

Propagação Numérica e Semi-Analítica de uma Distribuição de Detritos Espaciais

Sandro Felgueiras Castro¹ (ITA, Bolsista PIBIC/CNPq)
Anderson Patrick Alves Pereira² (ITA, Bolsista PIBIC/CNPq)
Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza³ (DAS/CEA/INPE)

RESUMO

Este trabalho, iniciado em agosto de 2002, tem como objetivo simular a geração e propagação de “Detritos Espaciais”, para fomentar o estudo posterior de suas propriedades básicas.

No período entre 1 de agosto de 2002 a 1 dezembro de 2002, João Paulo inicialmente desenvolveu um estudo de Mecânica Orbital, e iniciou a simulação de detritos espaciais com a utilização de um programa em linguagem C, para melhorar a interface de um programa em UNIX. Este trabalho, iniciado em agosto de 2003, tem como objetivo a continuidade ao projeto de Iniciação Científica em andamento desde 2002, para simular a geração e propagação de “Detritos Espaciais”, para fomentar o estudo posterior de suas propriedades básicas. No período entre 1 de agosto de 2003 e 1 dezembro de 2003, Sandro Felgueiras Castro desenvolveu um estudo analítico do problema de propagação de detritos espaciais. A partir de dezembro de 2003, Anderson Patrick Alves Pereira iniciou a elaboração e o estudo de um modelo puramente matemático que representaria a propagação dos detritos espaciais. Esse modelo foi idealizado a partir das observações dos resultados do projeto de pesquisa precedente, no qual notou-se que a propagação dos detritos espaciais ocorria segundo a forma de uma elipse deformada (“bananóide”). Esse modelo foi sendo simulado em ambiente MATLAB durante a sua construção e, até o presente momento, é uma elipse cujos eixos são rotacionados enquanto o seu centro gira, segundo uma circunferência, em torno de um ponto (centro de massa).

Dando continuidade ao projeto, será realizada uma curvatura dos eixos da elipse para que esta se aproxime da forma de um “bananóide”. Por fim, os parâmetros do modelo serão ajustados para que este simule da melhor forma possível a propagação de detritos espaciais. E o resultado final será publicado em um artigo no Seminário de Iniciação Científica do INPE.

UTILIZAÇÃO DAS NORMAS BSI 7799 NO GERENCIAMENTO DOS RISCOS EXISTENTES NOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO EMPRESARIAL

1 Aluno do Curso de Engenharia Mecânica-Aeronáutica, ITA. E-mail: sandro-ita05@bol.com.br

2 Aluno do Curso de Engenharia Eletrônica, ITA. E-mail: patrick@h8.ita.br

3 Pesquisador da Divisão de Engenharia Mecânica, E-mail: marcelo@dem.inpe.br



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

PROPAGAÇÃO NUMÉRICA E SEMI-ANALÍTICA DE UMA DISTRIBUIÇÃO DE DETRITOS ESPACIAIS

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Bolsista 1 - Sandro Felgueiras Castro (ITA, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: sandro-ita05@bol.com.br

**Bolsista 2 – Anderson Patrick Alves Pereira (ITA, Bolsista
PIBIC/CNPq)**

E-mail: patrick@h8.ita.br

Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza (DMC/ETE/INPE, Orientador)

E-mail: marcelo@dem.inpe.br

Maio de 2004

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	4
CAPÍTULO 2 – OBJETIVO DO TRABALHO.....	5
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA.....	6
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E ANÁLISES.....	7
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	12
APÊNDICE A – DESENVOLVIMENTO ANALÍTICO DO PROBLEMA.....	14
APÊNDICE B – RELATÓRIO DO PROGRAMA ELIPSE.....	15

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Comparação dos CM's - métodos analítico e o numérico.....	07
Figura 2 – Elipse simples.....	08
Figura 3 – Giro da elipse (sem crescimento dos eixos).....	08
Figura 4 – Giro da elipse (com crescimento dos eixos).....	09
Figura 5 – Rotação da elipse simples.....	09
Figura 6 – Giro da elipse em torno do CM associado à rotação da mesma.....	10
Figura 7 – Giro de duas voltas da elipse associado à rotação da mesma.....	10
Figura 8 – Forma “bananóide” a ser construída pelo modelo.....	11

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O início (agosto de 2002) desse projeto foi motivado pelo estudo das propriedades básicas do processo espalhamento de Detritos Espaciais. Através deste estudo, será possível analisar os problemas de colisão e interferência entre os detritos espaciais e outros objetos encontrados no espaço como satélites, ônibus espaciais, e estações espaciais.

O primeiro projeto foi iniciado por João Paulo Marques Reginato, em agosto de 2002. Ele iniciou um estudo em Mecânica Orbital através da apostila de Kuga e Rao (1995). Foi feito também um estudo de erros numéricos e de integração de equações diferenciais pelo método de Runge-Kutta através do livro de Carnahan, Luther e Wilkes (1976).

