

# Aplicativo RockSim 7.0 - Tutorial 3

## Objetivos:

- Aprender a usar o aplicativo RockSim 7.0 para cálculo de trajetória
- Calcular a trajetória do minifoguete Sondinha II com e sem pára-quedas
- Determinar a massa que permite atingir o apogeu máximo de um minifoguete
- Analisar o efeito de diversos parâmetros sobre a trajetória do minifoguete Sondinha II
- Determinar o coeficiente de arrasto efetivo de um minifoguete

## 1. Cálculo da trajetória do minifoguete Sondinha II sem pára-quedas

1) Inicializar o aplicativo RockSim 7.0.

2) Para abrir o arquivo do exemplo 1 do minifoguete Sondinha II, gerado com o tutorial 1 do RockSim 7.0, executar:

- (a) No menu principal: File, Open
- (b) Escolher o diretório onde está o arquivo
- (c) Em File name usar “Sondinha\_II\_exemplo\_1” com extensão “.rkt”
- (d) Clicar no botão Open
- (e) Conferir se os resultados mostrados na janela principal são os mesmos da Figura 1, abaixo

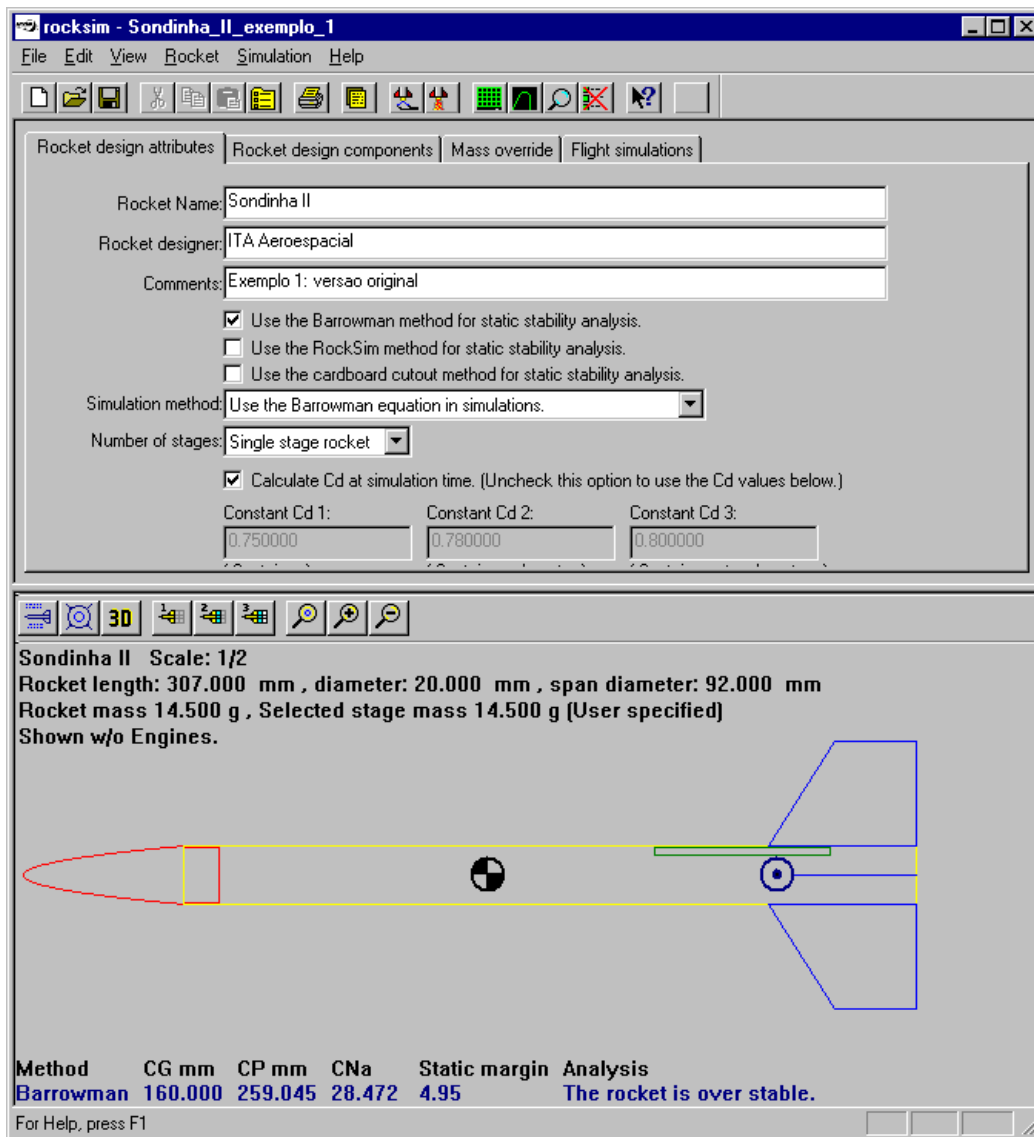


Figura 1. Resultados do arquivo "Sondinha\_II\_exemplo\_1.rkt".

3) Notar que o arquivo aberto não contém informações sobre o motor que foi selecionado no exemplo 1. Para incluir o motor APOGEE A2-0, refazer o item 15 do exemplo 1, do tutorial 1 - RockSim, para obter os resultados mostrados na Figura 2.

