

VI-151 - PREVENÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS POR MEIO DA DETERMINAÇÃO DO LOCAL DE QUEDA DOS RESÍDUOS ESPACIAIS

Letícia Camargo de Moraes⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual Paulista ICT – UNESP/SJC.

Fabiana Alves Fiore Pinto⁽²⁾

Graduada em Engenharia Civil pela UFMG. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Doutora em Saneamento e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Campinas FEC/UNICAMP. Professora e Pesquisadora pela Universidade Estadual Paulista ICT-UNESP/SJC. Pesquisadora colaboradora do Laboratório de Sustentabilidade e redes Técnicas FLUXUS (FEC/UNICAMP).

Jorge Kennety Silva Formiga⁽³⁾

Graduado em licenciatura plena em matemática pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestre em Física pela Universidade Estadual Paulista (UNESP/FEG). Doutor em Engenharia e Tecnologia Espacial pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Atua como professor Doutor na Universidade Estadual Paulista ICT – UNESP/SJC.

Endereço⁽¹⁾: Rua do símbolo, 110, bloco 1, apto 32 – Vila Andrade – São Paulo - SP - CEP: 05713-570 - Brasil - Tel: (12) 98855-7558 - e-mail: leticiaamargo64@gmail.com

Endereço⁽²⁾: Rodovia Presidente Dutra, Km 137,8 - Eugênio de Melo - São José dos Campos - SP - CEP 12247-004 - Tel: (12) 3947-9700 - e-mail: fabiana.fiore@unesp.com

Endereço⁽³⁾: Rodovia Presidente Dutra, Km 137,8 - Eugênio de Melo - São José dos Campos - SP - CEP 12247-004 - Tel: (12) 3947-9700 - e-mail: jorge.formiga@unesp.com

ABSTRACT

The present work establishes a mathematical model to determine the trajectory of the space debris. Through research, a historical base of junk fall was constructed, which demonstrated an increase in the fall of waste over the years, the base possible a construction of a map indicating the location of the falls, and the obtaining of more recurrent residues like tanks and structures, and the impacts associated with the fall of the debris. In addition, a research was done on legislation regarding environmental concern with space activity.

KEY WORDS: Mathematical model, space debris, legislation and recurrent residues.

RESUMO

O presente trabalho estabelece um modelo matemático para determinar a trajetória dos detritos espaciais. Por meio de pesquisas, construiu-se uma base histórica de queda de lixo, que demonstrou um aumento na queda de resíduos ao longo dos anos, a base possibilitou a construção de um mapa indicando a localização das quedas e a obtenção de resíduos mais recorrentes como tanques, estruturas e os impactos associados à queda dos detritos. Além disso, foi realizada uma pesquisa sobre legislação referente à preocupação ambiental com a atividade espacial.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo matemático, detritos espaciais, legislação e resíduos recorrentes.

INTRODUÇÃO

No Brasil entende-se por resíduos sólidos os restos gerados nas atividades humanas, em sociedade, cuja destinação se procede, se deseja ou se está obrigado a proceder. Esses resíduos, que podem estar em diferentes estados físicos (sólidos, líquidos ou gasosos), em geral são classificados quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente, à saúde pública e quanto à origem de geração. No país, o lixo espacial não está disposto em uma classe específica quanto à origem de geração, mesmo já tendo ocorrido a queda desse tipo de material no território (BRASIL, 2010; ABNT, 2004).

O lixo espacial originado a partir da inativação de equipamentos espaciais, ou choque entre veículos espaciais (ativos ou inativos) que estão em órbita, de acordo com Blockley; Shyy (2010), é um dos fatores no qual a

preocupação ambiental está mais recorrente, pois falhas em missões espaciais e equipamentos inativos geram detritos que podem afetar tanto os equipamentos que estão ativos em órbita, quanto a superfície terrestre, caso ocorra a queda dos mesmos.

De acordo com a Federação Russa, lei nº 5663-1 de 1993, um dos princípios da atividade espacial é a promoção de segurança na atividade espacial, com a proteção do meio ambiente. Deste modo, como forma de minimizar a contaminação do meio é proposto na lei, a proibição de contaminação nociva do espaço exterior, que resulte em mudanças desfavoráveis do ambiente, incluindo a eliminação deliberada ou destruição de objetos espaciais no espaço exterior para evitar possíveis danos ao meio ambiente.

Um estudo realizado em 2013 retrata que os impactos ambientais relacionados aos detritos espaciais podem ocorrer em determinados estágios: no lançamento do equipamento e inserção orbital, na órbita ou seja quando está operando, e no final da vida útil, com a possível reentrada. Desta forma, pode ocorrer contaminações nas camadas da atmosfera, no solo e na água, devido a presença de sólidos, em sua maioria metais, de líquidos tóxicos, e de gases gerados a partir da queima de combustíveis (Durrieu S.; Ross N., 2013).

