

Anais do XIV Seminário de Iniciação Científica da Universidade Estadual de Feira de Santana, UEFS, Feira de Santana, 18 a 22 de outubro de 2010

## **ESTUDO DE MODELOS DE DIFUSÃO APLICADOS À DINÂMICA DE DETRITOS ESPACIAIS**

**Diêgo Oliveira dos Santos<sup>1</sup>; Antônio Delson Conceição de Jesus<sup>2</sup>**

1. Voluntário/PEVIC, Graduando em Licenciatura em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: dos.fis@gmail.com

2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: [aldjl@gmail.com](mailto:aldjl@gmail.com)

### **INTRODUÇÃO**

O estudo da Dinâmica Orbital engloba diversos interesses científicos e tecnológicos das missões espaciais (Jesus, 2008). A pesquisa nesta área encontra-se num efervescente crescimento nas últimas quatro décadas, devido à demanda natural das necessidades do cotidiano moderno e também dos objetivos relacionados com a autonomia tecnológica e científica dos países emergentes como o Brasil. Um dos problemas mais preocupantes nesta área de pesquisa é a aglomeração de partículas no ambiente espacial fora da terra, as quais possuem grande potencial de colisão com os veículos espaciais. Estas partículas são chamadas de Detritos Espaciais (DE), que podem colidir com aeronaves, satélites, sondas, estações espaciais, etc., comprometendo as próprias missões espaciais, gerando prejuízos financeiros e também de vidas humanas em acidentes fatais. Este problema tem se avolumado, pois o número dos DE tem crescido devido ao crescimento das atividades espaciais. Os DE possuem diversos tamanhos, orbitam em diversas camadas sob diversas altitudes, movimentam-se com velocidades relativas muito altas (da ordem de km/s) e ainda colidem entre si, gerando partículas sub-milimétricas, difíceis de serem detectadas pelos radares e outros instrumentos de observação. As fontes dos DE são, em geral, classificadas em dois tipos: 1) os DE gerados pelas atividades espaciais, aqueles produzidos pelo homem – os fragmentos de espaçonaves, satélites com vida útil finalizada, estágios de foguetes, explosões induzidas de veículos, vazamento de combustíveis e; 2) aqueles produzidos pela própria natureza – poeiras, meteoros, partículas diversas do espaço sideral que são capturadas pelo campo gravitacional terrestre, os detritos gerados pelas colisões em cadeia entre detritos, cuja probabilidade de ocorrência tem aumentado (Kessler e Cour-Palais, 1978). As pesquisas nesta área de DE envolvem, principalmente, a determinação de modelos físico-matemáticos que expliquem a formação, a fragmentação, a dinâmica e a órbita destas partículas. Uma caracterização completa da distribuição destes objetos por tamanho nas diversas camadas do ambiente espacial ainda necessita de abordagens definitivas. Da análise de pesquisas feitas, vemos que os resultados parecem indicar que apenas modelos mais precisos, que levem em consideração o processo de evolução ocasional em detalhe, a partir de um número de parâmetros físicos mais gerais teriam potencial de trazer soluções mais realistas, fato que os torna desejáveis. Nesta pesquisa, analisamos modelos de difusão de partícula para explicar a evolução destas partículas no ambiente espacial fora da terra. O estudo está em caráter preliminar, de tal maneira que as expressões algébricas e sua respectiva simulação numérica ainda não se encontram disponíveis neste momento. Apresentamos resultados do que temos feito até o momento deste resumo.

### **METODOLOGIA**

Anais do XIV Seminário de Iniciação Científica da Universidade Estadual de Feira de Santana, UEFS, Feira de Santana, 18 a 22 de outubro de 2010

A metodologia utilizada neste estudo consta de: 1) estudo detalhado de modelos de difusão de partículas pré-existentes, em busca de características que possam explicar a formação dos DE; 2) escolha do modelo mais apropriado para o estudo da dinâmica relativa dos DE; 3) modificação no modelo escolhido para adequar o formalismo ao desenvolvimento da dinâmica dos DE; 4) dedução analítica ou algébrica de expressões derivadas do modelo físico-matemático modificado.

## RESULTADOS

A população dos DE em torno da Terra é de, aproximadamente, 350.000 de objetos maiores que 1cm e 500.000.000 maiores que 1mm. A Figura 1, abaixo, mostra uma “construção artística” do ambiente fora da Terra orbitado por diversos DE.

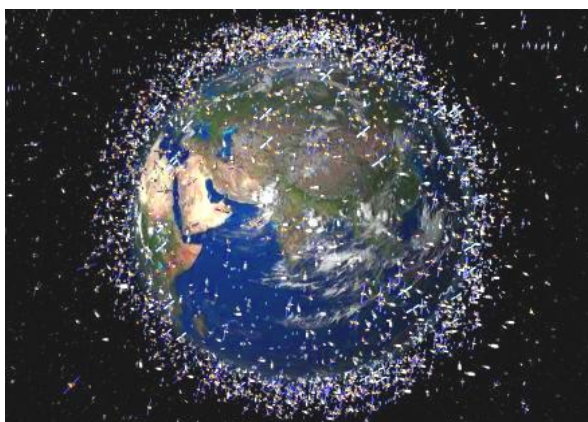


FIGURA 1 – Modelo de Detrito Espacial

Na nossa investigação estudamos preliminarmente quatro modelos de difusão de partículas (Stachel, 2001) que explicam a dinâmica de pequenas partículas através do movimento browniano (como na Figura 2, abaixo).