Após essa etapa introdutória, ele começou a simulação de detritos espaciais, com a utilização de um programa chamado KK em linguagem C, feito por Nunes (2000) para o sistema operacional UNIX, como base para essa simulação. Para melhor entendimento do programa KK, foi feita primeiramente uma leitura e a construção de um fluxograma do mesmo e posterior aperfeiçoamento. A seguir, adaptou-se o programa KK para rodar no sistema operacional Windows 2000 com auxílio do programa MS Visual C++ 6.0 do ambiente MS Visual Studio 6.0.

Além disso, a saída de dados do programa KK foi adaptada para tornar-se compatível com os programas/ambientes MATLAB, para utilizar-se sua capacidade de análise.

Em fevereiro de 2003, Sandro Felgueiras Castro assumiu esse projeto de pesquisa. Ele iniciou um estudo em Mecânica Orbital, através também da apostila de Kuga e Rao (1995). Foram feitos todos os exercícios referentes aos capítulos 1 a 6. Após isso, foi iniciado um estudo de probabilidades e processos estocásticos, através do livro do Meyer (1970).

Ainda neste projeto, Sandro calculou a estatística da distribuição de “Detritos Espaciais” e estudou a sua evolução no tempo, iniciando com a posição do Centro de Massa – CM.

CAPÍTULO 2 – OBJETIVO DO TRABALHO

Esse trabalho visa dar continuidade ao projeto anterior, cujo objetivo principal era estudar, modelar e simular a propagação numérica e semi-analítica de uma distribuição de detritos espaciais, que se movimentem ao redor da Terra.

Com base nesses dados, objetiva-se, posteriormente, estudar as propriedades básicas desse processo. Assim, será possível analisar os problemas de colisão e interferência entre os detritos espaciais e outros objetos encontrados no espaço como satélites, ônibus espaciais, e estações espaciais.

CAPÍTULO 3 –METODOLOGIA

Em dezembro de 2003, Anderson Patrick Alves Pereira assumiu esse projeto de pesquisa. Seguindo a orientação do Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza, Anderson iniciou a elaboração e o estudo de um modelo puramente matemático que representaria a propagação dos detritos espaciais. Esse modelo foi idealizado a partir das observações dos resultados do projeto de pesquisa precedente, no qual notou-se que a propagação dos detritos espaciais ocorria segundo a forma de uma elipse deformada (“bananóide”), cujos eixos cresciam segundo alguma taxa, ao mesmo tempo em que a elipse era rotacionada e o seu centro girava em torno de um ponto (provavelmente o CM da Terra) segundo uma circunferência.

Esse modelo foi sendo simulado em ambiente MATLAB durante a sua construção, sempre realizando os ajuste necessários nos parâmetros com o objetivo de se obter um modelo que se aproximasse ao máximo dos resultados obtidos no projeto anterior.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E ANÁLISES

De acordo com os objetivos específicos do projeto, obtivemos os seguintes resultados:

5) Calcular a estatística da distribuição de “Detritos Espaciais” e estudar a sua evolução no tempo, iniciando com a posição do Centro de Massa – CM.

Um estudo sobre a evolução do centro de massa dos detritos espaciais, considerando-se o método numérico e o método analítico, revelou bastante semelhança entre ambos os métodos. Isso pode ser comprovado na Figura 1 abaixo:

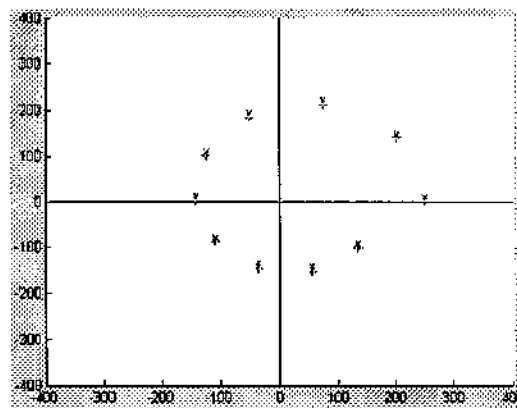


Figura 1: Comparação dos CM's - métodos analítico e o numérico

Na Figura 1, o símbolo '+' é relativo ao centro de massa utilizando-se o método numérico; e o símbolo 'x' é referente ao método analítico.

6) Observar e interpretar as propriedades básicas de tal processo.

A análise das figuras revela que a parametrização utilizada, apesar de não levar em conta a conservação do momento angular e da energia do sistema, é capaz de reproduzir várias propriedades da propagação (P1: forma de “bananóide” com concavidade voltada para o centro de atração; P2: os pontos retornam à posição inicial da explosão após um período completo, etc.).

7) Testar um modelo analítico simples (geométrico, cinemático, etc.) para a distribuição de detritos espaciais e sua evolução; compará-lo com as simulações; e aperfeiçoá-lo.

Utilizando-se os conhecimentos de álgebra linear e o programa MATLAB, a partir de dezembro, foi construído um modelo analítico simples para a propagação de detritos espaciais como explicado anteriormente.