Na atualidade não foram encontradas correlações entre as denominações de lixo espacial e de resíduos sólidos, na literatura internacional ou nacional e nem mesmo informações sobre o manejo desses restos. No entanto, se considerada a definição de resíduos sólidos pode-se inferir que a mesma se aplica para os lixos espaciais, já que esses são resultantes de atividades humanas, a partir de atividades espaciais e necessitam de uma destinação adequada, para não afetar a vida útil de outros equipamentos que estão em órbita, o meio ambiente e a sociedade caso a queda ocorra.

De acordo com a Convenção relativa ao Registro de Objetos Lançados no Espaço Cósmico de 1968, o estado que encontrar objetos espaciais ou receber os mesmos através da queda em seu território tem a obrigação de devolvê-los ao Estado de origem. Já a Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural de 1972, estabelece que caso tenha algum dano, comprovado, a responsabilidade é internacional, e que o dano será reparado. (BRASIL, 2006; BRASIL, 1972).

As tratativas relativas ao manejo desses materiais remetem à logística reversa e ao uso do princípio poluidor-pagador. Apesar de não abordar a destinação final do resíduo já vigoram mundialmente diretrizes relativas aos aspectos ambientais a eles associados. As ações preventivas e de minimização dos impactos decorrentes da queda desses resíduos na superfície terrestre demandam o conhecimento prévio dos locais onde essas ocorrerão, o que pode ser obtido por meio de modelagem computacional.

Entender a trajetória destes detritos espaciais antes da sua reentrada na Terra é de suma importância, porque é possível identificar a possível região e o tempo de impacto na Terra. Para tal monitoramento será utilizado o problema restrito de três corpos, que consiste em uma forma de identificar a trajetória do detrito ao longo do tempo considerando o efeito gravitacional da Terra e da Lua. Com a modelagem de sua trajetória, é possível prever a queda de alguns detritos e evitar ou reduzir danos ao meio ambiente.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Estabelecer modelo matemático para determinação da trajetória de resíduos espaciais.

Objetivos Específicos

- a. Identificar a ocorrência histórica da queda de resíduos espaciais;
- b. Avaliar a trajetória de reentrada de detritos para considerando o efeito gravitacional da Terra e da Lua,
- c. Identificar a composição dos resíduos espaciais de maior recorrência.

METODOLOGIA

Para o levantamento de informações sobre resíduos espaciais, como: tamanho, local da queda e a ocorrência de impacto negativo, foi realizada uma pesquisa das ocorrências de queda na Terra. A pesquisa foi realizada no Google, em três diferentes idiomas (português, espanhol e inglês) por meio de 36 palavras-chave, dentre elas “lixo espacial queda na superfície” e “impacto da queda de lixo espacial”. Com os dados obtidos construiu-se um banco de dados.

Concomitantemente, foram realizadas pesquisas sobre a existência de leis, que retratassem a caracterização das estruturas espaciais inativas como resíduos, e se havia algum direcionamento sobre a disposição dos mesmos. As buscas também foram realizadas no Google com palavras-chave como: “lei resíduo espacial”, “lei detritos espaciais”, “lei espacial” em russo, espanhol, inglês e português.

Para a modelagem da trajetória dos detritos foi utilizado o problema de três corpos, implementando no Matlab. Tal modelo, segundo Curtis (2010), consiste em dois corpos principais (m_1 e m_2) que estão orbitando em centro comum de massa em órbita Kepleriana, e um terceiro corpo (m_3) é adicionado, sua massa é desprezível, e está em órbita com as primárias. O terceiro corpo fica em um plano de movimento em relação à m_1 e m_2 .

Tem-se as equações de movimento que são dadas:

$$\ddot{x} - 2\dot{y} = x - \frac{\delta U}{\delta x} = -\frac{\delta \Omega}{\delta x}; \quad \ddot{y} - 2\dot{x} = y - \frac{\delta U}{\delta y} = -\frac{\delta \Omega}{\delta y}$$

$$\text{No qual, } \Omega = \frac{1}{2} (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + \frac{1-\mu}{r_1} + \frac{\mu}{r_2}$$

Onde r_1 e r_2 são as distâncias do detrito-Terra e detrito-Lua, respectivamente.

