

# **ESTUDO DE MANOBRAS CLÁSSICAS E RENDEZVOUS**

Lucas Sales Policarpo

INPE  
São José dos Campos  
2013

## **ESTUDO DE MANOBRAS CLÁSSICAS E RENDEZVOUS**

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

Lucas Sales Policarpo (ETEP Faculdades, Bolsista PIBIC/CNPq)  
lsalespolicarpo@gmail.com

Denilson Paulo Souza dos Santos (DMC/INPE, Orientador)  
E-mail: denilson@dem.inpe.br

INPE  
São José dos Campos  
2013

Se um homem não descobriu nada pelo qual morreria, não está pronto para viver.

*Martin Luther King Jr.*

Mesmo as noites totalmente sem estrelas podem anunciar a aurora de uma grande realização.

*Martin Luther King Jr.*

Só existem dois dias no ano que nada pode ser feito. Um se chama ontem e o outro se chama amanhã, portanto hoje é o dia certo para amar, acreditar, fazer e principalmente viver.

*Dalai Lama*

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus por todas as oportunidades e realizações em minha vida.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais por me proporcionar a oportunidade de realizar estudos.

O Doutor Denilson Paulo Souza dos Santos, meu orientador, por todos os conhecimentos, ensinamentos e orientação em assuntos acadêmicos durante vários meses.

Por fim, agradeço toda a minha família, principalmente aos meus pais por todo o suporte familiar e incentivo para realizar cada etapa.

## **Resumo**

No meio espacial não há abundância de combustíveis, portanto estamos sempre buscando encontrar um processo ótimo e nos aproximarmos ao máximo do mesmo, não se difere tratando de manobras espaciais, com isso o presente estudo busca a otimização da manobra de transferência de orbitas, por meio da transferência de Homann e da transferência Bi-elíptica Tri-impulsiva, sendo estas aplicadas em casa diferentes em função da razão do raio inicial e do raio final da orbita.

Após obtidas as equações de cada transferência aplicamos o método de otimização, Algoritmo Genético, onde tendemos ao mínimo os gastos de combustíveis e as variações de velocidade. Encontrando assim soluções ótimas para as transferências, sendo usadas orbitas terrestres baixas como orbitas iniciais.

# **STUDY OF CLASSICAL MANEUVERS AND RENDEZVOUS**

## **Abstract**

In the middle there plenty of space, so we are always trying to find a great approach and processes as much as possible, not as far as space manoeuvres, differs from the present study seeks to maneuver optimization of transfer of orbiters, through the transfer of Homann and Bi-elliptical transfer Tri-impulsive, these being applied in different House depending on the initial radius ration and final orbit radius.

After obtained the equations of each transfer apply the method of optimization, genetic algorithm, where we tend to fuel spending and speed variations. Finding optimal solutions to the transfer as well, being used as low Earth orbiters orbiters.

## Sumario

Introdução	8
Objetivo	9
Revisão Teórica	9
Introdução	9
Mecânica Celeste	10
Lei da Gravitação Universal	10
Leis de Kepler e Elementos Keplerianos	10
Problemas de dois Corpos	12
Transferência de Hohmann	13
Transferência Bi elítica Tri-impulsiva	15
Algoritmo Genético	16
Funcionamento	17
Teste de Funcionalidade do Algoritmo	18
MATLAB	19
Metodologia	20
Transferência de Hohmann	20
Transferência Bi elítica Tri-impulsiva	23
Conclusão	

## 1 Introdução

Este relatório tem como objetivo descrever os processos realizados durante o período de pesquisa e estudos, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e pelo CNPq na categoria de Iniciação Científica, no período de outubro de 2012 à julho de 2013. Todos os trabalhos foram realizados sob a orientação do Doutor Denilson Paulo Souza dos Santos.

Tendo em vista que pessoas, países e empresas estão interessados em dados providos de satélites que fornecem a previsão do tempo, sinal de telefonia móvel e muitos outros, porem controlar a posição onde cada satélite deve estar, a velocidade ideal e corrigir o posição por estarem expostos à forças de atração planetárias, para que os dados possam ser enviados à Terra com certa precisão e reduzindo ao mínimo o número de falhas, é função de estudo e aplicações das leis da mecânica orbital, ou mecânica celeste.