No momento, está sendo estudada uma forma de se fazer com que os eixos da elipse também sejam rotacionados, para posterior implementação da próxima fase da simulação em MATLAB.

As Figuras 2-4 a seguir mostram os resultados alcançados em cada fase da construção do programa:

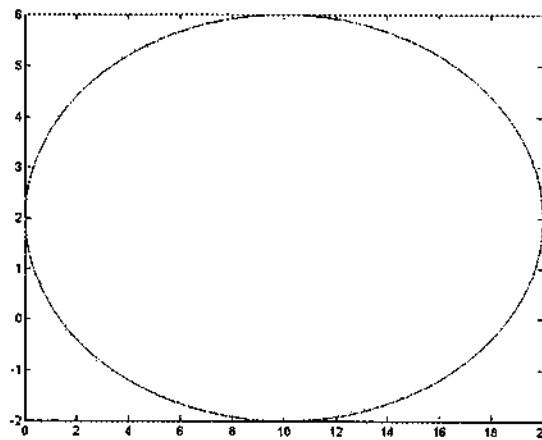


Figura 2 – Elipse simples.

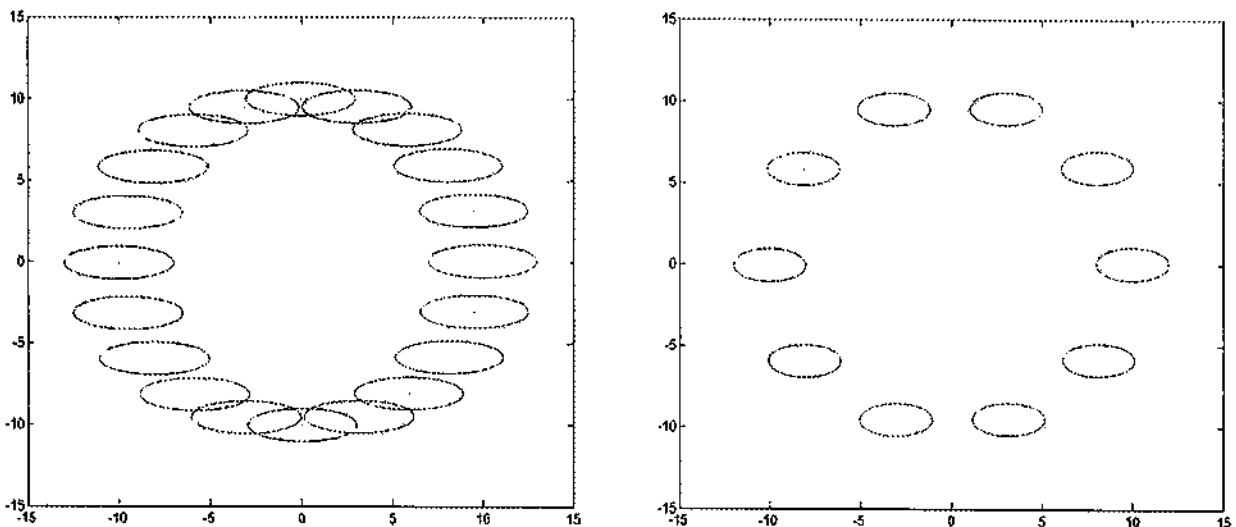


Figura 3 – Giro da elipse (sem crescimento dos eixos).

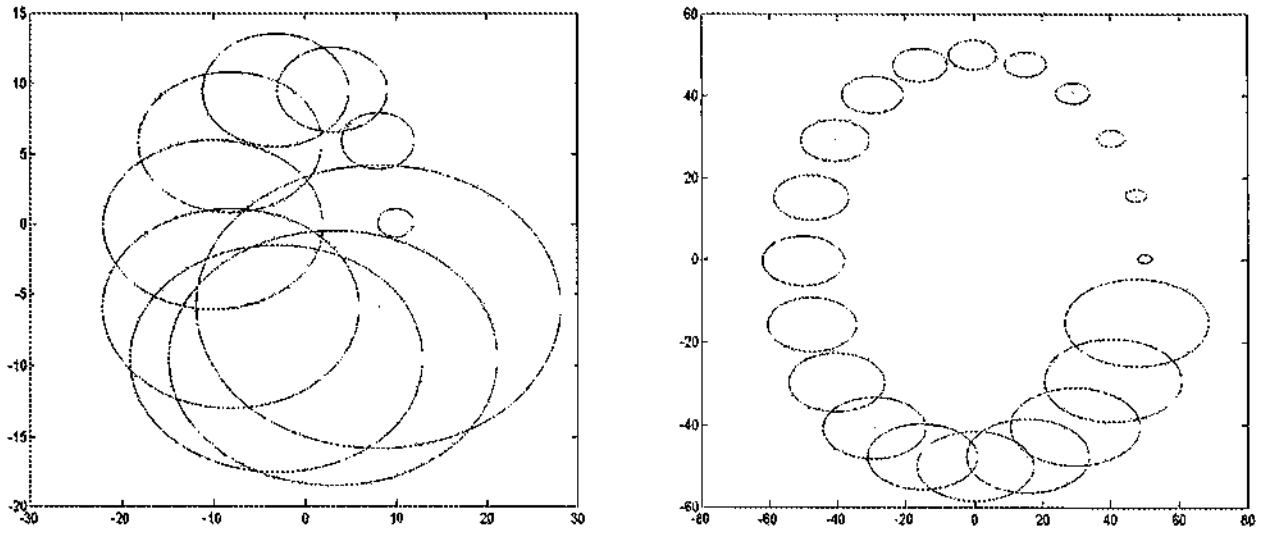


Figura 4 – Giro da elipse (com crescimento dos eixos).