Para avaliação dos riscos à saúde humana e ao meio ambiente foram identificados e analisados os equipamentos que reentraram e causaram algum tipo de dano ambiental. As dimensões da maioria dos resíduos encontrados é conhecida, para os dados que não haviam essa informação foi realizada a atribuição do valor por semelhança entre os equipamentos, ou adoção de valor a partir de referenciais teóricos. Para os dois principais equipamentos encontrados, foi determinada, por meio de referencial teórico, a composição dos mesmos e realizadas inferências relacionadas aos potenciais impactos ambientais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da base de dados construída foi possível verificar que a taxa de resíduos espaciais que caem está aumentando nos últimos anos (Gráfico 1), e cerca de 12 % apresentam um dano associado, como degradação de moradias e emissão de substâncias tóxicas. Nos dois últimos anos, a frequência apresentou valores menores, porém acredita-se que os dados de 2017 ainda não foram divulgados por falta de comprovação da origem do resíduo, e no ano de 2018 por não apresentar dados do ano inteiro.

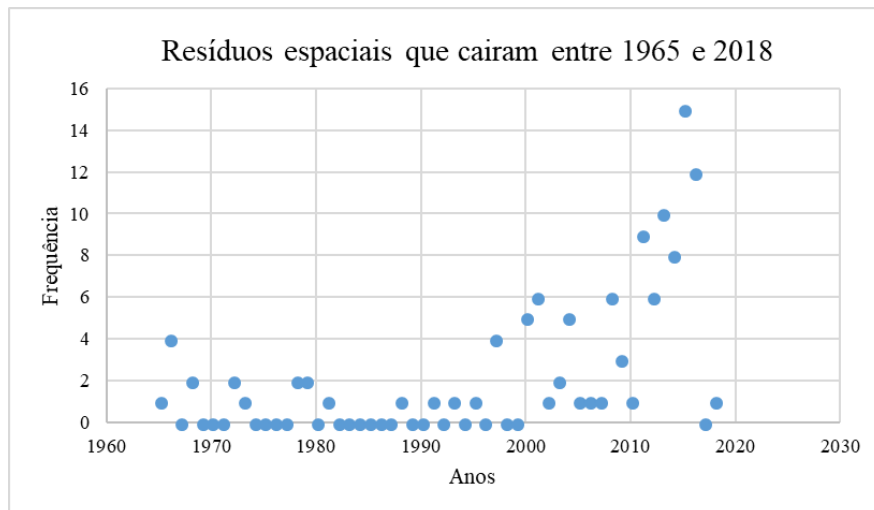


Gráfico 1: Quantidade de resíduos espaciais que caíram em cada anos ao longo dos anos entre 1965 e 2018.

O Brasil, até o presente trabalho, não apresenta lei que estabelece diretrizes relativas ao manejo dos resíduos espaciais. Segundo a legislação Russa as atividades espaciais não podem causar poluição prejudicial do espaço exterior, levando a mudanças no ambiente, incluindo intencionalmente a eliminação de objetos espaciais no espaço. Deste modo, os objetos inativos não devem permanecer em órbita após sua desativação, sendo responsabilidade da organização que instaurou os equipamentos, porém as leis não retratam a forma de captura desses detritos.

Através do programa implementado, obteve-se diversos resultados variando condições como: ângulo inicial da trajetória de voo, velocidade inicial e altitude inicial. Dessa forma, um resultado interessante consiste, nas condições iniciais: Ângulo 270° , velocidade 10.89 km/s, e altitude 200 km. Os gráficos 2, 3, 4 e 5 ilustram as características orbitais de distância da terra, valor do semieixo, trajetória e energia, respectivamente.

Com a velocidade de partida de 10.89 km/s, o detrito apresenta uma resistência em relação a Terra, que decorre da sua energia interna, associada à velocidade do mesmo, porém com o passar do tempo ocorre a aproximação detrito-Terra, que é indicado pelos gráficos 2 e 4. Cada aproximação detrito-Terra, ocorre um salto na energia, pois a Terra possui uma força gravitacional, muito maior que a resistência do detrito, garantindo a atração entre os mesmos. Ao longo do tempo, ocorre vários acréscimos de energia que podem ser visualizados no Gráfico 5. Em torno de 2×10^6 segundos de trajetória, aproximadamente 23 dias, o detrito sofre a reentrada e cai na superfície terrestre, podendo gerar algum tipo de impacto no meio ambiente.

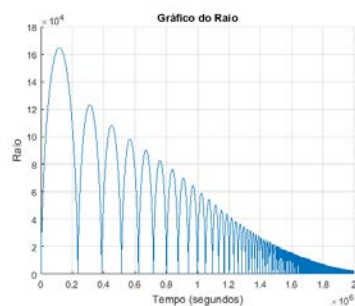


Gráfico 2: Distância da terra ao longo do tempo.

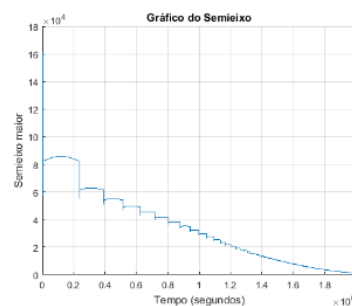


Gráfico 3: Valor do semieixo ao longo do tempo.