As leis que regem a mecânica celeste formuladas desde Isaac Newton, Kepler e muitos outros astrônomos e matemáticos são as utilizadas para a resolução de problemas como a determinação de posições, trajetórias e orbitas de satélites e ônibus espaciais para missões.

Sendo assim depois de revisar as leis e equacionamentos da mecânica celeste, passamos a estudo de manobras clássicas realizadas com satélite, tendo em consideração buscar pelo menor gasto de combustíveis para a realização de tais manobras, o trabalho ira abordar:

- A manobra de Hohmann, onde se transfere de uma orbita inicial circular para uma orbita final também circular, por meio de uma trajetória semi-elíptica, contudo nesse tipo de manobra o tempo é livre, e para que seja a mais viável a razão entre orbita final e inicial deve ser menor que 11,93876, caso não é mais viável procurar um outra manobra a se aplicar.
- A manobra de transferência de orbita Bi-elíptica Tri-impulsiva, é uma solução quando a razão entre o raio da orbita final pelo raio da orbita inicial é maior que 11,93876. Esta tem uma orbita com raio inicial e deseja-se atingir uma orbita com raio final, para esta transferência usa-se duas orbitas de transferência semi-elípticas.

Após o estudo dessas manobras, a aplicação do método de otimização algoritmo genético as equações de tais poderá gerar resultados da manobra ótima sendo estas usadas como referência para aproximações de aplicações possivelmente reais ou apenas simulações utilizando softwares como o Orbit.

O Algoritmo Genético nada mais é que uma sequência de procedimentos com manipulação de números pré-programada pelo desenvolvedor, essa sequência de processos tem como base a Teoria Evolucionista de Charles Darwin, onde os indivíduos evoluem e se cruzam a cada geração. Para o algoritmo cada indivíduo é uma possível solução numérica para a equação proposta, os indivíduos são criados de forma aleatória para que se varra todo o campo de soluções possível.

## **1.1 Objetivo**

O presente estudo tem como proposta final encontrar parâmetros otimizados para manobras de transferência e ou correções de órbita realizadas pelos métodos de Hohmann e da transferência Bi elíptica Tri-impulsiva que são aplicadas a condições diferentes de Órbita inicial e órbita final.

## **2 Revisão Teórica**

### **2.1 Introdução**

Em outubro de 2012 o estudo teve início com a pesquisa e levantamento bibliográfico dos conceitos, métodos e leis da mecânica celeste, após foi necessário uma pesquisa com relação aos métodos de manobras espaciais, ou transferência orbitais, e as formas de se chegar às equações das mesmas.

Em paralelo a todos estes processos de conhecimento da mecânica celeste, foi estudado e desenvolvido o algoritmo genético que se trata de um método de otimização das possíveis soluções dos problemas propostos. Após decidiu-se a aplicação de um novo método, Range-Kutta de 4ª Ordem que foi aplicado no Algoritmo Genético.

## 2.2 Mecânica Celeste

“Conjunto de teorias que contém os resultados das leis de gravitação sobre o equilíbrio e o movimento dos corpos sólidos e fluidos que compõem o sistema solar e semelhantes distribuídos no universo”. Essa foi a definição de Laplace para a mecânica celeste, que na definição atual se alterou aos fenômenos universais mecânicos.

## 2.3 Lei da Gravitação Universal

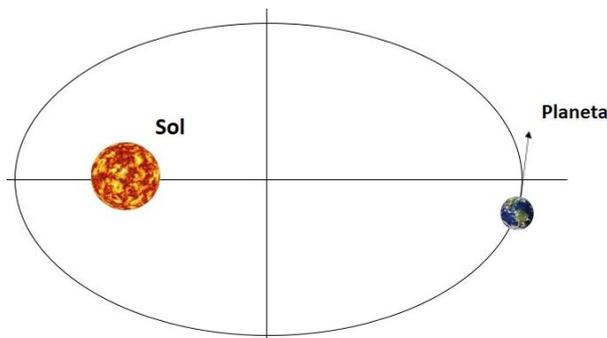
A Lei da Gravitação Universal explica que duas partículas se atraem com uma força diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas multiplicado pela constante de gravitação universal, com isso temos o seguinte equacionamento:

$$\vec{F} = -G \frac{m_a m_b}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