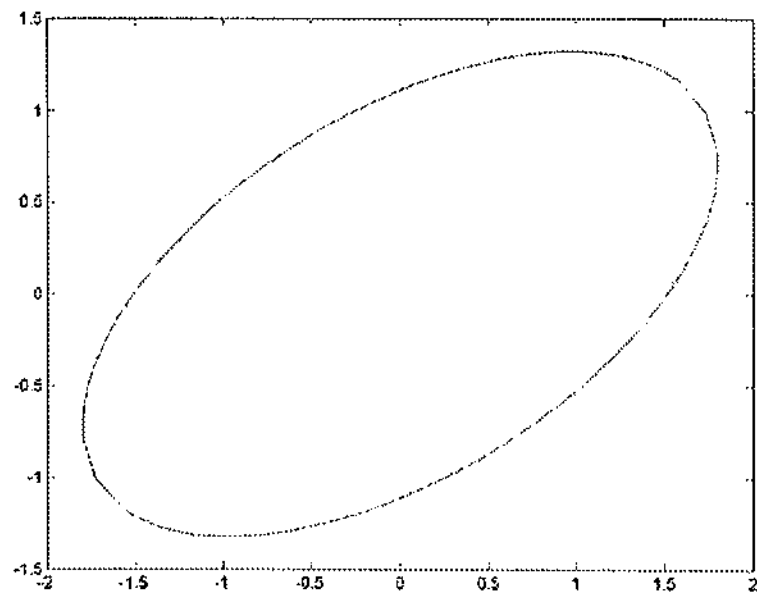


Figura 5 – Rotação da elipse simples

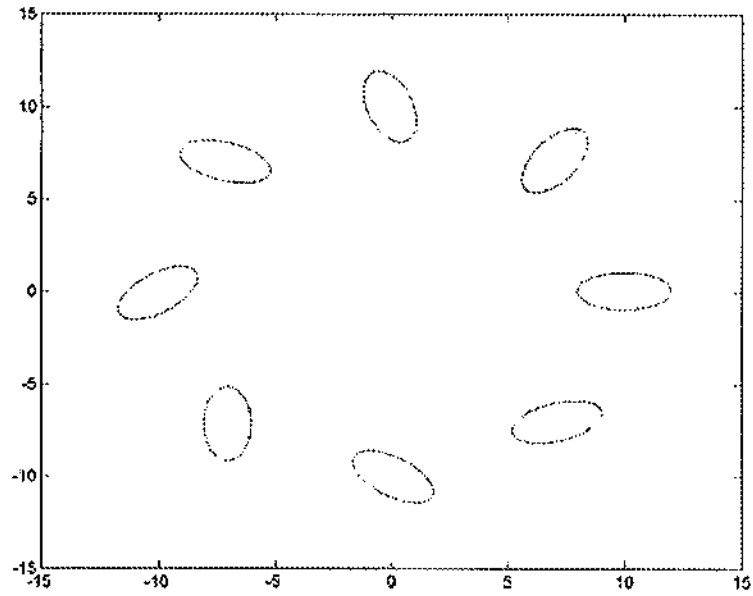


Figura 6 – Giro da elipse em torno do CM associado à rotação da mesma

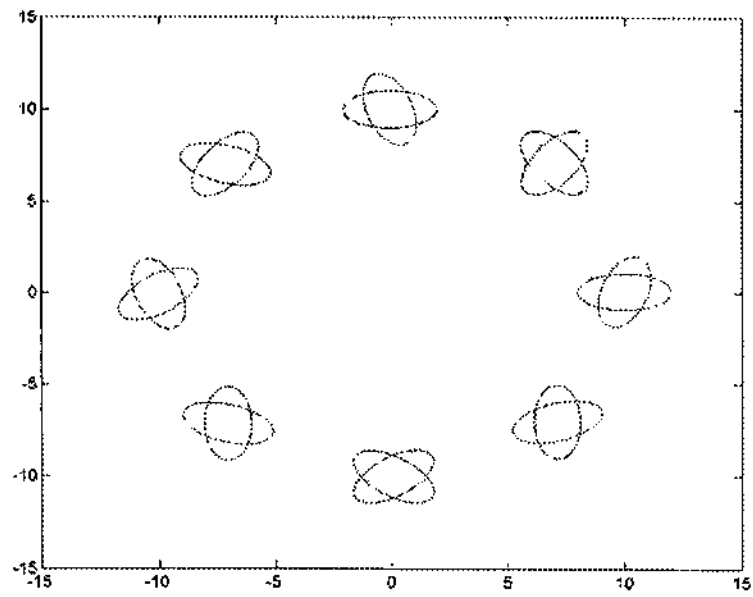


Figura 7 – Giro de duas voltas da elipse associado à rotação da mesma

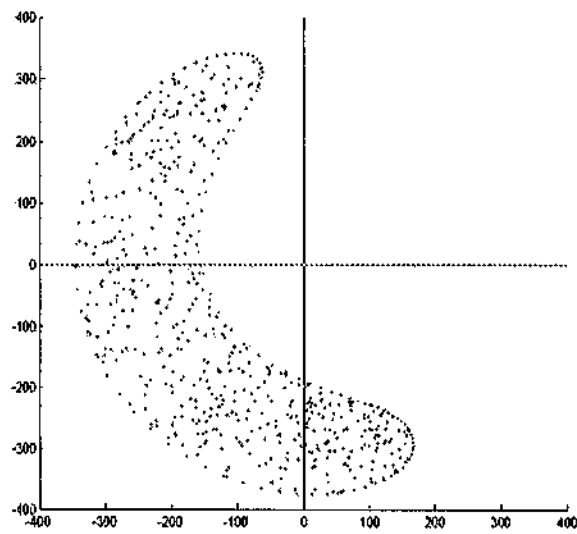


Figura 8 – Forma “bananóide” a ser construída pelo modelo

Até o presente momento foi possível desenvolver a elipse de eixos rotacionados e centro girante segundo uma circunferência. Resta-nos fazer o ajuste dos parâmetros (raio da circunferência, velocidade de rotação dos eixos, taxa de crescimento dos eixos da elipse) e desenvolver a curvatura dos eixos da elipse.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Seguindo os objetivos específicos da proposta, esperamos alcançar na próxima parte do projeto [Agosto/2004-Julho/2005] os seguintes objetivos:

7) Finalizar a construção do modelo matemático no MATLAB.

Até o presente momento, já foi possível construir um modelo de elipse girante e rotacionada; resta fazer com que os eixos da elipse também se curvem. Observar e concluir as propriedades básicas de tal processo.

Comparando os resultados das simulações do modelo matemático no MATLAB com os obtidos através do programa KK, vamos verificar a validade e o desempenho deste modelo.