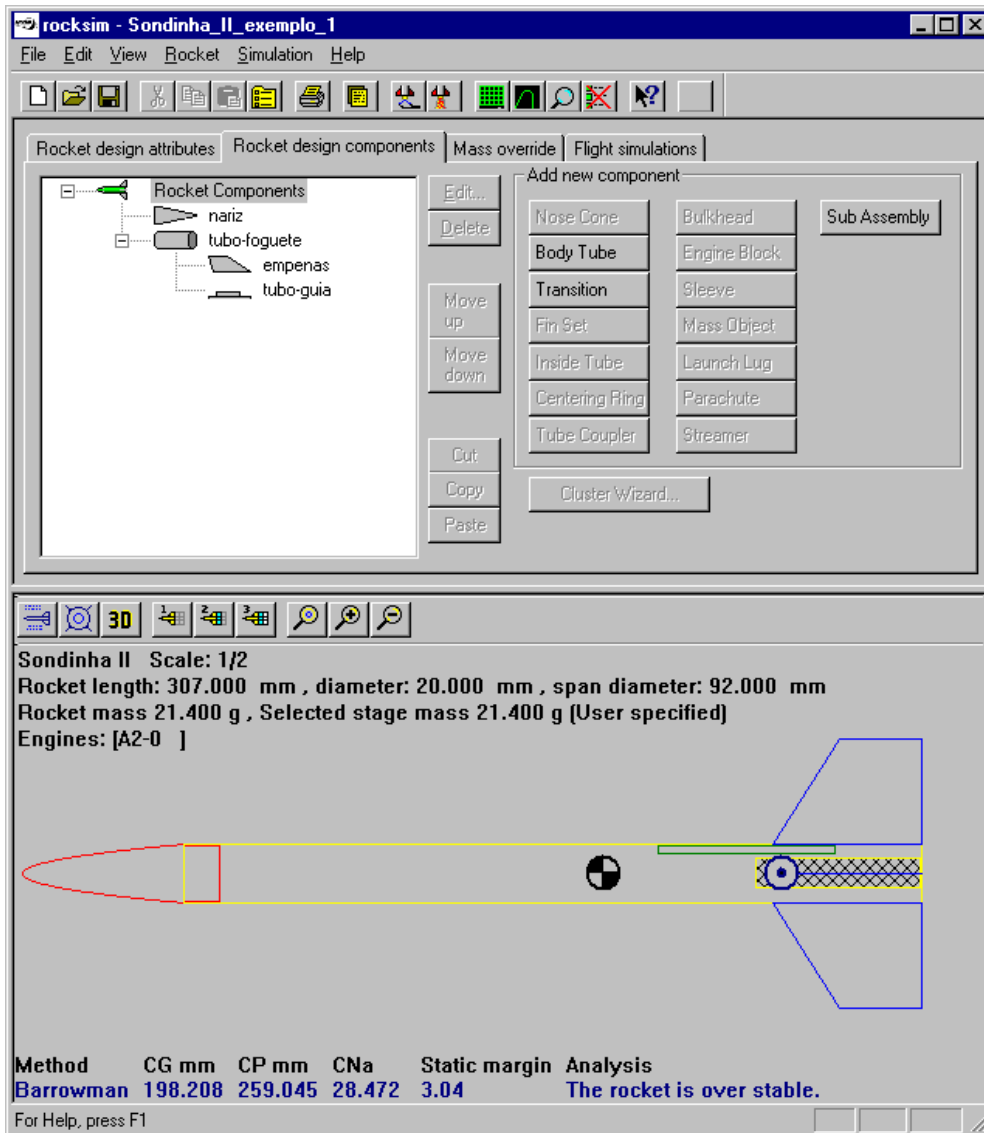


Figura 2. "Sondinha\_II\_exemplo\_1.rkt" com motor APOGEE A2-0.

4) Para definir as variáveis numéricas usadas na simulação da trajetória, executar:

- (a) Edit, Application settings...
- (b) Clicar no item “Simulation” do menu
- (c) Configurar o item “Simulation” do menu de acordo com a Figura 3
- (d) Clicar no botão “OK”

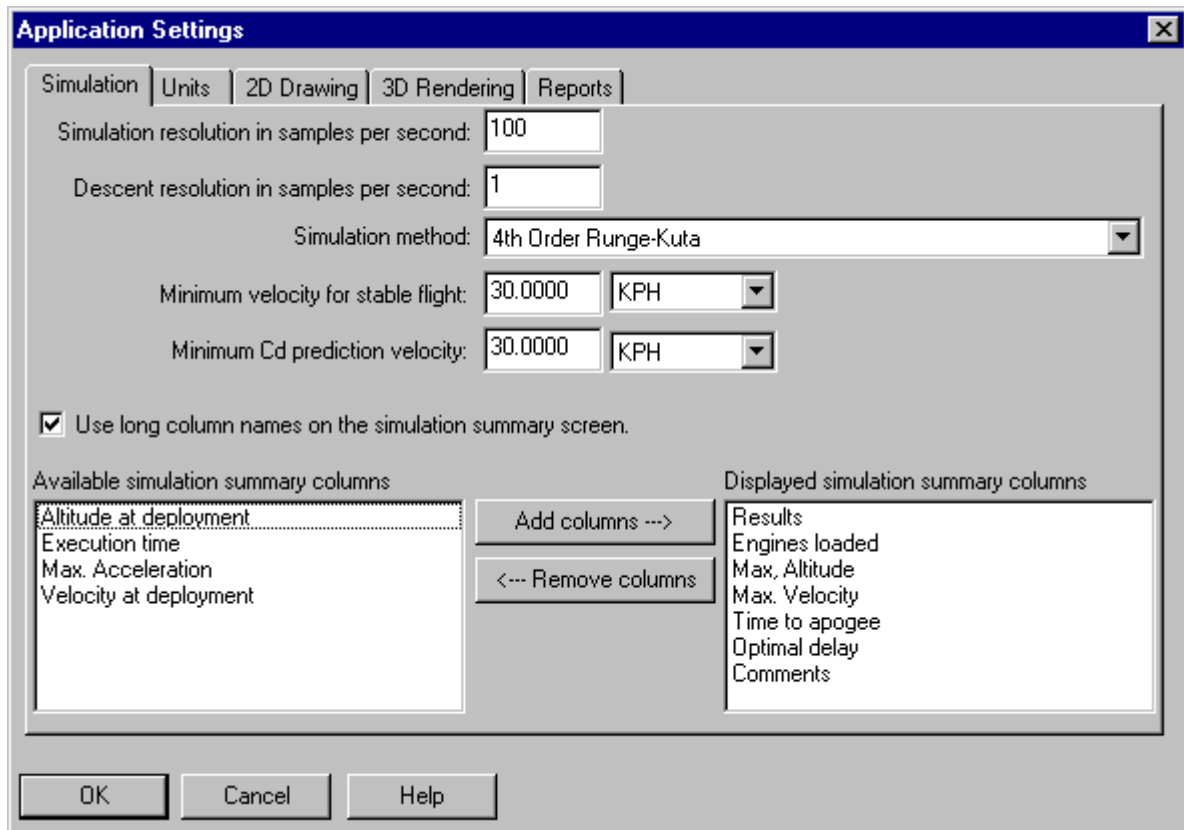


Figura 3. Configuração padrão do item “Simulation”.

5) Para definir as condições de lançamento da simulação da trajetória, executar:

- (a) Selecionar o item “Simulation” do menu principal do RockSim e, em seguida, o item “Prepare for launch...”
- (b) Na janela “Simulation preparation”, selecionar o item “Engine selection”
- (c) Na janela “Engine selection”, no item “Comments:”, incluir um comentário para distinguir esta simulação das próximas, por exemplo: “Sondinha II, ITA, APOGEE A2-0, E=3.04”
- (d) Na janela “Simulation preparation”, selecionar o item “Launch conditions”
- (e) Configurar os dados da janela “Launch conditions” de acordo com a Figura 4, e clicar no botão “Close”