## 2.4 Leis de Kepler e elementos Keplerianos

Kepler foi um astrônomo, físico, matemático e astrólogo alemão, que lendo as anotações de Tycho Brahe pode formular as Leis de Kepler, por este feito é tão conhecido por sua grande contribuição nas áreas de astronomia e astrofísica.

**2.4.1 Primeira lei de Kepler:** “As orbitas dos planetas são elipses com o Sol como foco”.



**2.4.2 Segunda lei de Kepler:** “O raio vetor de cada planeta com relação ao Sol como origem, varre áreas iguais em tempos iguais”.

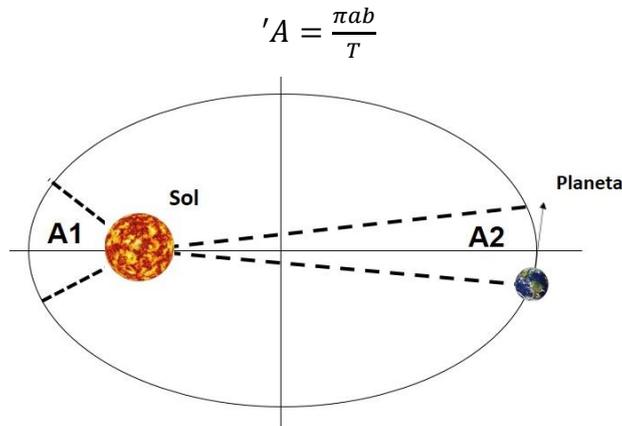


Figura 2.2 - Representação da Segunda lei de Kepler “Lei da áreas”

Esta relação nos prova que as áreas A1 e A2 são iguais, e o planeta se move com velocidade superior quando está mais perto do Sol, e com velocidade inferior quando está mais longe, tal fato deve-se a força de atração gravitacional do corpo de maior massa.

**2.4.3 Terceira lei de Kepler:** “A relação dos quadrados dos períodos entre 2 planetas é igual à relação do cubo do semieixo maior de suas órbitas”.

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3$$

Tendo que  $a$  é o semieixo maior e  $T$  o período, essa relação é sempre constante.

#### 2.4.4 Elementos Keplerianos

Os elementos Keplerianos ou clássicos são uma forma de se localizar o objeto estudado em sua órbita, os elementos são:

$a$  = semi-eixo maior

$e$  = excentricidade

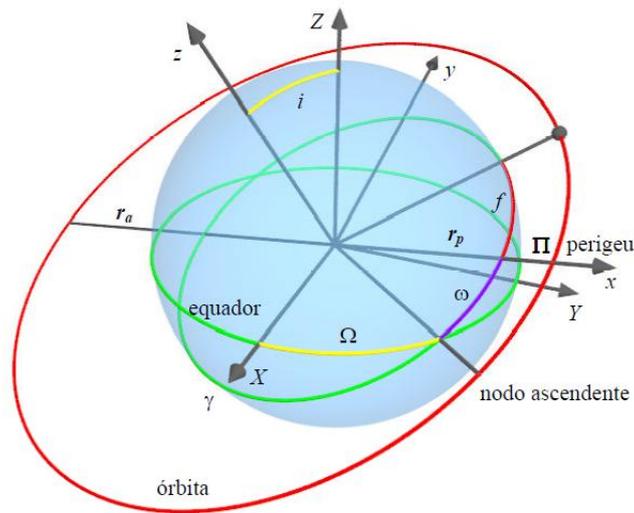
$i$  = inclinação da órbita

$M$  = anomalia média

$\Omega$  = nodo ascendente

$\Pi$  = perigeu

A figura abaixo mostra cada elemento em uma órbita real.