8) Se houver tempo, introduzir o arrasto atmosférico e refazer os itens de 3 a 7: Devido a limitações de tempo, provavelmente não será possível realizar este estudo.

9) Documentar e publicar o trabalho: O resultado final esperado será a publicação de um artigo no Seminário de Iniciação Científica do INPE em 2005.

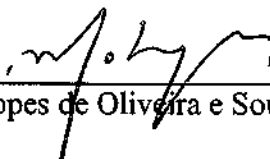
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) KUGA, H.K., RAO, K.R., *Introdução à Mecânica Orbital*, INPE, São José dos Campos - SP, 1995.
- 2) JOHNSON, N.L., & MCKINIGHT, D.S. *Artificial Space Debris (Updated Edition)*. Krieger Pub. Co., Malabar, FL, USA, 1991.
- 3) CHOBOTOV, V.A. (ed.) *Orbital Mechanics (2 Ed.)* Reston, VA, USA, AIAA, 1996.
- 4) SOUZA, M.L.O., NUNES, D., *Forecasting Space Debris Distribution: A Measure Theory Approach*, 51st. International Astronautical Congress – IAC. Rio de Janeiro - RJ, 2-6 Out.2000, Paper IAA-00-IAA.6.4.07.
- 5) ROSSER, J.B. (ED.) *Space Mathematics, Part I*. American Mathematical Society, New York, NY, USA, 1996.
- 6) CHANDRASEKHAR, S. *Principles of Stellar Dynamics*. Chicago Univ. Press, Chigaco, IL, USA, 1942; e Dover Pub., New York, NY, USA, 1960.
- 7) SIGMON, KERMIT, *MATLAB Primer*, 4th Edition, CRC Press, 1994.

São José dos Campos, 31 de maio de 2004.