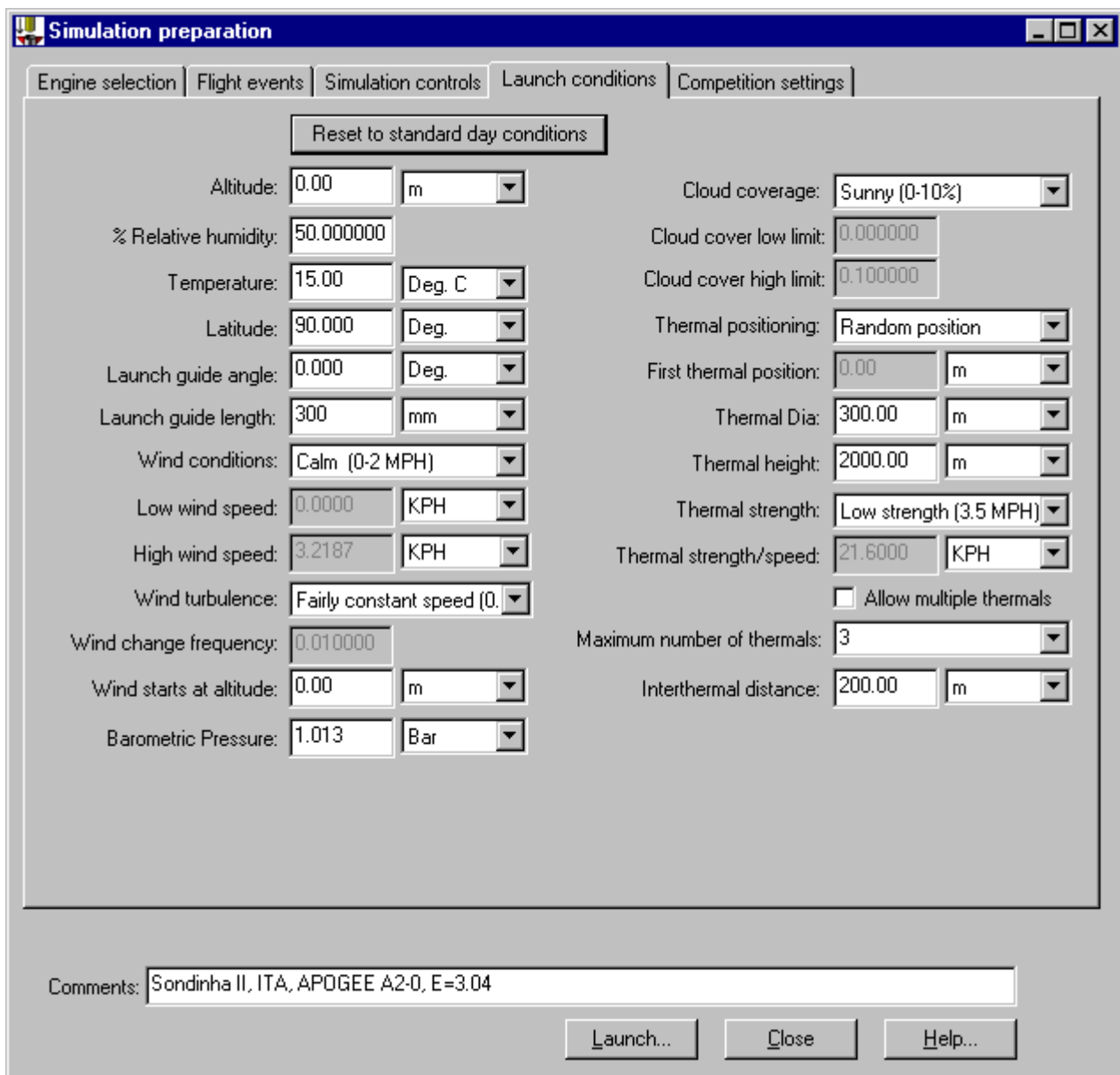


Figura 4. Configuração padrão do item “Launch conditions”.

6) Para efetuar a simulação da trajetória, executar:

- (a) Selecionar o item “Simulation” do menu principal do RockSim e, em seguida, o item “Launch”
- (b) Na janela principal do RockSim, abre-se a janela “Flight simulations”
- (c) Para cada simulação realizada, é apresentada uma linha com os principais resultados, como mostrado na Figura 5

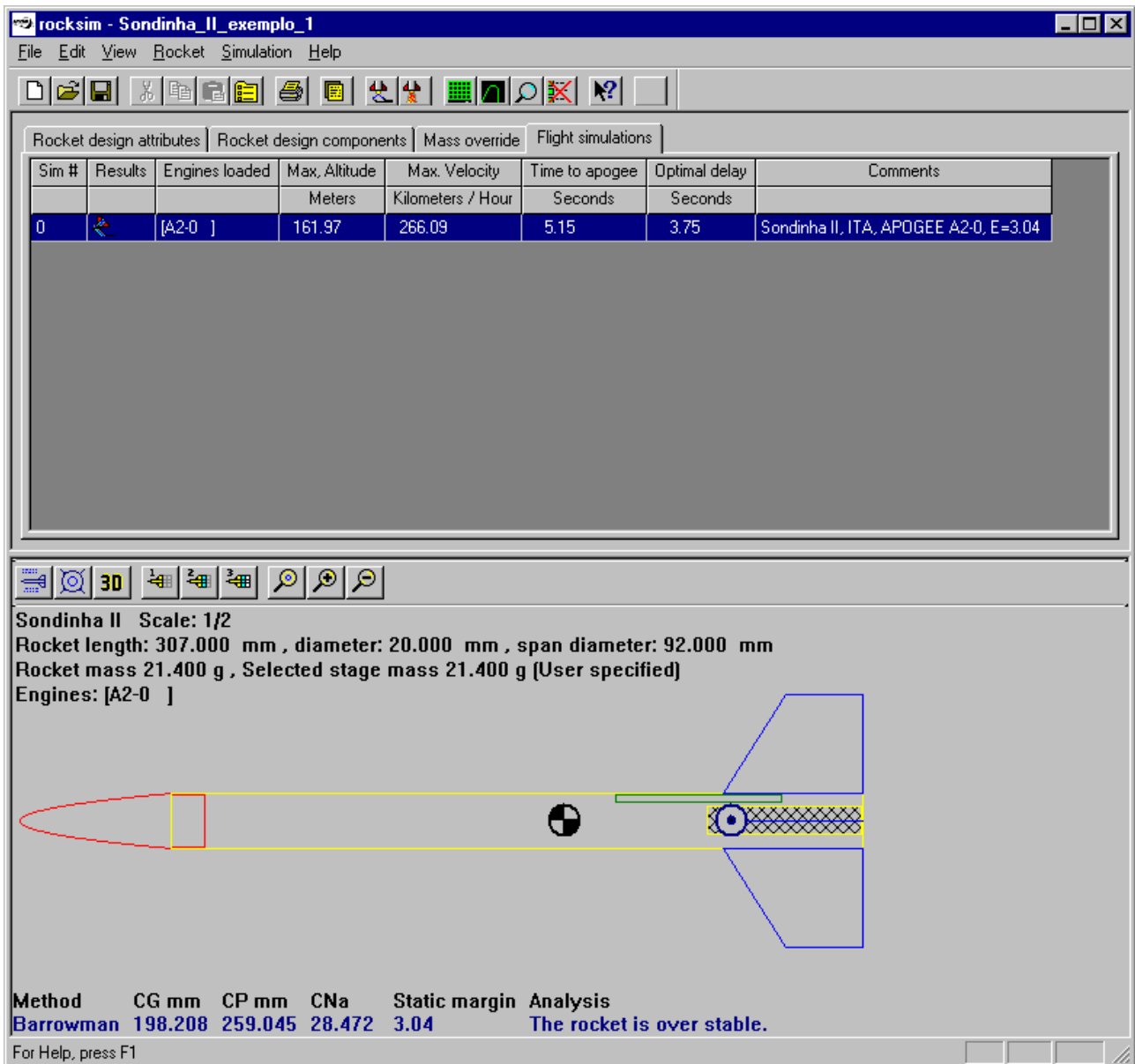


Figura 5. Principais resultados de uma simulação.

- 7) Os principais resultados da primeira simulação, mostrados na Figura 5, indicam:
- (a) Altitude máxima alcançada (apogeu) = 161.97 m
  - (b) Velocidade máxima = 266.09 km/h
  - (c) Tempo de voo entre a ignição e o apogeu = 5.15 s
  - (d) Tempo ideal entre o fim da queima do propelente e a ejeção do pára-quedas = 3.75 s
- 8) Para ver detalhes numéricos dos resultados de uma simulação, executar:
- (a) Na janela “Flight simulations”, selecionar a simulação desejada com um clique
  - (b) Selecionar o item “Simulation” do menu principal do RockSim e, em seguida, o item “Display details.....”
  - (c) Abre-se um arquivo (Figura 6) do tipo texto mostrando detalhes da simulação; por exemplo: tempo de voo desde a ignição até o impacto = 12.54 s; velocidade no impacto = – 110.5 km/h.