Figuro 2. 3 - Elementos Keplerianos representados em uma órbita

## 2.6 Problema de dois corpos

O problema de dois corpos que usa as definições das leis de Kepler, elementos keplerianos, lei da Gravitação Universal e leis de Newton, porem manipuladas algebricamente para descrever a trajetória da uma massa desprezível (ônibus espacial ou satélite) em relação à um corpo de massa finita (planeta, estrela ou lua), que estão sujeitos a ação de uma força central dirigida ao centro do corpo de maior massa.

Basicamente o problema dois corpos consiste em determinar a trajetória do movimento do corpo B (satélite) em relação ao corpo de maior massa, corpo A (planeta).

Assim temos que a força é dada por:

$$\vec{F} = -G \frac{m_a m_b}{r^2}$$

com essa relação e usando as definições da segunda Lei de Newton, temos:

Para o corpo A:

$$m_1 r''_a = -G \frac{m_a m_b}{r^2} \frac{r_a - r_b}{r}$$

E para o corpo B:

$$m_1 r''_b = -G \frac{m_a m_b}{r^2} \frac{r_b - r_a}{r}$$

Onde sabemos que  $m_a \gg \gg \gg m_b$ .

## 2.7 Transferências de Hohmann

A transferência de órbita de Hohmann é ótima bi-impulsiva entre duas órbitas circulares e coplanares com o tempo de transferência livre, com uma órbita intermediária de transferência elíptica. Esta transferência é a de menor consumo de combustível, ou seja, menor variação de velocidade, quando a razão entre o raio final e o raio inicial for menor que 11,93876. Para realizar esta manobra temos um impulso inicial quando o satélite entra em uma órbita elíptica até o raio final da órbita circular, quando é gerado um novo impulso para que o mesmo permaneça na órbita final.

Para o equacionamento, considere a equação de vis-via:

$$V^2 = \mu \left[ \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right]$$

Para o problema de uma transferência temos que

$$a = r_o \left( 1 + \frac{r_f}{r_o} \right)$$

Teremos:

$$V_o^2 = \frac{\mu}{r_o} \left[ \frac{2 \left( \frac{r_f}{r_o} \right)}{1 + \left( \frac{r_f}{r_o} \right)} \right]$$

Como,  $V_o^2 = \frac{\mu}{r_o}$ , a equação simplificada ficará:

$$\frac{V_o^2}{V_{co}^2} = \left( \frac{2 \left( \frac{r_f}{r_o} \right)}{1 + \left( \frac{r_f}{r_o} \right)} \right)$$

$$\frac{V_o}{V_{co}} = \sqrt{\frac{2 \left( \frac{r_f}{r_o} \right)}{1 + \left( \frac{r_f}{r_o} \right)}}$$

$$V_o = V_{co} \left| \sqrt{\frac{2 \left( \frac{r_f}{r_o} \right)}{1 + \left( \frac{r_f}{r_o} \right)}} \right|$$

$$\Delta V_o = V_{co} \left| \sqrt{\frac{2 \left( \frac{r_f}{r_o} \right)}{1 + \left( \frac{r_f}{r_o} \right)} - 1} \right|$$

$$\Delta V_o = V_o \left| \sqrt{\frac{2 \left( \frac{r_f}{r_o} \right)}{1 + \left( \frac{r_f}{r_o} \right)} - 1} \right|$$

O primeiro impulso,  $\Delta V_o$ , é dado no perigeu da orbita inicial, onde o corpo tem maior velocidade, sendo assim, necessário o gasto de combustível menor considerando que o corpo já desenvolve considerável velocidade e somando-se o impulso, teremos a velocidade de escape necessário para que siga uma orbita elíptica até a orbita final, antes do segunda impulso.

