M. L. O., Nunes, D., (2000). "Forecasting Space Debris: A Measure Theory Approach". Em: Proceedings of the International Astronautical Congress-IAC, Rio de Janeiro, RJ, 2-6 out. 2000..

⁵ Gomes, M. L. M., Souza, M. L. O., (2011). "Análise e Simulação de Detritos Espaciais". X Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações-DINCON. Águas de Lindóia, SP, 29/Ago a 02/Set. 2011. Artigo C-09-12.

⁶ Moraes, E. F. T., (2010). "Análise e Simulação de Detritos Espaciais". Em: Seminário de Iniciação Científica do INPE-SICINPE, 2010, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2010. p. 77. CD-ROM; Papel; On-line. IBI: <8JMKD3MGP7W/389BN4P>. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/389BN4P>>. Acesso em 31 jan. 2018.

⁷ Batista, A. C., (2011). "Estudo de Modelos e Condições Iniciais da Geração a Priori de Detritos Espaciais e sua Propagação Orbital". 352 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.28.17.49-TDI). Dissertação (Mestrado em Mecânica Espacial e Controle) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3996TBH>>. Acesso em 19 jul. 2018.

⁸ Braga, A. O.; Souza, M. L. O. (2006). "Análise e Simulação de Reentradas Atmosféricas Controladas". Em: SICINPE - 2006. São José dos Campos. 2006. p. 19 p. (INPE-14004-PRE/9179).

⁹ Cardoso, G.C., Souza, M. L. O. (2010). "Análise e Simulação de Reentradas Atmosféricas". Em: Seminário de Iniciação Científica do INPE-SICINPE, 2010, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2010. p. 29. CD-ROM; Papel; On-line. IBI: <8JMKD3MGP7W/38A2CH8>. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/38A2CH8>>. Acesso em 31 jan. 2018.

¹⁰ Burke, P. E. P., Souza, M. L. O. (2012). "Análise e Simulação de Reentradas Atmosféricas Controladas". Em: Seminário de Iniciação Científica do INPE-SICINPE, 2012, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2012. p. 124. CD-ROM; On-line; Papel. IBI: <8JMKD3MGP7W/3CMTKC6>. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CMTKC6>>. Acesso em 31 jan. 2018.

¹¹ Germano, A. A., (2016). "Estudo, Modelagem e Simulação da Campanha de Reentrada e Fragmentação de um Satélite Artificial Aplicado a uma Plataforma Multimissão". 2016. 119 p. IBI: <8JMKD3MGP3W34P/3LCP9DE>. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/03.22.17.53-TDI). Dissertação (Mestrado em Mecânica Espacial e Controle) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3LCP9DE>>. Acesso em 11 fev. 2019.

¹² Oliveira, S. B., (2009). "Fragmentação por Ação Aerodinâmica e Predição da Área de Impacto de um Veículo Espacial com Injeção Controlada da Re-entrada". 410 p. (INPE-16586-TDI/1575). Tese (Doutorado em Mecânica Espacial e Controle) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/07.23.15.26>>. Acesso em 11 fev. 2019.

que tais atividades sejam realizadas de acordo com os termos do Tratado. Ademais, o Artigo 7º., do mesmo instrumento, preconiza que o Estado-lançador¹³ é responsável internacional pelos danos causados a terceiros por seu objeto espacial, quer seja esse dano tenha ocorrido sobre a superfície da Terra, no espaço exterior ou no espaço aéreo, inclusive na Lua e em demais corpos celestes. Em uma era em que muitas atividades espaciais podem ser (e são) desempenhadas por entes privados, não considerados responsáveis diretos por suas atividades segundo o Direito Espacial Internacional, torna-se fundamental aos Estados envidar esforços para aprimorar seus mecanismos de mitigação de riscos.

Além dos riscos de danos a terceiros, há o risco de poluição do espaço exterior, o que pode resultar, por exemplo, na impossibilidade de utilização de uma ou mais faixas de órbitas. O arcabouço do Direito Espacial Internacional não consegue resolver esse tipo de problema ambiental, visto que seus regulamentos foram forjados em um período em que essa não era uma preocupação vigente. O Artigo 9º. do Tratado do Espaço (1967) apenas estabelece que o Estados deverão estudar e explorar o espaço exterior de maneira a evitar os efeitos prejudiciais de sua contaminação, assim como as modificações nocivas no meio ambiente da Terra, resultantes da introdução de substâncias extraterrestres, e, quando necessário, tomarão as medidas apropriadas para este fim. Não resta claro, assim, que a contaminação inclui aquelas causadas por pedaços de foguetes, de satélites ou de outros objetos espaciais. Em razão da corrida espacial, da disputa de poder entre Estados Unidos e União Soviética, do medo de uma utilização do espaço para alocação de armamentos nucleares etc., pode se depreender de a contaminação à que se refere o texto do Artigo 9º. é a contaminação nuclear ou exobiológica, por exemplo. Em ambas perspectivas, da mitigação do risco ao dano a terceiros e do dano ao ambiente espacial, as Diretrizes SAE/ARP 4761 podem servir como ponto de partida.