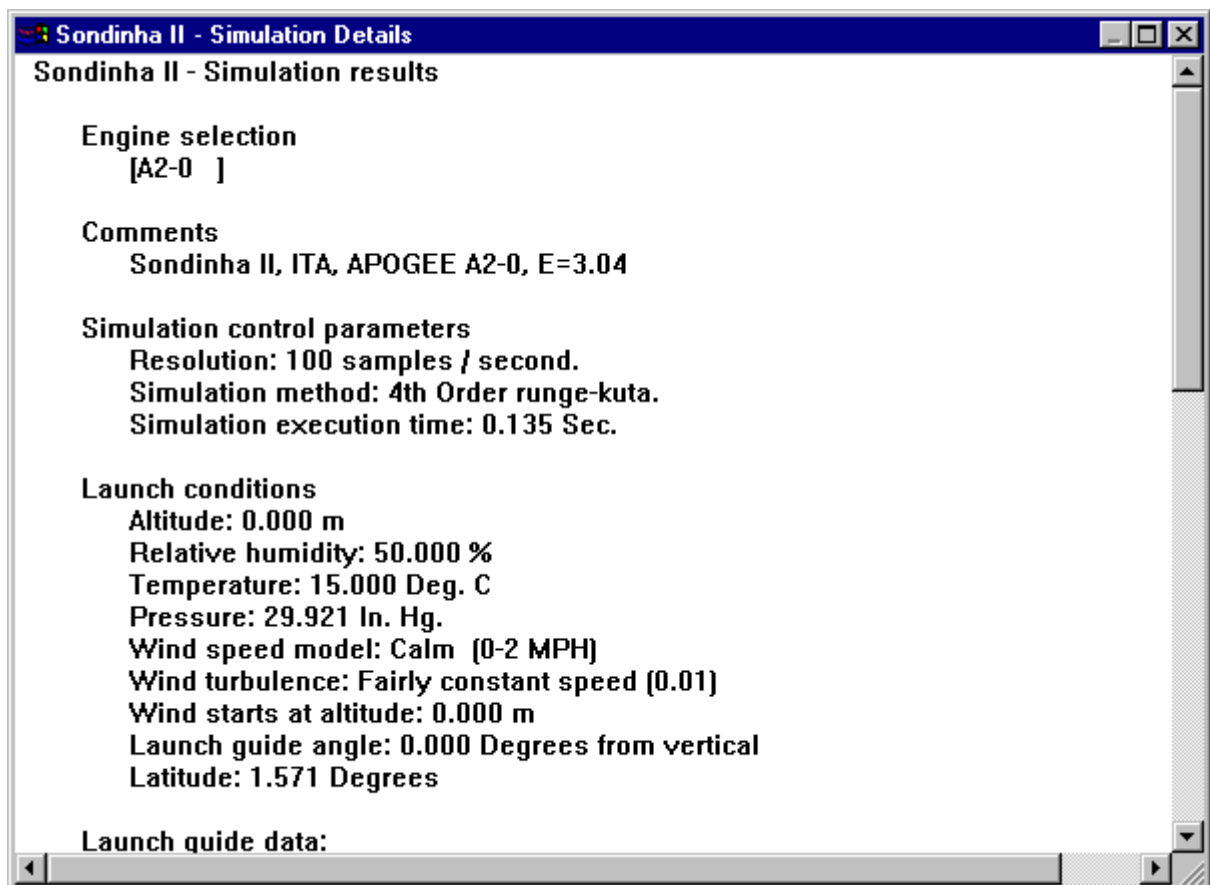


Figura 6. Detalhes numéricos dos resultados de uma simulação.

- 9) Para ver gráficos dos resultados de uma simulação, executar:
- (a) Na janela “Flight simulations”, selecionar a simulação desejada com um clique
  - (b) Selecionar o item “Simulation” do menu principal do RockSim e, em seguida, o item “Plot graph...”
  - (c) Abre-se uma janela chamada “Graph selection”. Esta janela deve ser usada para configurar cada tipo de gráfico desejado; um exemplo é mostrado na Figura 7. Existem dezenas de variáveis que podem ser plotadas. Para ver a lista completa deve-se clicar no triângulo invertido de cada eixo. Pode-se plotar até cinco curvas simultaneamente. A cor de cada curva pode ser selecionada pelo usuário.
  - (d) Clicar no botão “Plot graph” para mostrar o gráfico que foi configurado (Figura 8). A expressão “burnout” significa o instante de tempo em que ocorre o fim da queima do propelente.
  - (e) Outro exemplo de configuração de gráfico é mostrado na Figura 9 e seu gráfico correspondente, na Figura 10.

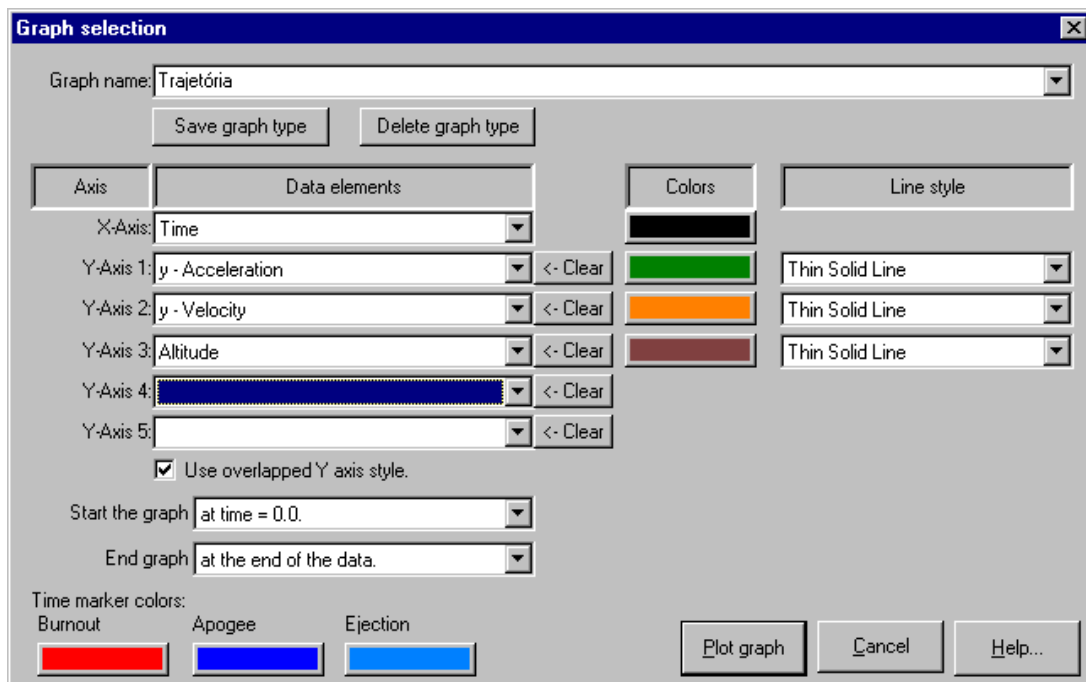


Figura 7. Configuração de um gráfico dos resultados de uma simulação.