O impulso final ou  $\Delta V_f$  é dado por:

Seja  $r_o + r_f = r_f \left( 1 + \frac{1}{\left(\frac{r_f}{r_o}\right)} \right)$ , teremos:

$$\Delta V_f = V_o \left| 1 - \sqrt{\frac{2}{\frac{r_f}{r_i} + 1}} \right| \sqrt{\frac{r_o}{r_f}}$$

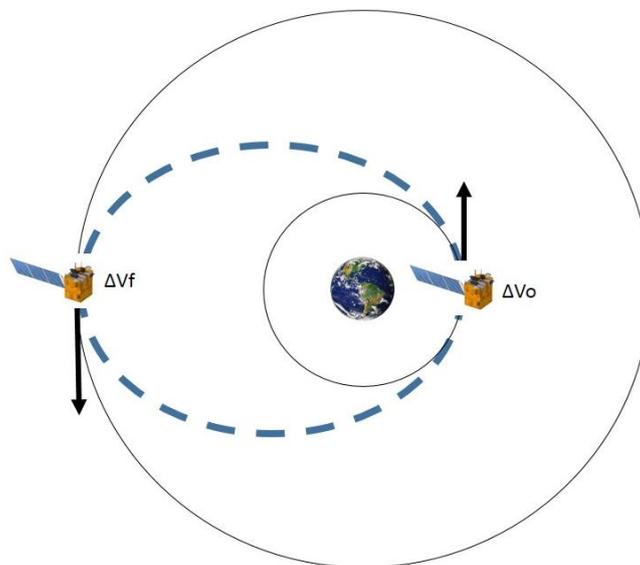


Figura 2.4 - Representação da transferência de Hohmann

## 2.9 Transferência Bi-elíptica e Tri-impulsiva

A transferência de Hohmann deixa de ter a menor variação de velocidade, gerando um menor consumo de combustível para transferência de orbitas, quando a razão do raio final pelo raio inicial passa a ser maior que 11,93876. Então Hoelker e Silber (1959) mostraram que a melhor solução será uma transferência com três impulsões usando duas orbitas intermediarias elípticas de transferência.

Inicialmente teremos o primeiro impulso ( $\Delta V_o$ ) para sair da orbita inicial e entra um uma elipse de até o ponto secundário. Logo quando o satélite chega ao ponto desejado é gerado segundo impulso  $\Delta V_1$ , então uma nova trajetória elíptica é gerada até a orbita final desejada, quando alcançada é gerado o impulso final para se estabilizar, e entra na trajetória correta da órbita final.

A equações para se determinar a amplitude dos impulsos foi dada por Rocco (1999), sendo estas:

$$\Delta V_0 = \varepsilon_0 \left( \sqrt{\frac{2r_i}{1+r_i}} - 1 \right)$$

$$\Delta V_1 = \left( \sqrt{\frac{2r_i}{r_1(r_f+r_1)}} - \sqrt{\frac{2}{r_1(1+r_i)}} \right)$$

$$\Delta V_f = \varepsilon_f \left( \sqrt{\frac{2r_i}{r_1(r_f+r_1)}} - r_f^{\frac{1}{2}} \right)$$

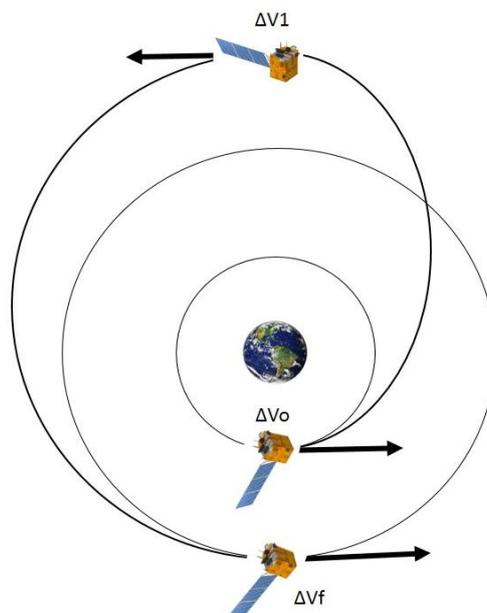


Figura 2.5 – Representação Transferência Orbital Bi elíptica Tri-impulsiva

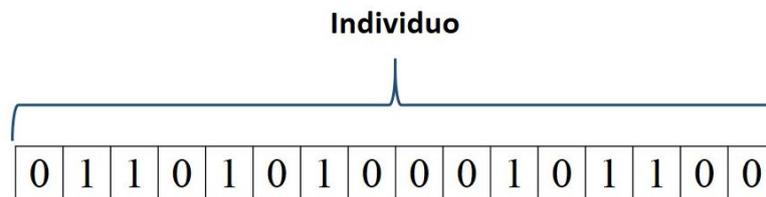
## 2.9 Algoritmo genético

O Algoritmo Genético é um ramo da inteligência artificial debatida sua funcionalidade por especialistas ano após ano, porém suas aplicações são múltiplas, e apenas tendem a crescer levando em consideração os resultados obtidos através deste método.