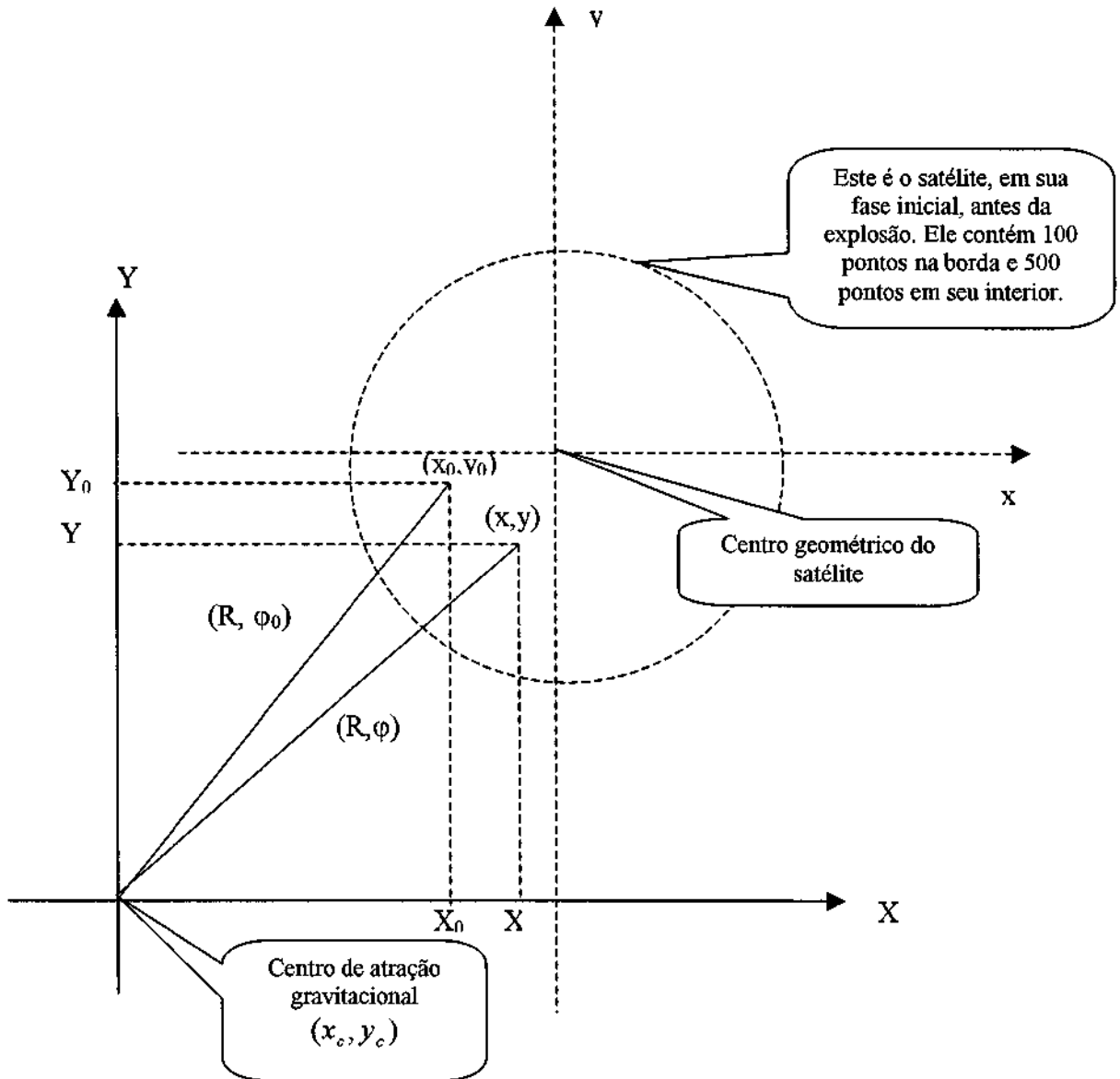
Anderson Patrick Alves Pereira /Bolsista

Certifico que os alunos Anderson Patrick Alves Pereira e Sandro Felgueiras Castro e os seus trabalhos, realizados no período de 01/08/2003 a 31/05/2004, descritos neste Relatório foram satisfatórios.



Marcelo Lopes de Oliveira e Souza/Orientador

Apêndice A – Desenvolvimento analítico do problema realizado por Sandro Felgueiras Castro



$$X_0 = R \cos(\varphi_0)$$

$$Y_0 = R \sin(\varphi_0)$$

$$X = R \cos(\varphi) = R \cos(\varphi_0 + \omega t)$$

$$Y = R \sin(\varphi) = R \sin(\varphi_0 + \omega t)$$

$$R = \sqrt{((x_c - x)^2 + (y_c - y)^2)} = \sqrt{((X)^2 + (Y)^2)}$$

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t$$

$$\frac{Y}{y} = \frac{\sin(\varphi_0 + \omega t)}{\sin(\varphi_0)} \Rightarrow Y = y \frac{\sin(\varphi_0 + \omega t)}{\sin(\varphi_0)}$$

$$\frac{X}{x} = \frac{\cos(\varphi_0 + \omega t)}{\cos(\varphi_0)} \Rightarrow X = x \frac{\cos(\varphi_0 + \omega t)}{\cos(\varphi_0)}$$

O programa "Propagação" utiliza essas relações para propagar os "detritos espaciais" ao longo do tempo. O programa "kk2mat" considerava o centro de atração gravitacional coincidente com o centro geométrico. Os parâmetros x e y foram obtidos através do programa kk2mat, que gera as posições cartesianas dos "detritos espaciais" num arquivo .txt para diversos instantes de tempo (0,1T, 0,2T, etc.)