2. AS DIRETRIZES SAE/ARP 4761 E SEUS NÍVEIS DE CRITICIDADE

O setor espacial pode se beneficiar das lições apreendidas pelo setor aeronáutico que, dada a sua natureza mais antiga, complexa e intensa, possui um arcabouço jurídico mais desenvolvido. A exemplo disso, a Agência Federal de Aviação (FAA, sigla em Inglês para *Federal Aviation Administration*), as demais agências similares e toda a indústria aeronáutica, adotam diretrizes semi-quantitativas para analisar a **Criticidade** da condição de falência da aeronave em função da **Probabilidade de Ocorrência** de uma falha de componente, equipamento, subsistema, sistema, e da **Severidade** dos danos desta, conforme a Prática Recomendada Aeroespacial (ARP) chamada Diretrizes e Métodos para Conduzir o Processo de Avaliação da Segurança de Sistemas e Equipamentos Aerotransportados, SAE-ARP 4761, mostradas na Tabela 4. Na primeira coluna estão os níveis de Criticidade (C), que vão de A à E, dependendo da Probabilidade (P) de uma determinada falha acontecer e da Severidade (S) dos danos causados por dada falha.

Tabela 1– Criticidade da Condição de Falência de uma Aeronave em Função da Probabilidade de Ocorrência e da Severidade dos Danos de uma Falha de Componente, Equipamento, Subsistema, Sistema.

Nível de Garantia do Desenvolvimento (CRITICIDADE)	Probabilidade Máxima por Hora de Voo (PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA)	Classificação do Perigo (SEVERIDADE DE DANOS)
A	Extremamente Improvável 10^{-9}	Catastrófico (Todas as condições de falha que impedem a continuidade do voo seguro)

¹³ Conforme a Convenção sobre Responsabilidade Internacional por Danos Causados por Objetos Espaciais, de 1972, Art. 1º. (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.

B	Extremamente Remota 10^{-7}	Perigoso (Grande redução nas margens de segurança ou nas capacidades funcionais)
C	Remota 10^{-5}	Grande (Redução significativa das margens de segurança ou nas capacidades funcionais)
D	Razoavelmente Provável 10^{-3}	Pequeno (Ligeira redução nas margens de segurança) - Leve aumento da carga de trabalho da tripulação; - Algum inconveniente aos ocupantes/tripulantes.
E	Frequente --	Sem Efeito

Fonte: SAE *International* (1996) (tradução nossa)¹⁴.

Observa-se que para níveis “A”, em que a severidade do dano é catastrófica, a probabilidade máxima, por hora de voo, aceita para certificação de uma aeronave é de 10^{-9} . Em termos qualitativos, trata-se de uma probabilidade extremamente baixa. Isso acontece porque a atividade aeronáutica, diferentemente do que é possível realizar com um pequeno satélite de baixa complexidade, envolve vidas humanas. Isso eleva o nível de exigência. Falhas que não possuem grandes efeitos, aqueles que não comprometem a segurança ou o conforto de tripulantes e passageiros, estão classificadas no nível “E”, em que a probabilidade de ocorrência, ainda que indesejável, pode ser alta.

3. EXTENSÃO DA NORMA SAE/ARP 4761 PARA OS PEQUENOS SATÉLITES DE BAIXA COMPLEXIDADE

A listagem das referências bibliográficas deve ser incluída ao final do resumo expandido. A primeira linha de cada referência deve estar alinhada à esquerda e todas as outras linhas devem possuir um espaço de 0,5 cm de margem esquerda. Todas as referências devem ser citadas pelo menos uma vez no texto.