Esse algoritmo são para otimização, e estão baseados nos mecanismos de seleção natural e evolucionismo descritos por Charles Darwin, estes criam de forma aleatória possíveis soluções para o problema abordado por meio de estruturas de dados que semelham-se aos cromossomos, a estes são aplicados operadores que modificam a e recombina preservando soluções ótimas.

### 2.9.1 Funcionamento

O primeiro passo para o algoritmo é gerar uma população inicial de indivíduos na forma binária, afim fim se assemelhar-se a cromossomos, cujos cada indivíduo após transformando para forma decimal representa um possível solução para o problema explorado.



**Figura 2.6 - Representação de um cromossomo do algoritmo genético**

Após gerada uma população inicial, cada indivíduo passa pela função objetivo qual é a única ligação do problema real com o algoritmo genético, por meio dessa que declaramos os parâmetros do problema.

Depois de toda a população avaliada, aplica-se um operador genético, que irá selecionar possíveis pais e cruzar os indivíduos com suas melhores características passando aos resultados desse cruzamento, ou também chamando de filhos (nova população de indivíduos com características melhores). Dessa forma, este processo é realizado apenas gerando um ponto de corte aleatório em dois cromossomos e o recombinando suas características binárias, gerando assim um filho. Contudo esse processo de cruzamento não é realizado de forma livre, existe uma probabilidade de que aconteça, não somente este mais também o processo de mutação.

A mutação dos indivíduos é simplesmente a alteração de um dos bits do cromossomo, para haver a possibilidade que este tenda a se tornar melhor, porém pode haver a possibilidade de que o mesmo se torne um indivíduo com características não tão relevantes como as do anterior.

A repetição desse processos faz com que cada avaliação da função objetivo números mais específicos sejam gerados, e ao final um solução otimizada seja gerada.



Figura 2.7 – Esquema utilizado para gerar o algoritmo genético

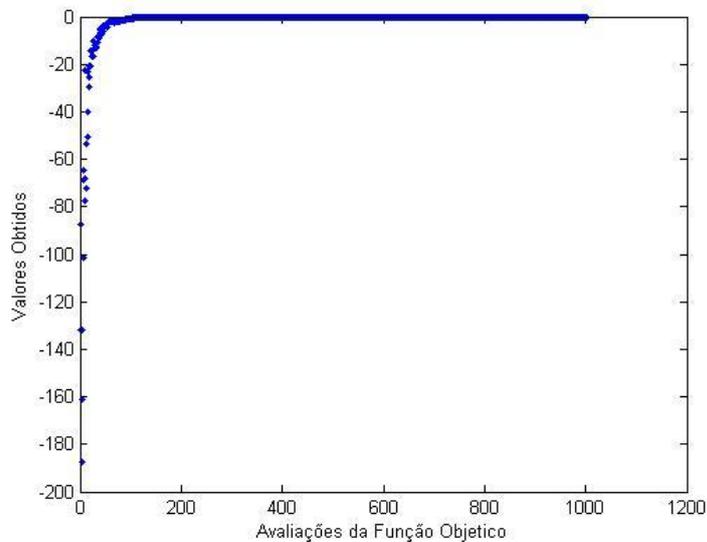
### 2.9.2 Teste de funcionalidade do algoritmo

Para comprovar a funcionalidade do algoritmo genético, usamos uma função objetivo onde já sabemos a resposta, e quanto mais próximo dessa resposta o algoritmo obtiver a resposta, mais robusto o mesmo está.