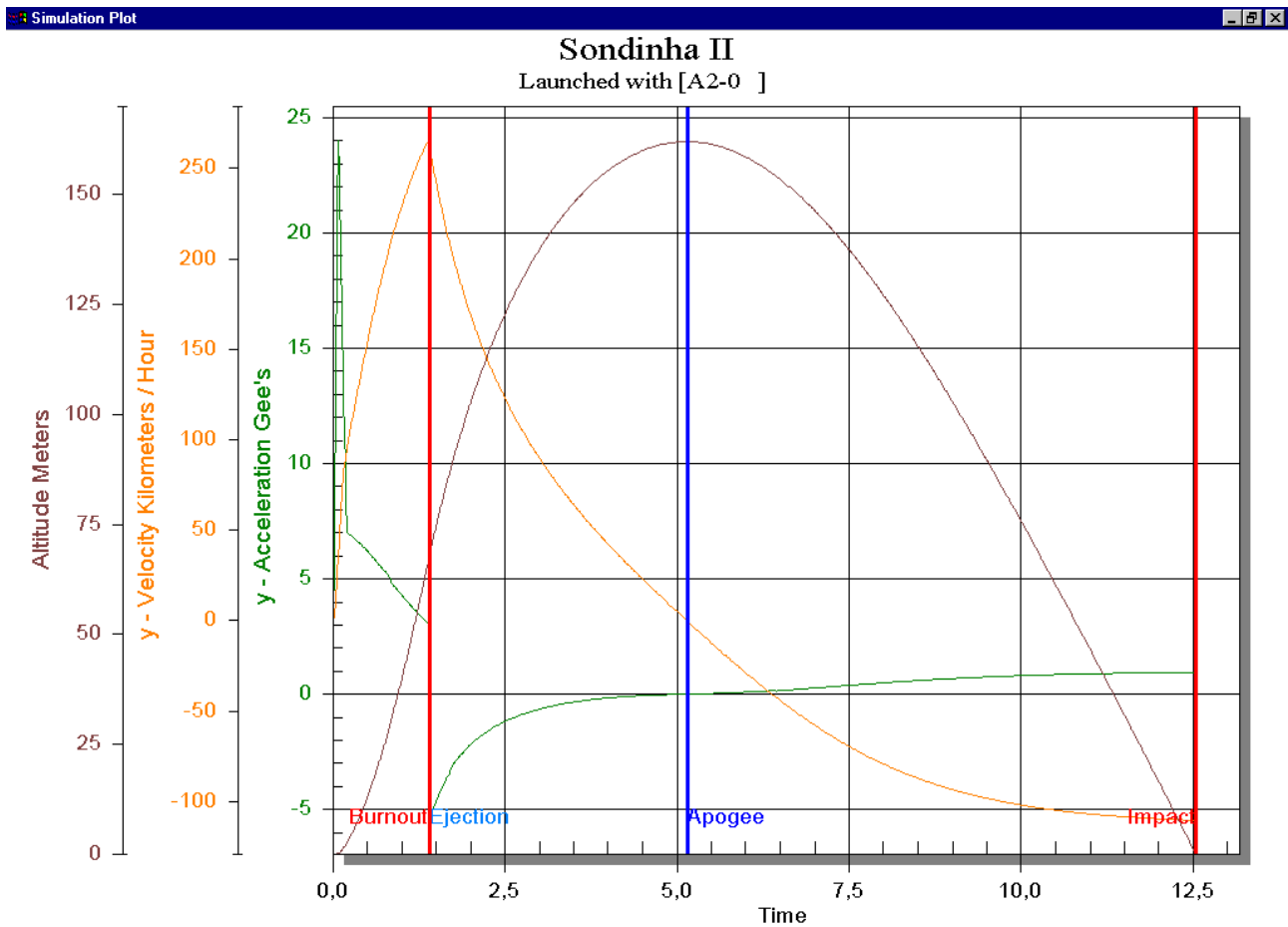


Figura 8. Gráfico resultante da configuração mostrada na Figura 7.

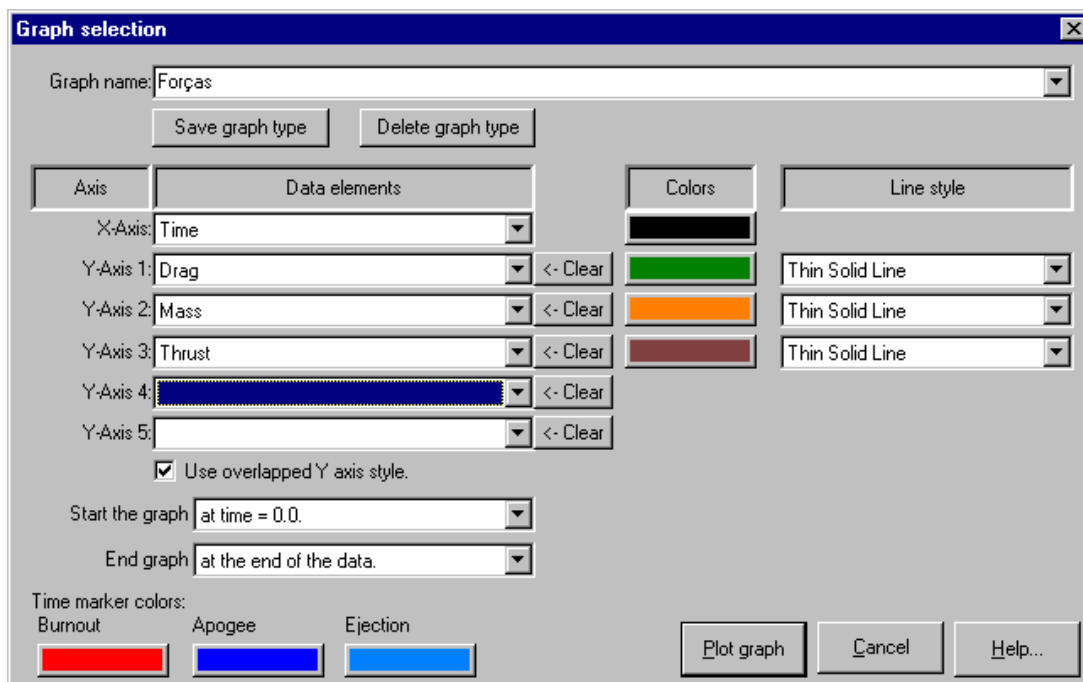


Figura 9. Configuração de gráfico de forças.