Para estender a norma SAE/ARP 4761 ao setor de pequenos satélites de baixa complexidade¹⁵ será necessário criar mais (3 x 3 ou 5 x 5) combinações $C = P \times S$, uma vez que todas as diferentes classificações de perigo S (catastrófico, perigoso, grande, pequeno e sem efeito) podem estar relacionadas a todos os níveis de probabilidade de ocorrência P. Vale lembrar que para a aviação, danos catastróficos devem estar mantidos no nível “extremamente improvável” por lidar com vidas humanas. P. ex.: o projeto de um pequeno satélite de baixa complexidade pode ter danos pequenos ou sem efeito mantidos no nível de probabilidade improvável. Neste trabalho, serão exemplificadas algumas das (3 x 3) combinações possíveis.

Adicionalmente, cumpre notar que o setor espacial não pode servir-se de um grande volume de dados, se comparado à aviação. Acidentes aeronáuticos são mais frequentes, além de exaustivamente investigados. Isso criou, ao longo dos anos, um conjunto robusto de informações que permite não apenas qualificar, mas também quantificar probabilidades e severidades. A descrição para a classificação do perigo (Severidade), no caso

¹⁴ The Engineering Society for Advancing Mobility Land Sea Air and Space (SAE) International, (1996). “ARP 4761: Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment”. Warrendale, p. 14. 1996.

¹⁵ Conforme definido por Bearden, D. A., (2000/2001). “Small Satellite Costs”. Crosslink Winter. p. 33-41. Disponível em: https://space.nasa.gov/pdf/200001main_costs/200001main_costs.pdf. Acesso em 10 jul. 2018.

espacial, é sugestiva e poderia considerar as seguintes características internas dos pequenos satélites de baixa complexidade:

Catastrófico, Perigoso (CP): em razão de suas características internas, como massa grande e substâncias nocivas (componentes da bateria, componentes nucleares), o dano que o objeto pode causar é catastrófico ou perigoso (danos materiais e imateriais a outros objetos, risco de vida a astronautas, poluição ambiental importante, que compromete uma faixa de órbitas, por exemplo); interferência eletromagnética irremediável. Além das características físicas, o Estado Lançador não segue quaisquer diretrizes para mitigação de detritos espaciais.

Grande (G): em razão de suas características internas, como massa média e/ou ausência de substâncias nocivas (componentes da bateria, componentes nucleares), o dano que o objeto pode causar é grande (grande redução na margem de segurança sem danos a outros objetos). Além das características físicas, o Estado Lançador segue alguma diretriz para mitigação de detritos espaciais.

Pequeno ou Sem Efeito (PSE): em razão de suas características internas, como pequena massa e/ou ausência de substâncias nocivas (componentes da bateria, componentes nucleares), o dano que o objeto pode causar é pequeno ou sem efeito. Além das características físicas, o Estado Lançador segue diretrizes para mitigação de detritos espaciais.

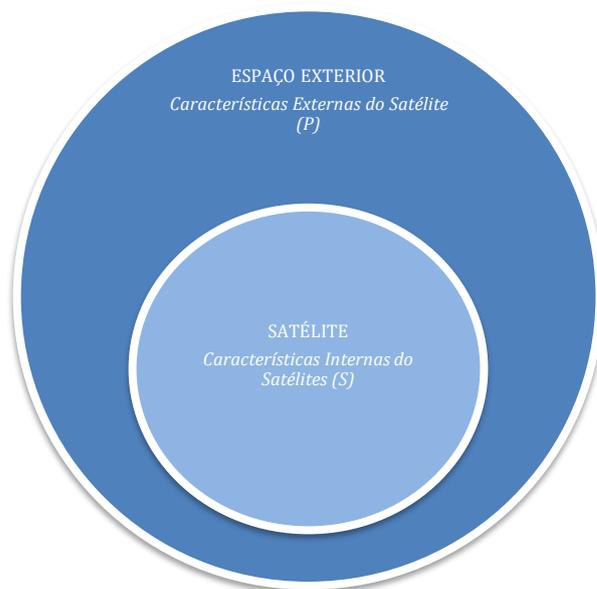
Sugere-se, ainda, considerar as características externas do objeto espacial em questão para a classificação da **Probabilidade (P)**.

Extremamente Improvável (10^{-9}), Extremamente Remota (10^{-7}) (EIR): o objeto nunca se envolveu em situação de risco; em razão de suas características externas, como a alocação orbital distinta ou distante de outros objetos, espera-se que o objeto não se envolva em situação de risco; o objeto tem vida útil curta e permanência curta no espaço exterior, por ter sido colocado a uma altitude ≤ 599 km, espera-se que ele decaia em pouco tempo e deixe de representar um risco.