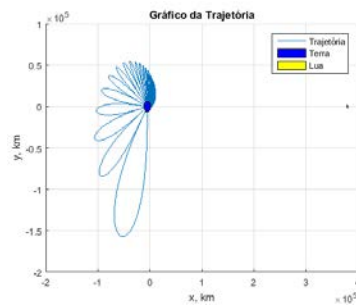


Gráfico 4: Trajetória do detrito.

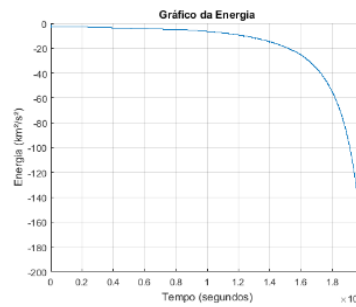


Gráfico 5: Variação de energia ao longo do tempo.

Os 139 resíduos mapeados da base de dados, estão dispostos na Figura 1. Os mesmos foram divididos em tipos, dentre eles, tanques, estruturas, propulsores e satélites.

Mapeamento de detritos espaciais que caíram na superfície terrestre entre 1965 e 2018

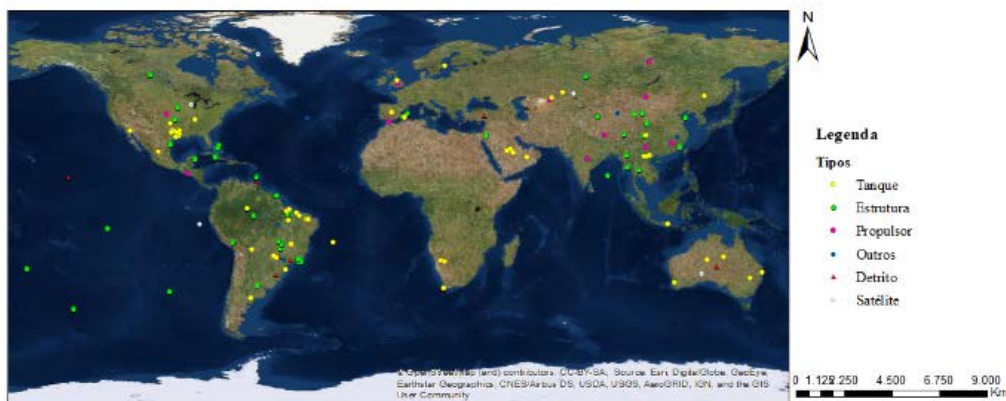


Figura 1: Mapeamento dos tipos de resíduos que caíram entre os anos de 1965 e 2018.

O resíduo com maior recorrência de queda foi o tanque, cerca de 40% do geral. Sendo geralmente composto de níquel, e utilizados para propulsão, reservar combustível. O segundo mais recorrente, é estrutura, com 30% do geral, consistem em carcaças de foguete, satélite e ônibus espaciais. São resíduos facilmente identificáveis, pois geralmente a identificação da organização fica na estrutura. Em sua composição há tintas e materiais metálicos.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou verificar o aumento da queda de resíduos espaciais na Terra, e identificou que a Rússia é um dos países que já possui a preocupação com as consequências das atividades espaciais. Com o programa implementado foi possível encontrar determinadas condições iniciais para os detritos, que resultam na reentrada. O mapeamento possibilitou verificar que os resíduos mais recorrentes são tanques, e estruturas. Os impactos potenciais estão relacionados à destruição de moradias e à contaminação do solo, água ou ar por substâncias tóxicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos classificação, Rio de Janeiro, 2004.
2. BLOCKLEY, Richard; SHYY, Wei. ENCYCLOPEDIA OF AEROSPACE ENGINEERING, Fluid dynamics and Aerothermal dynamics. New York, EUA. Wiley, 2010.
3. BRASIL. DECRETO Nº 5.806, DE 19 DE JUNHO DE 2006. Promulga a Convenção Relativa ao Registro de Objetos Lançados no Espaço Cósmico. 2006.

4. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010.
5. CURTIS, H. Orbital Mechanics for Engineering Students. 2º ed. Flórida, EUA. ELSEVIER, 2010.
6. Durrieu S.; Ross N.. Earth observation from space – The issue of environmental sustainability. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265964613000659>>.
7. KUGA, Hélio et al. INTRODUÇÃO À MECÂNICA ORBITAL. 2º ed. São José dos Campos: INPE, 2008.
8. MALEY'S, Paul. SPACE DEBRIS PAGE. Disponível em: <<http://eclipsetours.com/paul-maley/space-debris/>>. Acesso em: 16 de março de 2017.
9. Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e cultura. Convenção para a proteção do patrimônio mundial, cultural e natural. 1972. Disponível em: <<https://whc.unesco.org/archive/convention-pt.pdf>>