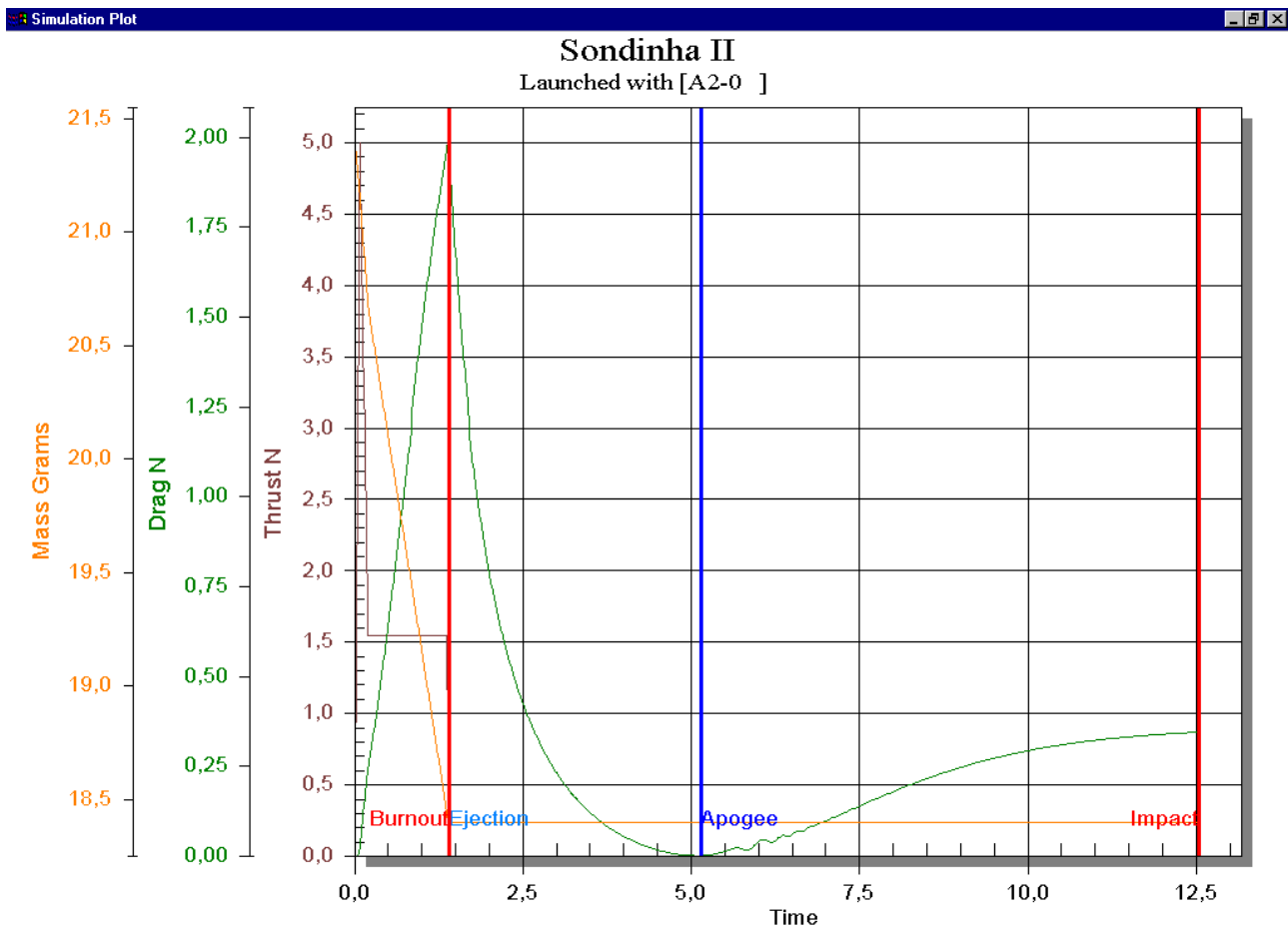


Figura 10. Gráfico resultante da configuração mostrada na Figura 9.

10) Para ver uma animação da trajetória do MF, executar:

- (a) Na janela "Flight simulations", selecionar a simulação desejada com um clique
- (b) Selecionar o item "Simulation" do menu principal do RockSim e, em seguida, o item "2D Flight profile..."
- (c) Abre-se uma janela chamada "Flight profile".
- (d) Clicando no botão "Auto run...", é mostrado continuamente a trajetória seguida pelo MF.
- (e) Arrastando-se o botão ao lado de "Details...", é mostrada a trajetória seguida pelo MF até o ponto em que o botão é parado.
- (f) Clicando no botão "Details...", é mostrado o valor de todas as variáveis calculadas na simulação da trajetória, num instante de tempo específico.

- 11) Para gravar arquivos numéricos das variáveis da trajetória do MF, executar:
- (a) Na janela “Flight simulations”, selecionar a simulação desejada com um clique
  - (b) No menu principal do RockSim, selecionar “File”, “Export”, “Simulation data...”
  - (c) Abre-se uma janela chamada “Simulation export”, mostrada na Figura 11.
  - (d) Clicar no botão “Export the data...”
  - (e) Indicar o diretório e o nome do arquivo a ser gravado. Este arquivo pode ser aberto com o aplicativo Excel.

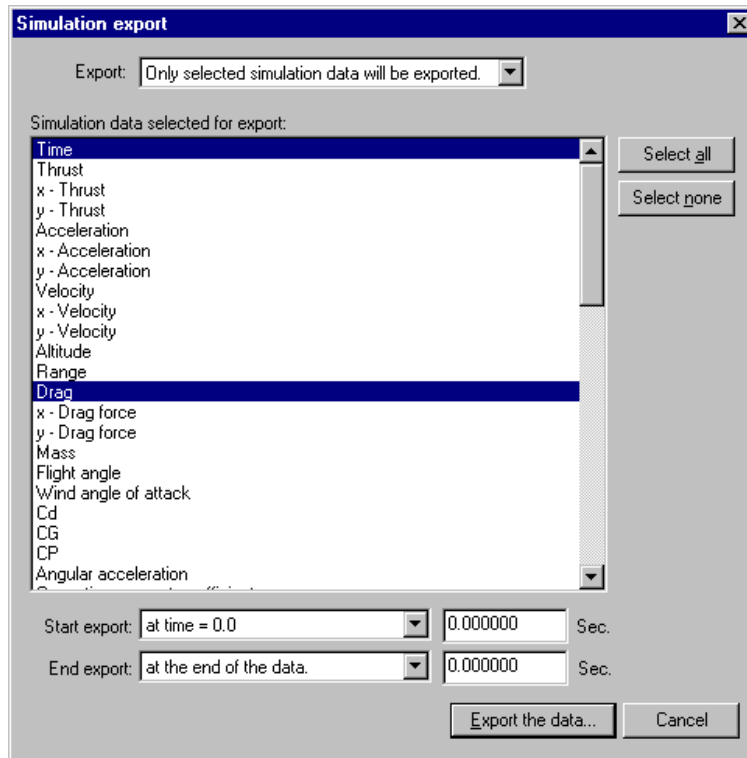


Figura 11. Configuração de resultados para gravação de arquivo.

12) Para determinar a massa estrutural ótima de um MF, isto é, a massa sem motor-foguete que permite atingir o apogeu máximo, executar:

- (a) Na janela “Flight simulations”, selecionar a simulação desejada com um clique
- (b) Selecionar o item “Simulation” do menu principal do RockSim e, em seguida, o item “Predict optimal mass...”
- (c) Abre-se uma janela chamada “Optimal mass prediction”, mostrada na Figura 12.
- (d) Clicar no botão “Start the simulation”
- (e) O resultado é mostrado na Figura 12. O valor da massa estrutural (tudo menos o motor-foguete) do MF é 14.50 g. O resultado do valor da massa estrutural ótima do MF é 8.27 g. Isso significa que se as 14.5 g do MF fossem reduzidas de alguma forma para 8.27 g, o apogeu que é de 161.97 m passaria para 167.84 m. Neste exemplo, o ganho de altura não é muito significativo, mas às vezes sim.

**Optimal mass prediction**

Calculation mode: **Automatic. Find optimal mass.**

Graph Generation Parameters

Initial sustainer mass:  g

Ending sustainer mass:  g

Mass increment:  g

Graph Colors

Altitude  Coast time  Current mass  Opt. Altitude mass  Optimal coast

Optimal mass prediction results

Current sustainer mass:  g

Peak altitude:  m

Optimal altitude mass:  g

Plot coast time curve.

Figura 12. Determinação da massa ótima do MF.

## 2. Cálculo da trajetória do minifoguete Sondinha II com pára-quedas

1) Para abrir o arquivo do exemplo 2 do minifoguete Sondinha II, gerado com o tutorial 1 do RockSim 7.0, executar:

- (a) No menu principal: File, Open
- (b) Escolher o diretório onde está o arquivo
- (c) Em File name usar “Sondinha\_II\_exemplo\_2” com extensão “.rkt”
- (d) Clicar no botão Open
- (e) Conferir se os resultados mostrados na janela principal são os mesmos da Figura 13, abaixo