Remota (10^{-5}) (R): o objeto nunca se envolveu em situação de risco; mas, em razão de suas características externas, como a alocação orbital semelhante a de outros objetos (p.ex.: Estação Espacial Internacional), existe uma razoável probabilidade dele se envolver em situação de risco; e/ou o objeto tem vida útil curta e permanência longa no espaço exterior, por ter sido colocado a uma altitude entre 600 a 899 km, espera-se que ele não decaia em pouco tempo e, portanto, representa um risco.

Razoavelmente Provável (10^{-3}), Frequente (RPF): o objeto já se envolveu em situação de risco ou provocou dano a outro objeto espacial; ou em razão de suas características externas, como a alocação orbital próxima a de outros objetos, existe uma alta probabilidade dele se envolver em situação de risco; o objeto tem vida útil curta e permanência longa no espaço exterior, por ter sido colocado a uma altitude ≥ 900 km, espera-se que ele nunca decaia e, portanto, representa um risco perene.

Figura 1 - Probabilidade e Severidade de Pequenos Satélites de Baixa Complexidade.



Fonte: Autora.

Considerando esses elementos, externos (P) e internos (S), e a fórmula para o cálculo de Criticidade (C), da FMECA (*Failure Modes and Effect Analysis*, ou, Análise de Modos de Falha, seus Efeitos e Criticidade)¹⁶, a Tabela 2 é uma proposta de adaptação e de extensão da norma SAE/ARP 4761, do setor aeronáutico, para o setor espacial, particularmente, para a análise da **Criticidade** de pequenos satélites de baixa complexidade em função da **Probabilidade** de Ocorrência e da **Severidade** dos danos causados por esses objetos.

Tabela 2 – Algumas Criticidades de Pequenos Satélites de Baixa Complexidade em Função da Probabilidade de Ocorrência de suas Falhas e da Severidade dos Danos Causados por Elas.

CRITICIDADE	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA	SEVERIDADE DE DANOS (Classificação do Perigo)
EIR x CP	Extremamente Improvável 10^{-9}	Catastrófico
	Extremamente Remota 10^{-7}	Perigoso

¹⁶ Rabello, A. P. S. S., (2017). “Um Novo Processo para Melhorar a Dependabilidade de Sistemas Espaciais entre as Fases de Planejamento e Projeto Detalhado Incluindo Extensões do Diagrama de Markov (DMEP) e da FMECA (FMPE) a Projetos”. 344 p. IBI: <8JMKD3MGP3W34P/3MP6RNL>. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.07.17.54-TDI). Tese (Doutorado em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016. Disponível em: <http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3MP6RNL>.

R x G	Remota 10^{-5}	Grande
RPF x PSE	Razoavelmente Provável 10^{-3} Frequente	Pequeno Sem Efeito

Fonte: Autora.

4. APLICAÇÃO DA PROPOSTA

Para demonstrar a utilidade da Tabela 5, fez-se o mapeamento de ALGUNS satélites da série OSCAR *Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio*, ou, Satélite Orbitante Carregando um Rádio Amador), como demonstrado por Santos (2019)¹⁷.

A utilização dessa série encontra justificativa no fato de ser uma série iniciada nos anos 1960, bem no início da chamada “Corrida Espacial”¹⁸. Ela é formada por 104 satélites¹⁹, ou seja, oferece uma amostra representativa. Embora muitos satélites da série não possam ser considerados pequenos satélites de baixa complexidade, como define Bearden (2000/2001), a maior parte deles apresenta características comuns a esse tipo de objeto espacial, por exemplo, pouca massa e tamanho pequeno, um instrumento de carga-útil, vida útil curta (de 6 a 12 meses, aproximadamente) etc.²⁰ Alguns desses satélites, como o OSCAR-14, OSCAR-15, OSCAR-16, OSCAR-17, OSCAR-18 e OSCAR-19, possuíam outros elementos próprios do que se denomina, atualmente, “*cubesat*”, por exemplo, o formato em unidades cúbicas de 10 cm. Por todos os motivos apresentados, a aplicação da proposta a essa família de satélites torna-se importante.

Outrossim, muitos satélites da série foram produzidos por entidades não-governamentais e foram lançados de carona com satélites maiores. Isso traz implicações jurídicas relacionadas à responsabilidade por danos a terceiros, como pressupõem os Artigos 6º. e 7º. Do Tratado do Espaço (1967) e a Convenção sobre Responsabilidade Internacional por Danos Causados por Objetos Espaciais (Convenção sobre Responsabilidade), de 1972.