APÊNDICE B – RELATÓRIO DO PROGRAMA ELIPSE

I - INTRODUÇÃO

Esse relatório visa esclarecer o funcionamento e o desenvolvimento de um programa que simula a explosão de um satélite.

II – CÓDIGOS-FONTE DAS SIMULAÇÕES

A construção da elipse que melhor representa o espalhamento dos detritos espaciais (forma “bananóide”) passou por várias etapas. A seguir estão descritos os códigos-fontes de cada fase do trabalho:

a) ELIPSE SIMPLES

```
function elipse
```

```
%Propriedades: Elipse simples centrada em (10,2).
```

```
%coordenadas do centro
```

```
x0=10;
```

```
y0=2;
```

```
%definição dos semi-eixos
```

```
ex=10;
```

```
ey=4;
```

```
%desenho
```

```
x=(-ex+x0):0.05:(ex+x0);
```

```
ysup=y0+ey.*sqrt( 1-((x-x0)/ex).^2 );
```

```
yinf=y0-ey.*sqrt( 1-((x-x0)/ex).^2 );
```

```
plot(x,ysup);
```

```
hold on
```

```
plot(x,yinf);
```

```
end
```


b) ELIPSE CUJO CENTRO GIRA SEGUNDA UMA CIRCUNFERÊNCIA

function ellipse

%Propriedades: Gira em torno de (0,0).

for t=1:100:1000

 % t = variável de tempo

 w=2*3.14159*0.001; %velocidade angular

 raio=10;

 teta=w.*t;

 % desenho de uma ellipse

 %coordenadas do centro da ellipse

 xe=raio.*cos(teta);

 ye=raio.*sin(teta);

 %definicao dos semi-eixos

 ex=2; %eixo x da ellipse

 ey=1; %eixo y da ellipse

 %desenho

 x=(-ex+xe):0.05:(ex+xe);

 ysup=ye+ey.*sqrt(1-((x-xe)/ex).^2);

 yinf=ye-ey.*sqrt(1-((x-xe)/ex).^2);

 plot(xe,ye);

 hold on;

 plot(x,ysup);

 hold on;

 plot(x,yinf);

end

end

c) ELIPSE CUJO CENTRO GIRA SEGUNDO UMA CIRCUNFERÊNCIA E CUJOS EIXOS TAMBÉM CRESCEM.

```
function ellipse
```

```
%Propriedades: Gira em torno de (0,0) com crescimento dos eixos.
```

```
for t=1:50:1000
```

```
    % t = variável de tempo
```

```
    w=2*3.14159*0.001; %velocidade angular
```

```
    raio=50;
```

```
    teta=w.*t;
```

```
% desenho de uma elipse
```

```
%coordenadas do centro da elipse
```

```
xe=raio.*cos(teta);
```

```
ye=raio.*sin(teta);
```

```
%definicao dos semi-eixos
```

```
ex=2+0.02*t; %taxa de crescimento do eixo x da elipse
```

```
ey=1+0.01*t; %taxa de crescimento do eixo y da elipse
```

```
%equacoes da elipse
```

```
x=(-ex+xe):0.05:(ex+xe);
```

```
ysup=ye+ey.*sqrt(1-((x-xe)/ex).^2);
```

```
yinf=ye-ey.*sqrt(1-((x-xe)/ex).^2);
```

```
%plotagem da elipse
```

```
plot(xe, ye);
```

```
hold on;
```

```
plot(x, ysup);
```

```
hold on;
```

```
plot(x, yinf);
```

```
end
```

```
end
```

d) ELIPSE SIMPLES COM OS EIXOS ROTACIONADOS

function ellipse

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

% DESENHO DA ELIPSE

% rotacao da elipse

giro=-pi/6; %angulo de rotacao da elipse

%definicao dos semi-eixos

ex=2; %eixo x da elipse

ey=1; %eixo y da elipse

%desenho

x=(-ex):0.05:(ex);

ysup = ey.*sqrt(1-((x)/ex).^2);

yinf = -ey.*sqrt(1-((x)/ex).^2);

%rotacao da elipse

x1= x.*cos(giro) + ysup.*sin(giro);

x2= x.*cos(-giro) + ysup.*sin(-giro);

ysup1= -x.*sin(giro) + ysup.*cos(giro);

yinf1= -x.*sin(giro) - ysup.*cos(giro);