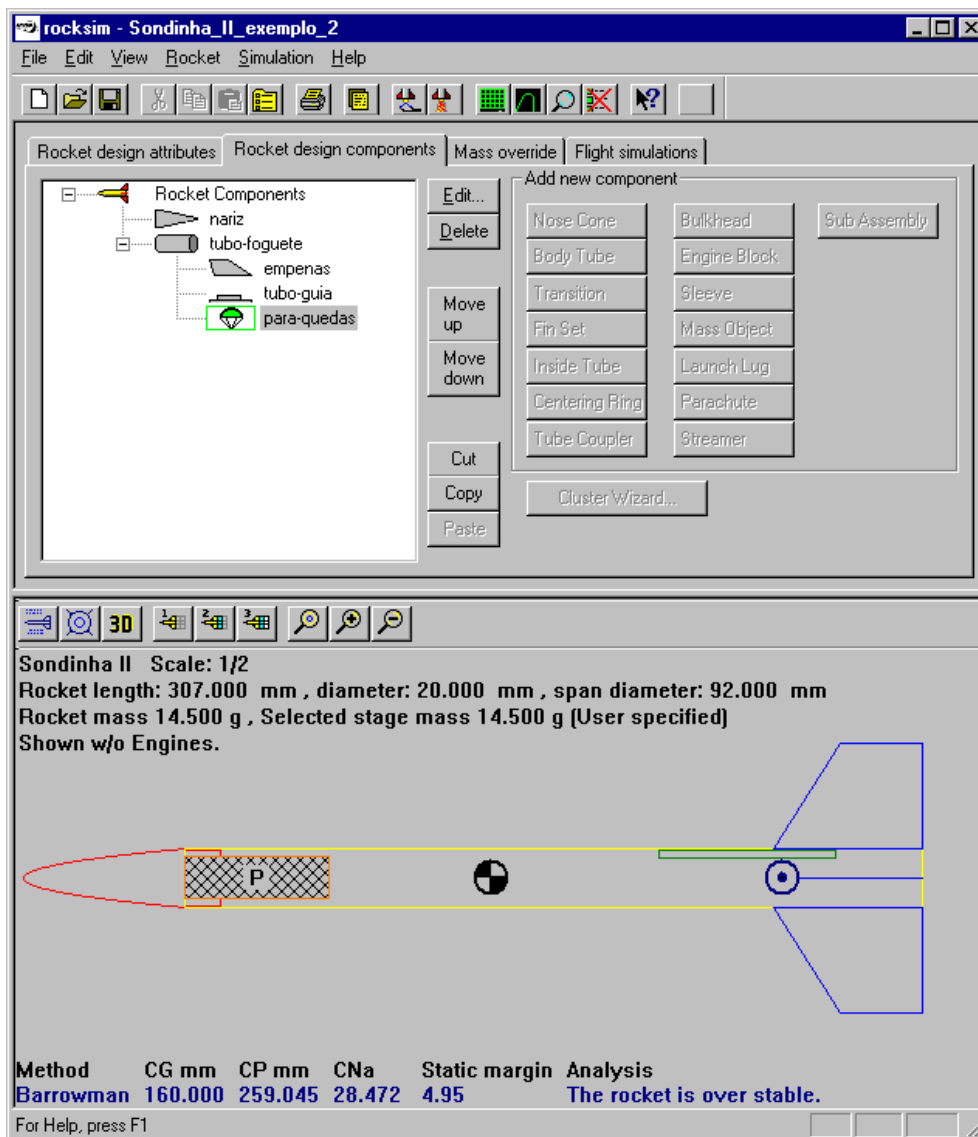


Figura 13. Resultados do arquivo “Sondinha\_II\_exemplo\_2.rkt”.

2) Notar que o arquivo aberto não contém informações sobre o motor que foi selecionado no exemplo 2. Portanto, deve-se incluir o motor APOGEE A2-5, conforme o item 15 do exemplo 1, do tutorial 1 –RockSim e com os dados mostrados na Figura 14. O número 5 após o A2 significa que o pára-quebras será ejetado 5 segundos após o fim da queima do propelente do motor. Após o carregamento do motor, o resultado deve ser o mostrado na Figura 15.

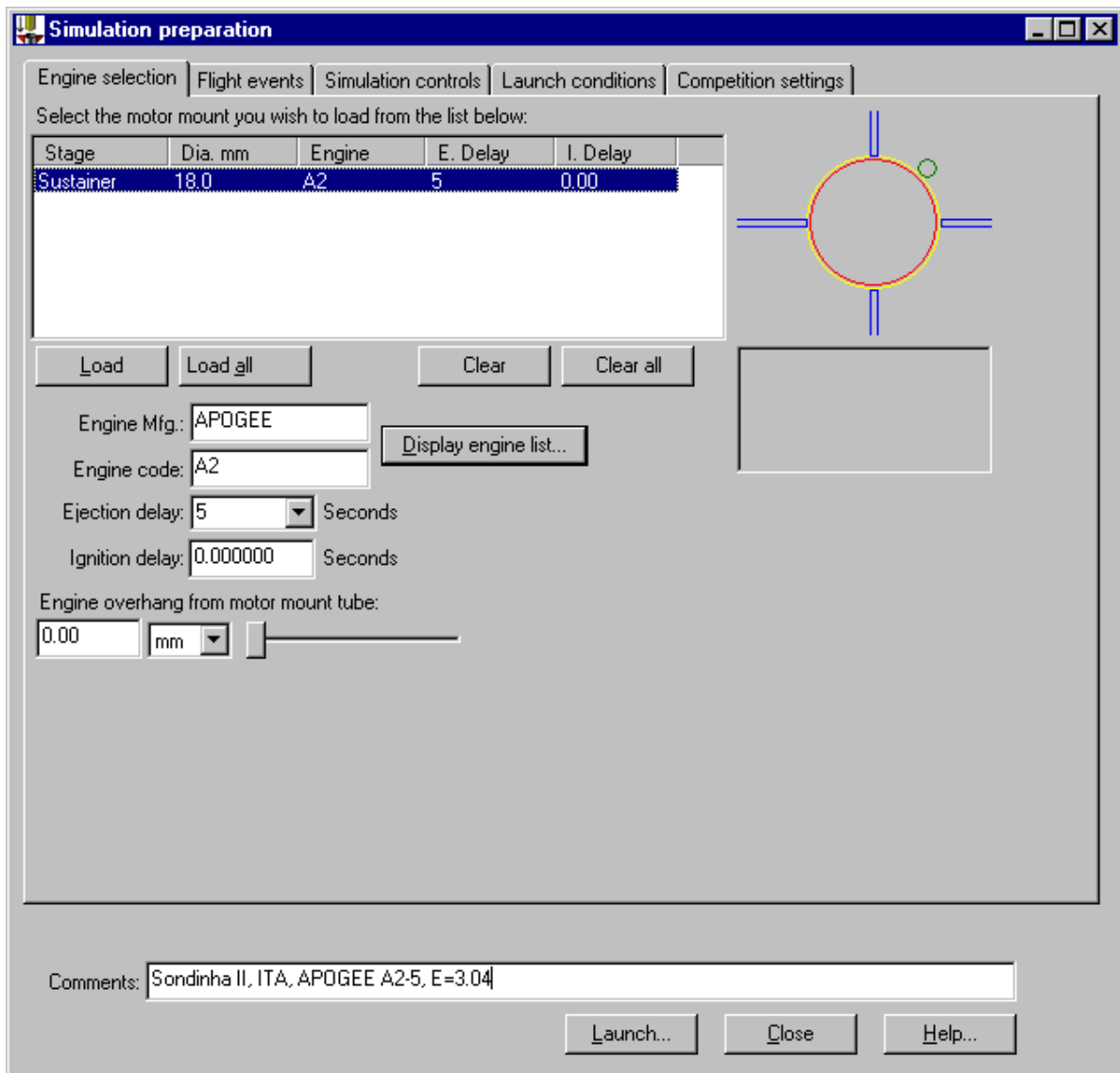


Figura 14. Escolha do motor-foguete APOGEE A2-5.