Assim, no nível de Criticidade “EIR x PSE”, estaria o OSCAR-77, cujas características internas (1,5 kg, 10 cm x 10 cm x 10 cm) e externas (347 km (perigeu), 361 km (apogeu)) permitiram seu decaimento em aproximadamente 6 meses após o lançamento; e o OSCAR-78, que possui características internas (1 kg, 10 cm x 10 cm x 10 cm) e externas (408 km (perigeu), 414 km (apogeu)) semelhantes ao OSCAR-77. Seu decaimento se deu aproximadamente 3 meses após o lançamento.

¹⁷ Santos, M. A., (2019). “Regime Internacional Aplicável a Pequenos Satélites de Baixa Complexidade: Propostas para Salvar Atores Espaciais e Mitigar Impactos Ambientais no Espaço Exterior”. 258 p. (sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/06.27.17.03-TAE). Tese de Doutorado - Universidade Católica de Santos, Santos-SP, 2019..

¹⁸ O primeiro satélite, OSCAR-1, foi lançado em 12 de dezembro de 1961. Smithsonian National Air and Space Museum, (2019). “OSCAR 1”. Disponível em: <https://airandspace.si.edu/collection-objects/communications-satellite-oscar-i>. Acesso em 30 ago. 2019.

¹⁹ Amateur Radio In Space (AMSAT), (2019). “Orbiting Satellites Carrying Amateur Radio”. Disponível em: <https://www.amsat.org/orbiting-satellites-carrying-amateur-radio/>. Acesso em 30 ago. 2019.

²⁰ Bearden, D. A., (2000/2001). “Small Satellite Costs”. Crosslink Winter. p. 33-41. Disponível em: <https://space.spacegrant.org/uploads/Costs/BeardenComplexityCrosslink.pdf>. Acesso em 10 jul. 2018..

Na categoria de Criticidade “RPF x PSE”, estaria o OSCAR-71, que possui 1 kg e 10 cm x 10 cm x 10 cm, orbita a Terra a 457 km (perigeu) e 815 km (apogeu). Apesar de localizado em uma altitude em que o arrasto atmosférico age, o objeto espacial está em órbita desde 2011.

O único satélite brasileiro da série, o OSCAR-17 ou DOVE, poderia ser mapeado para o nível de Criticidade “RPF x G”, dadas as suas características internas: pequena massa (12, 92 kg, 21 cm x 21 cm x 21 cm) e suas características externas: 774 km (perigeu), 789 km (apogeu), em órbita desde 1990 e sem previsão de decaimento.

5. IMPORTÂNCIA DA EXTENSÃO DA NORMA SAE/ARP 4761 PARA O DIREITO ESPACIAL

Além dos Artigos 6º. e 7º. do Tratado do Espaço, que discorrem sobre a responsabilidade pelas atividades espaciais dos Estados e pela responsabilidade (*liability*) pelos danos causados por seus objetos espaciais, ainda que eles não tenham sido produzidos ou lançados pela entidade estatal, a Convenção sobre Responsabilidade (1972) traz as definições chave para esse instrumento e estabelece um duplo sistema de responsabilidade: a responsabilidade absoluta ou objetiva e a responsabilidade relativa ou subjetiva, ambas fundamentadas no local de ocorrência do dano.

Em seu Artigo 2º. fica definido que 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 voo. Por seu turno, o Artigo 3º define que, na eventualidade de danos causados em local fora da superfície da Terra a um objeto espacial de um Estado lançador ou a pessoa ou propriedades a bordo de tal objeto espacial por um objeto espacial de outro Estado lançador, só terá esse último responsabilidade se o dano decorrer de culpa sua, ou de culpa de pessoas pelas quais seja responsável.

Em que pese a dificuldade em se provar culpa quando o dano ocorre fora da superfície da Terra, eventualmente, um Estado pode ser responsabilizado, e ter de pagar indenização, por danos causados por um objeto produzido por um ente privado. Na hipótese de um dano causado pelo OSCAR-17, por exemplo, um satélite produzido por uma pessoa física brasileira, ainda que o governo brasileiro não tenha participado do projeto, ele é parte do Tratado do Espaço (1967) e da Convenção sobre Responsabilidade (1972), logo é responsável pelas atividades de seus nacionais e pelas consequências advindas de tais atividades.

A incumbência do Estado vai além de assegurar que as atividades nacionais sejam realizadas nos termos acordados no Tratado do Espaço (1967). As atividades das entidades não-governamentais são também objeto de autorização e supervisão contínua pelo Estado, como prevê o seu Artigo 6º.