Para testar o algoritmo desenvolvido fui utilizada a função de Griewangk, uma função de diversos mínimos e máximos locais distribuídos uniformemente, a função é descrita por:

$$F(y) = \sum_{i=1}^n \frac{x^2}{40000} - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i+1}}\right)$$

Utilizamos o intervalo de -600 a 600, de forma a fazer com que houvesse vários mínimos e máximos locais e o algoritmo fosse eficiente o bastante à não estar preso a um desses mínimos e máximo, portanto quanto maior se aproxima-se de 0 melhor seria sua eficiência. Depois de 1000 avaliações da função objetivo obtivemos a seguinte resposta.



**Figura 2.8 – Resultado de 10000 avaliações da função objetivo para o teste do algoritmo com a função de Griewangk**

NO gráfico podemos observar que obtivemos uma resposta muito próxima de 0 após 200 avaliações da função objetivo, tendo assim o avaliação bem positiva do algoritmo.

## 2.10 Software MATLAB

Com uma interface rápida e pratica, MALAB apresenta-se como um ótimo manipulador matemático, atendendo todas a necessidades quando requerido; mesmo tendo uma forma de programação própria, suporta facilmente algoritmos escritos na linguagem C.

Antes de ser usando como a base de estudo para o desenvolvimento do algoritmo genético, foi testado criando uma algoritmo de transformação de base de posicionamento de um satélite descrito quando em um sistema cartesiano, e passando-o a termos dos elemento keplerianos. O mesmo apresentou ótimos resultados além da rapidez com que os dados foram processados.

Com base no primeiro teste e adicionando aos fatores que as ferramentas proporcionam um rápida programação e com rápidas conversões de binário para decimal, o que é muito útil quando se está trabalhando com Algoritmos Genéticos, foi escolhido esse





**Figura 3.1 – Representação das entradas e saídas na transferência de Hohmann**

Pelas equações já é conhecido que o ponto onde deve-se gerar o impulso é no ponto contrário à órbita final na órbita inicial, aproveitando a velocidade já desenvolvida pelo satélite para a realização da transferência.

Temos o seguinte script em linguagem MATLAB para transferência de Hohmann:

```
%Projeto final do Algoritmo Genético Aplicando a transferencia de
Hohmann
clear
clc
format long
ge=1;
geraf=2;
ngeracoes=geraf-ge;
tic
while ge<geraf;
    ge %mostra em qual geração o programa esta rodando
    %variáveis de entrada
    nbits=16;
    var=2;
    ind=100;
    limsup=600;
    liminf=-600;
    inter=limsup-liminf;
    popb=zeros(ind,var);
    deltav=zeros(1,ind);
    nfob=0;
    numfob=0;
    f=zeros(1,ind);
    fmax=2;
    fmin=0;
    probacruza=0.65;
    popselec=zeros(ind,nbits*var);
    probmuta=0.0015;
    vo=1;

    while numfob<=nfob
        if numfob==0
            pop=round(rand(ind,nbits*var));
            for n=1:ind
                for m=1:var
                    if m==1
                        biti=1;
                        bitf=nbits;
                    else
                        biti=bitf+1;
                        bitf=bitf+nbits;
                    end
                end
            end
        end
    end
end
```

```

        end
        popb(n,m)=binvec2dec(pop(n,biti:bitf));
    end

deltav=(vo*sqrt((2*(popb(n,1)/popb(n,2))/1+(popb(n,1)/popb(n,2))-
1))+vo*(1-
sqrt(2/(popb(n,1)/popb(n,2)+1))*(sqrt(popb(n,1)/popb(n,2))));
    f(n)=(ind-n)/(ind-1)*(fmax-fmin)+fmin;%escalonamento
[0,2]
    end
else
    for n=1:ind
        for m=1:var
            if m==1
                biti=1;
                bitf=nbits;
            else
                biti=bitf+1;
                bitf=bitf+nbits;
            end
        end

popb(n,m)=liminf+inter*binvec2dec(pop(n,biti:bitf))/(2^nbits-1);
        end

deltav=(vo*sqrt((2*(popb(n,1)/popb(n,2))/1+(popb(n,1)/popb(n,2))-
1))+vo*(1-
sqrt(2/(popb(n,1)/popb(n,2)+1))*(sqrt(popb(n,1)/popb(n,2))));
    f(n)=(ind-n)/(ind-1)*(fmax-fmin)+fmin;%escalonamento
[0,2]
    end
    end
gre=-deltav;%(-)minimiza, (+)maximiza
[fobj,idx]=sort(gre,'descend');%ascend, descend
apto=sum(f);%Aptidão total da população
apac=0;
for n=1:ind
    apac=apac+f(n);
    q(n)=apac;%aptidão acumulada [0,1]
end
for n=1:ind %roleta "ind"
    m=1;
    aux=0;
    r=rand*apto; %sorteio [0,F]
    while aux==0
        if r<=q(m)
            popselec(n,:)=pop(idx(m),:);
            aux=1;%seleciona 1 indivíduo por vez
        end
        m=m+1;%tenta o próximo
    end
    while n<ind
        r=rand;
        if r<probacruza;
            k=round(1+rand*(nbits*var-2)); %ponto de corte (+1
para na gerar o erro "0")
            aux=popselec(n,k:end);
            popselec(n,k:end)=popselec(n+1,k:end);
            popselec(n+1,k:end)=aux;
        end
        n=n+2;
    end
end