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

%elipse rotacionada

plot(x1,ysup1);

hold on;

plot(x2,yinf1,'r');

end

e) ELIPSE COM OS EIXOS ROTACIONADOS E O CENTRO GIRANTE SEGUNDO UMA CIRCUNFERÊNCIA

```

function ellipse

n=8; %numero de pontos
v=1; % numero de voltas

for t=1:100:(100*n*v) % t = variavel de tempo
    w=2*pi/(100*n); %velocidade angular
                                raio=10;
    teta=w.*t;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% DESENHO DA ELIPSE

%coordenadas do centro da ellipse
xe=raio.*cos(teta);
ye=raio.*sin(teta);

                                % angulo de rotacao da ellipse
                                giro=-1.2.*teta;

%definicao dos semi-eixos
ex=2; %eixo x da ellipse
ey=1; %eixo y da ellipse

%desenho
x=(-ex):0.05:(ex);
ysup = ey.*sqrt( 1-((x)/ex).^2 );
yinf = -ey.*sqrt( 1-((x)/ex).^2 );

x1= xe+x.*cos(giro) + ysup.*sin(giro);
x2= xe+x.*cos(-giro) + ysup.*sin(-giro);
ysup1= ye-x.*sin(giro) + ysup.*cos(giro);
yinf1= ye-x.*sin(giro) - ysup.*cos(giro);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%ellipse rotacionada
%plot(xe,ye,'g*'); %plota o centro de cada ellipse
%hold on;
plot(x1,ysup1);
hold on;
plot(x2,yinf1,'r');

end

```

**f) ELIPSE COM OS EIXOS ROTACIONADOS E O CENTRO GIRANTE
SEGUNDO UMA CIRCUNFERÊNCIA (2 VOLTAS)**

function ellipse

n=8; %numero de pontos

v=2; % numero de voltas

for t=1:100:(100*n*v) % t = variavel de tempo

w=2*pi/(100*n); %velocidade angular

raio=10;

teta=w.*t;

%%
 %%%
 %%%

% DESENHO DA ELIPSE

%coordenadas do centro da elipse

xe=raio.*cos(teta);

ye=raio.*sin(teta);

% angulo de rotacao da elipse

giro=-1.2.*teta;

%definicao dos semi-eixos

ex=2; %eixo x da elipse

ey=1; %eixo y da elipse

%desenho

x=(-ex):0.05:(ex);

ysup = ey.*sqrt(1-((x)/ex).^2);

yinf = -ey.*sqrt(1-((x)/ex).^2);

x1= xe+x.*cos(giro) + ysup.*sin(giro);

x2= xe+x.*cos(-giro) + ysup.*sin(-giro);

ysup1= ye-x.*sin(giro) + ysup.*cos(giro);

yinf1= ye-x.*sin(giro) - ysup.*cos(giro);

%%
 %%%
 %%%

%elipse rotacionada

%plot(xe,ye,'g*'); %plota o centro de cada elipse

%hold on;

plot(x1,ysup1);

hold on;

plot(x2,yinf1,'r');

end

PROPAGAÇÃO NUMÉRICA E SEMI-ANALÍTICA DE UMA DISTRIBUIÇÃO DE DETRITOS ESPACIAIS

Sandro Felgueiras Castro¹ (ITA, Bolsista PIBIC/CNPq)

Anderson Patrick Alves Pereira² (ITA, Bolsista PIBIC/CNPq)

Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza³ (DAS/CEA/INPE)

RESUMO

Este trabalho, iniciado em agosto de 2002, tem como objetivo simular a geração e propagação de “Detritos Espaciais”, para fomentar o estudo posterior de suas propriedades básicas.

No período entre 1 de agosto de 2002 a 1 dezembro de 2002, João Paulo inicialmente desenvolveu um estudo de Mecânica Orbital, e iniciou a simulação de detritos espaciais com a utilização de um programa em linguagem C, para melhorar a interface de um programa em UNIX

Este trabalho, iniciado em agosto de 2003, tem como objetivo a continuidade ao projeto de Iniciação Científica em andamento desde 2002, para simular a geração e propagação de “Detritos Espaciais”, para fomentar o estudo posterior de suas propriedades básicas. No período entre 1 de agosto de 2003 e 1 dezembro de 2003, Sandro Felgueiras Castro desenvolveu um estudo analítico do problema de propagação de detritos espaciais.

A partir de dezembro de 2003, Anderson Patrick Alves Pereira iniciou a elaboração e o estudo de um modelo puramente matemático que representaria a propagação dos detritos espaciais. Esse modelo foi idealizado a partir das observações dos resultados do projeto de pesquisa precedente, no qual notou-se que a propagação dos detritos espaciais ocorria segundo a forma de uma elipse deformada (“bananóide”). Esse modelo foi sendo simulado em ambiente MATLAB durante a sua construção e, até o presente momento, é uma elipse cujos eixos são rotacionados enquanto o seu centro gira, segundo uma circunferência, em torno de um ponto (centro de massa).

Dando continuidade ao projeto, será realizada uma curvatura dos eixos da elipse para que esta se aproxime da forma de um “bananóide”. Por fim, os parâmetros do modelo serão ajustados para que este simule da melhor forma possível a propagação de detritos espaciais. E o resultado final será publicado em um artigo no Seminário de Iniciação Científica do INPE.

1 Aluno do Curso de Engenharia Mecânica-Aeronáutica, ITA. E-mail: sandro-ita05@bol.com.br

2 Aluno do Curso de Engenharia Eletrônica, ITA. E-mail: patrick@h8.ita.br

3 Pesquisador da Divisão de Engenharia Mecânica. E-mail: marcelo@dem.inpe.br