A definição do termo “objeto espacial”²¹, pelo Direito Espacial, inclui todos os tipos de satélites, independentemente do tamanho, da massa ou da complexidade que eles venham a apresentar. Satélites pequenos e de baixa complexidade devem ser considerados potenciais causados de danos pelas questões técnicas listadas nos capítulos anteriores. Faz-se imperioso criar meios de mitigar os eventuais riscos que esses objetos representam de maneira a salvaguardar o seu Estado-lançador e estimular esse nicho de mercado que se mostra tecnológica e economicamente viável e desejável.

Por danos, pode-se depreender aqueles considerados diretos (colisão) ou indiretos (danos causados em decorrência da colisão). A definição de dano pela Convenção sobre Responsabilidade (1972), Artigo. 1º. a., abarca perda de vida, ferimentos pessoais ou outro prejuízo à saúde; perdas de propriedade do Estado ou de pessoas físicas ou jurídicas ou danos sofridos por tais propriedades, ou danos e perdas no caso de organizações intergovernamentais internacionais. Por ser uma definição consideravelmente ampla, ela pode incluir danos que implicam em prejuízo de tempo ou de dinheiro, incapacidade de ganho, perda de lucros por conta da interrupção de um serviço, despesas médicas (inclusive com medicação e hospitalar) causados a pessoas,

²¹ Conforme a Convenção sobre Responsabilidade (1972), Artigo 1º. d) o termo “objeto espacial” inclui peça, componentes de um objeto espacial, e também o seu veículo de lançamento e peças do mesmo.

custos para a mitigação do impacto do dano, perda de serviços de terceiros, dentre outros²². São dispositivos bastante exigentes com os Estados e refletem, de modo especial, o momento em que foram engendrados.

Haja vista que o Direito Espacial Internacional também não dispõe de regulamentos que visem à proteção do ambiente espacial, faz-se imperioso que outras normas deem conta do problema sob pena de comprometer o uso de uma ou mais faixas de órbitas. As órbitas terrestres, úteis para a alocação de satélites são recursos finitos. Em alguns casos, como a da órbita Geostacionária (36.000 km), tais recursos são ainda mais limitados. Normas e diretrizes como as Diretrizes para Mitigação de Detritos Espaciais do Comitê Interagências de Coordenação de Detritos Espaciais (IADC)²³ e do Comitê para o Uso Pacífico do Espaço (COPUOS)²⁴ desempenham um papel de grande valor para a proteção desses recursos.

Sob a suposição de que o atual cenário geopolítico não é favorável a um consenso que leve à adequação dos instrumentos do Direito Espacial Internacional à realidade das atividades espaciais, normas como a SAE/ARP 4761 podem conferir segurança jurídica e, conseqüentemente, estimular a indústria espacial ao mesmo tempo em que colaboram para a sustentabilidade do uso e da exploração do espaço exterior.

6. CONCLUSÃO

As Diretrizes e Métodos para Conduzir o Processo de Avaliação da Segurança de Sistemas e Equipamentos Aerotransportados, SAE/ARP 4761, do setor aeronáutico, podem ser estendidas ao setor espacial, como demonstrou este artigo. Particularmente, o setor de pequenos satélites de baixa complexidade se beneficiaria desta proposta visto que tais artefatos espaciais são cada vez mais numerosos, são fabricados e lançados por novos atores, que não estão habituados ao rigor do espaço exterior em si e aos dispositivos do Direito Espacial Internacional, conforme observa-se, particularmente, na Convenção sobre Responsabilidade (1972), elaborada em uma época em que apenas Estados, nomeadamente Estados Unidos e União Soviética, eram capazes de desempenhar atividades espaciais.

Adicionalmente, esses satélites ocupam faixas de órbitas importantes para as atividades mais caras à humanidade e, geralmente, eles têm baixa confiabilidade e não possuem controles, ou seja, uma vez no espaço, eles só irão contar com a força do arrasto atmosférico para trazê-los de volta à Terra, o que permitirá sua total desintegração durante a reentrada na atmosfera. A extensão da norma visa mitigar os riscos de danos e salvaguardar os Estados lançadores, que, afinal, serão responsabilizados internacionalmente pelos danos causados pelos objetos espaciais, sejam eles produzidos por entes públicos ou privados. A eficácia de normas como a se propõe pode ser comprovada pela análise de instrumentos não vinculantes como as Diretrizes para Mitigação de Detritos Espaciais do Comitê Interagências de Coordenação de Detritos Espaciais (IADC)²⁵.

Contudo, para o cálculo da Criticidade, como demonstra a SAE/ARP 4761, são necessários dados abundantes e confiáveis. Essa disponibilidade é escassa na literatura do setor espacial. A aplicação da proposta em alguns satélites da série OSCAR indica que há um caminho factível e que algumas características internas e externas podem ajudar a compor os índices de probabilidade e de severidade para reduzir o risco de dano dessas missões.