```

```

        popcruza=popselec;
    end
    for n=1:ind %inicia mutação para todos indivíduos
        for m=1:nbits*var%varre todos os bits numa 'string'
            rmuta=rand;
            if rmuta<=probmuta;
                if popcruza(n,m)==1
                    popcruza(n,m)=0;
                else
                    popcruza(n,m)=1;
                end
            end
        end
    end
    end
    pop=popcruza;%nova geração:pais = filhos
    if ge==1
        besty=max(deltav);
        indx=n;
    else
        if besty>max(deltav)
            besty=besty;
            indx=n;
        else
            besty=max(deltav);
            indx=n;
        end
    end
    end
    numfob=numfob+ind;
    res(numfob/ind)=besty;
    besty
    %if ge==1
    %    solbest=max(gre);%melhor valor na primeira geração
    %    indx=n;%
    %else %guarda melhor resposta após primeira geração
    %    if solbest>max(gre)
    %        solbest=solbest;
    %        indx=n;
    %    else
    %        solbest=max(gre);
    %        indx=n;
    %    end
    %end
    %ybest=solbest

    end %end numfob
    ge=ge+1;
end
tempo=toc/60

```

Estamos em fase de gerar os resultados possíveis, e compará-los com missões já realizadas, afim de validar os resultados obtidos.

### 3.2 Transferência Bi elíptica Tri-impulsiva

Não obtidos resultados, futuramente iremos corrigir os parâmetros do código e gerara resultados coerentes com as aplicações da mecânica celeste.

## **4.0 Conclusão**

A cada dia temos a necessidade de obter resultados mais coerente e ótimos a medida do possível, baseados nas aplicações possíveis. Com a evolução da computação podemos aplicar conceitos e técnicas desenvolvidas com o auxílio da mesma, no caso o algoritmo genético teve uma resposta muito boa quando utilizado.

Dessa forma, vamos procurar explorar mais seu conceitos, usando até mesmo outras linguagens de programação como JAVA ou C.

As transferências de Hohmann de a Transferência Bi elíptica Tri impulsiva são aplicadas a casos diferentes, assim podemos usar problemas diferentes para aplica-las, dessa forma resolvendo até mesmo dois problemas em um mesmo estudo desenvolvido.

## **5 Referências Bibliográficas**

D. P. S. do Santos, **Otimização de trajetórias espaciais com propulsão elétrica solar e manobras gravitacionalmente assistidas** / Denilson Paulo Souza dos Santos. São José dos Campos : INPE, 2009.

R. Linden, **“Algoritmos Genéticos - uma importante ferramenta da inteligência computacional”**, 2ª Edição. Brasport, Rio de Janeiro, 2008.

A. F. B. A. Prado, **"Trajetórias espaciais e manobras assistidas por gravidade"**, São José dos Campos, INPE, 2001.