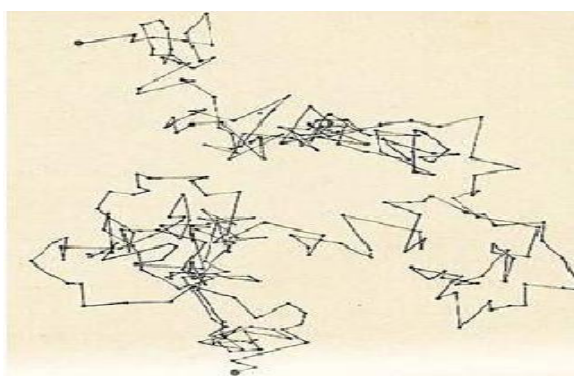


FIGURA 2 – Tratamento de uma partícula para o movimento browniano. O movimento é extremamente irregular.

O movimento browniano foi descoberto pelo botânico Inglês Robert Brown em 1828, o qual observou pequenas partículas imersas numa solução, movimentando-se de forma completamente irregular. Apenas em 1860 este movimento foi explicado como sendo devido às colisões com as moléculas do fluido. Einstein estudou este movimento e propôs um modelo de difusão que obedece a seguinte Equação,

Anais do XIV Seminário de Iniciação Científica da Universidade Estadual de Feira de Santana, UEFS, Feira de Santana, 18 a 22 de outubro de 2010

$$\frac{\partial \eta(x,t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \eta(x,t)}{\partial x^2} \quad (1)$$

Ele concluiu que as partículas se comportam como num processo gaussiano difusivo. O mesmo fez uma relação, onde uma flutuação quadrática média está associada com um processo dissipativo, que foi descrito pelo coeficiente de viscosidade. Uma outra abordagem foi a de Langevin (Tomé e Oliveira, 2001), que associou ao movimento browniano forças flutuantes. Ele propôs uma dinâmica estocástica e desenvolveu uma equação diferencial estocástica, dada abaixo,

$$m \frac{dv}{dt} = -\alpha v + F(t) \quad (2)$$

Com esta abordagem, um deslocamento quadrático médio é encontrado para a partícula e o resultado é equivalente ao de Einstein, no limite para longos tempos. A equação de Fokker-Planck é a mais desejada, pois mostra a evolução temporal da distribuição de probabilidade, que pode ser, por exemplo, das posições que a partícula poderia assumir. De fato, o nosso modelo deve ser probabilístico, pois a grande dificuldade que as agências espaciais enfrentam é encontrar um modelo de probabilidade que forneça a posição de cada DE em cada segundo da sua dinâmica. O último modelo de difusão que analisamos foi o de M. Kac, que usa caminhadas aleatórias para descrever o movimento das partículas, considerando que elas se deslocam em linha reta para trás e para frente com probabilidades equivalentes. A nossa investigação inclui um elemento novo na Equação de Langevin, uma força de fricção para testar a solução da Equação de Fokker-Planck. Encontramos um fator que pode ser relacionado com a colisão DE-DE em tempos muito curtos. Este resultado pode ser sugerido como um modelo de difusão mais atualizado, aplicado ao estudo da dinâmica relativa dos DE.

Se considerarmos um DE como uma partícula de massa  $m$  que se move num meio viscoso e sujeita a uma força externa (uma força de fricção), a equação do movimento pode ser escrita da seguinte forma:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\alpha \frac{dx}{dt} + F_s(x) + F(t) \quad (3)$$

Neste caso, a primeira parcela à direita é a força viscosa, proporcional à velocidade; a segunda é a força externa e a terceira é a força aleatória. Para um DE com massa pequena (portanto, se considerarmos nosso estudo em camadas de pequenas partículas, milimétricas) o que equivale a um regime de alta viscosidade, o termo à direita poderia ser desprezado e a equação a ser considerada seria:

$$\alpha \frac{dx}{dt} = F_s(x) + F(t) \quad (4)$$

A força  $F(t)/\alpha$  pode ser considerada como aquele de colisão entre DE neste regime. A equação de Fokker-Planck apresenta solução para os casos da força de Langevin ser uma constante (uma gaussiana), para o caso da força de Langevin ser uma força restauradora (uma gaussiana, equação de Smoluchowski). No nosso trabalho, estamos revisando estes resultados

Anais do XIV Seminário de Iniciação Científica da Universidade Estadual de Feira de Santana, UEFS, Feira de Santana, 18 a 22 de outubro de 2010

no sentido de aplicar a outras camadas, que comportam DE com massas de ordens de grandeza superiores a milimétrica.

## **CONCLUSÃO**

Concluimos que a dinâmica de DE pode ser explicada por uma composição das abordagens de Langevin e Fokker-Planck e inclusão de uma força de fricção adicional, relacionada com a colisão entre DE. Este resultado aponta para um modelo de difusão mais atualizado do que os usuais.

## **REFERÊNCIAS**

JESUS, ANTÔNIO DELSON CONCEIÇÃO, 2008. Dinâmica Orbital em Ambiente de Detrito Espacial. Feira de Santana, Relatório Científico.

KESSLER, D. J., COUR-PALAIS, B.G. Collision frequency of artificial satellite: The creation of a debris belt, *J. Geophys. Res.*, 83, 2637-2646, 1978.

T. TOMÉ E M. J. OLIVEIRA, 2001. Dinâmica Estocástica e Irreversibilidade. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo.

ZILL, DENNIS G. E CULLEN, MICHAEL R., 2001. Equações Diferenciais, V2, São Paulo; Makron Books.

STACHEL, 2001. O Ano Miraculoso de Einstein: Cinco Artigos que Mudaram a Face da Física. Editora UFRJ, Rio de Janeiro.