A partir de uma base de dados mais consolidada, como a existente no setor aeronáutico, espera-se que a tabela de “Criticidades de Pequenos Satélites de Baixa Complexidade em Função da Probabilidade de Ocorrência de suas Falhas e da Severidade dos Danos Causados por Elas” possa ser aprimorada e auxilie os tomadores de decisão do setor espacial; quer seja na esfera técnica – por meio de projetos de engenharia que investiguem a possibilidade de aumento da confiabilidade desse tipo de objeto; quer seja na área jurídica –

²² Hurwitz, B. A. (1992). “State Liability for Outer Space Activities: in Accordance with the 1972 Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects”. Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic Publishers. p. 15.

²³ United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA), (2019b). “IADC Space Debris Mitigation Guidelines”. Disponível em: http://www.unoosa.org/documents/pdf/spacelaw/sd/IADC-2002-01-IADC-Space_Debris-Guidelines-Revision1.pdf. Acesso em 30 ago. 2019.

²⁴ *Ibid.*

²⁵ *Ibid.*

com diretrizes que estimulem esse promissor setor da economia espacial e fomentem a própria evolução do Direito Espacial Internacional. Por fim, a sustentabilidade das atividades espaciais também seria favorecida por tal proposta, que iria, por fim, contribuir para a mitigação de detritos espaciais.

7. REFERÊNCIAS

- Amateur Radio In Space (AMSAT), (2019). “Orbiting Satellites Carrying Amateur Radio”. Disponível em: <https://www.amsat.org/orbiting-satellites-carrying-amateur-radio/>. Acesso em 30 ago. 2019.
- Batista, A. C., (2011). “Estudo de Modelos e Condições Iniciais da Geração a Priori de Detritos Espaciais e sua Propagação Orbital”. 352 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.28.17.49-TDI). Dissertação (Mestrado em Mecânica Espacial e Controle) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3996TBH>>. Acesso em 19 jul. 2018.
- Bearden, D. A., (2000/2001). “Small Satellite Costs”. *Crosslink Winter*. p. 33-41. Disponível em: <https://space.se.spacegrant.org/uploads/Costs/BeardenComplexityCrosslink.pdf>. Acesso em 10 jul. 2018.
- Bittencourt Neto, O. O., (2011). “Direito Espacial Contemporâneo: Responsabilidade Internacional”. Curitiba: Juruá, 2011. p. 83.
- Braga, A. O.; Souza, M. L. O. (2006). “Análise e Simulação de Reentradas Atmosféricas Controladas”. Em: *SICINPE - 2006*. São José dos Campos. 2006. p. 19 p. (INPE-14004-PRE/9179).
- Burke, P. E. P., Souza, M. L. O. (2012). “Análise e Simulação de Reentradas Atmosféricas Controladas”. Em: *Seminário de Iniciação Científica do INPE-SICINPE*, 2012, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2012. p. 124. CD-ROM; On-line; Papel. IBI: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CMTKC6>>. Acesso em 31 jan. 2018.
- Cardoso, G.C., Souza, M. L. O. (2010). “Análise e Simulação de Reentradas Atmosféricas”. Em: *Seminário de Iniciação Científica do INPE-SICINPE*, 2010, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2010. p. 29. CD-ROM; Papel; On-line. IBI: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/38A2CH8>>. Acesso em 31 jan. 2018.
- Euroconsult (2019). “Prospects for the Small Satellite Market”. Disponível em: <http://www.euroconsult-ec.com/research/smallsats-2018-brochure.pdf>. Acesso em 4 jul. 2019.
- Germano, A. A., (2016). “Estudo, Modelagem e Simulação da Campanha de Reentrada e Fragmentação de um Satélite Artificial Aplicado a uma Plataforma Multimissão”. 2016. 119 p. IBI: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3LCP9DE>>. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/03.22.17.53-TDI). Dissertação (Mestrado em Mecânica Espacial e Controle) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3LCP9DE>>. Acesso em 11 fev. 2019.
- Gomes, M. L. M., Souza, M. L. O., (2011). “Análise e Simulação de Detritos Espaciais”. *X Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações-DINCON*. Águas de Lindóia, SP, 29/Ago a 02/Set. 2011. Artigo C-09-12.
- Hurwitz, B. A. (1992). “State Liability for Outer Space Activities: in Accordance with the 1972 Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects”. Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic Publishers. 264 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2019). “Guidance Notes for Lead Authors of the IPCC Fourth Assessment Report on Addressing Uncertainties”. Disponível em: <<http://www.ipcc-wg2.awi.de/guidancepaper/uncertainty-guidance-note.pdf>>. Acesso em 30 ago. 2019.
- Ministério da Educação (MEC), (2019). “Estudantes do Ensino Fundamental Constroem Satélite em Ubatuba, no Litoral de São Paulo”. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/component/tags/tag/39831>. Acesso em 3 jul. 2019.
- Moraes, E. F. T., (2010). “Análise e Simulação de Detritos Espaciais”. Em: *Seminário de Iniciação Científica do INPE-SICINPE*, 2010, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2010. p. 77. CD-ROM; Papel; On-line. IBI: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/389BN4P>>. Acesso em 31 jan. 2018.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA), (2019). “What are SmallSats and CubeSats?”. Disponível em: <https://www.nasa.gov/content/what-are-smallsats-and-cubesats>. Acesso em 3 jul. 2019.
- Oliveira, S. B., (2009). “Fragmentação por Ação Aerotermodinâmica e Predição da Área de Impacto de um Veículo Espacial com Injeção Controlada da Re-entrada”. 410 p. (INPE-16586-TDI/1575). Tese (Doutorado em Mecânica Espacial e Controle) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos

- Campos. 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/07.23.15.26>>. Acesso em 11 fev. 2019.
- Pessotta, F. A., (2018). “Uma Estratégia para Tratamento de Falhas Sistêmicas (FDIR) em ACDHs de Satélites de Pequeno e Médio Porte”. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais, Área de Concentração em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018. Orientador: Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza.
- Planet.com (2019). “Planet Imagery and Archive”. Disponível em: <https://www.planet.com/products/planet-imagery/>. Acesso em 3 jul. 2019.
- Rabello, A. P. S. S., (2017). “Um Novo Processo para Melhorar a Dependabilidade de Sistemas Espaciais entre as Fases de Planejamento e Projeto Detalhado Incluindo Extensões do Diagrama de Markov (DMEP) e da FMECA (FMEP) a Projetos”. 344 p. IBI: <8JMKD3MGP3W34P/3MP6RNL>. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.07.17.54-TDI). Tese (Doutorado em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3MP6RNL>>.
- Santos, M. A., (2019). “Regime Internacional Aplicável a Pequenos Satélites de Baixa Complexidade: Propostas para Salvar Atores Espaciais e Mitigar Impactos Ambientais no Espaço Exterior”. 258 p. (sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/06.27.17.03-TAE). Tese de Doutorado - Universidade Católica de Santos, Santos-SP, 2019.
- Smithsonian National Air and Space Museum, (2019). “OSCAR 1”. Disponível em: <https://airandspace.si.edu/collection-objects/communications-satellite-oscar-i>. Acesso em 30 ago. 2019.
- Souza, M. L. O., Nunes, D., (2000). “Forecasting Space Debris: A Measure Theory Approach”. Em: *Proceedings of the International Astronautical Congress-IAC*, Rio de Janeiro, RJ, 2-6 out. 2000.
- Spaceews.com, (2019). “Small Satellites are at the Center of a Space Industry Transformation”. Disponível em: <https://spaceneews.com/small-satellites-are-at-the-center-of-a-space-industry-transformation/>. Acesso em 4 jul. 2019.
- The Engineering Society for Advancing Mobility Land Sea Air and Space (SAE) International, (1996). “ARP 4761: Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment”. Warrendale, p. 14. 1996.
- United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA), (2019^a). “Compendium of Space Debris Mitigation Standards Adopted by States and International Organizations”. Disponível em: http://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2016/aac_105c_22016crp/aac_105c_22016crp_16_0.html/AC105_C2_2016_CRP16E.pdf. Acesso em 15 jul. 2019.
- United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA), (2019^b). “IADC Space Debris Mitigation Guidelines”. Disponível em: <http://www.unoosa.org/documents/pdf/spacelaw/sd/IADC-2002-01-IADC-Space-Debris-Guidelines-RevisionI.pdf>. Acesso em 30 ago. 2019.
- United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA), (2019^c). “Space Debris Mitigation Guidelines of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space”. Disponível em http://www.unoosa.org/pdf/publications/st_space_49E.pdf. Acesso em 1 set. 2019.
- Weiss, C., (2003). “Expressing Scientific Uncertainty”. *Law, Probability and Risk*. Vol. 2. 2003. pp. 25-43.