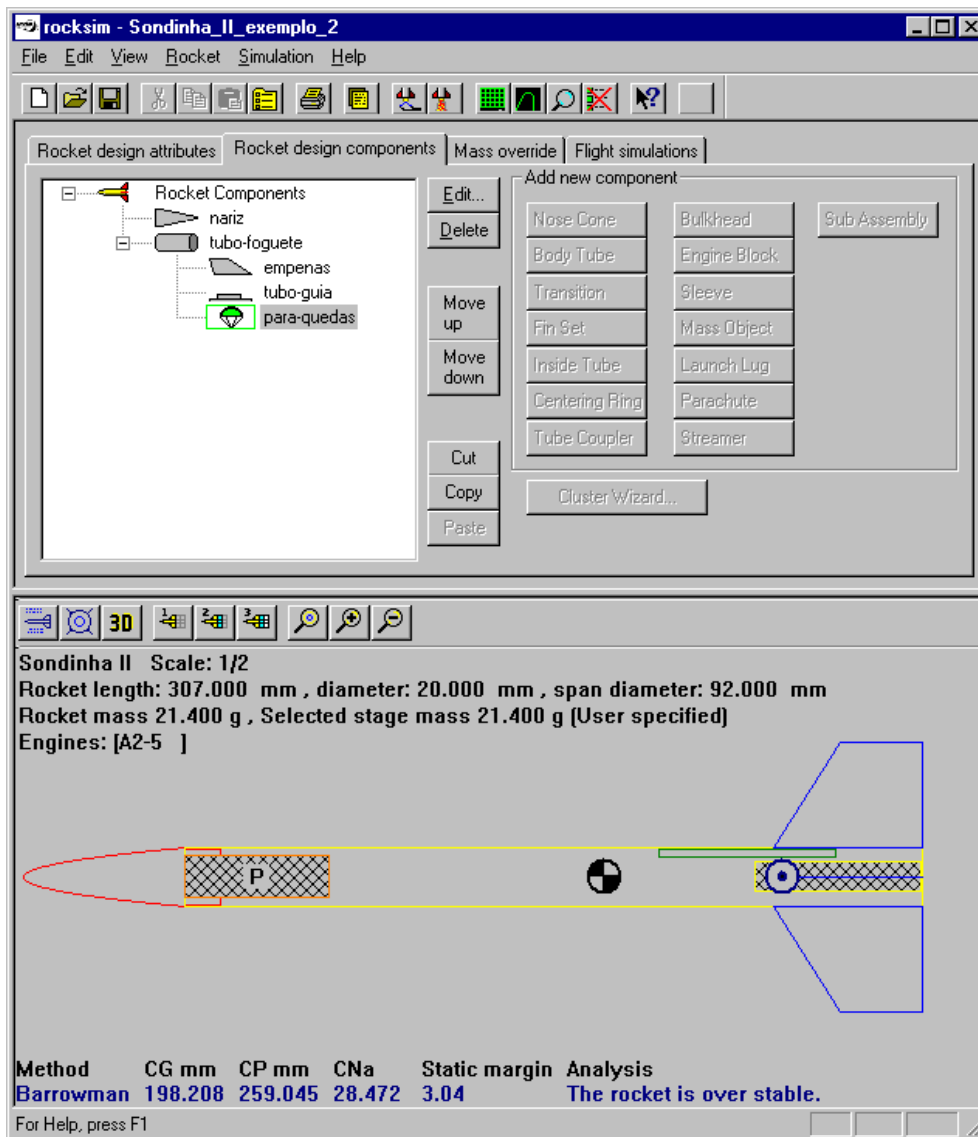


Figura 15. “Sondinha\_II\_exemplo\_2.rkt” com motor APOGEE A2-5.

3) Executar o item 6 do capítulo 1, isto é, efetuar a simulação da trajetória. Os principais resultados a obter devem ser:

- Altitude máxima alcançada (apogeu) = 161.93 m
- Velocidade máxima = 266.08 km/h
- Tempo de voo entre a ignição e o apogeu = 5.15 s
- Tempo ideal entre o fim da queima do propelente e a ejeção do pára-queadas = 3.75 s

4) Executar o item 8 do capítulo 1, isto é, ver detalhes numéricos dos resultados da simulação. Por exemplo: tempo de voo desde a ignição até o impacto = 95.38 s; velocidade no impacto = - 6.21 km/h.

5) Executar o item 9 do capítulo 1, isto é, ver os gráficos dos resultados conforme a configuração mostrada nas Figuras 7 e 9. Os resultados são mostrados nas Figuras 16 e 17.

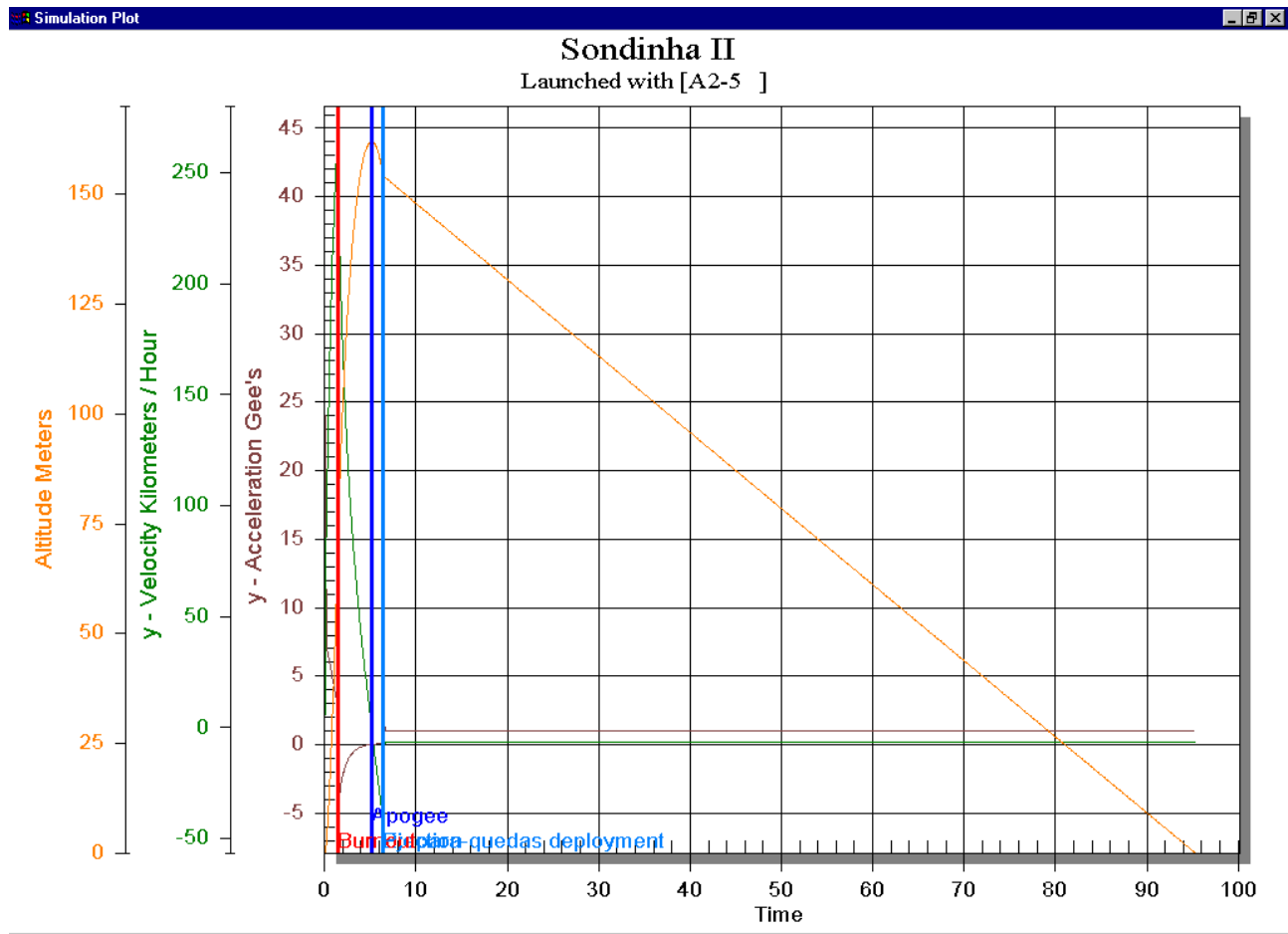


Figura 16. Gráfico resultante da configuração mostrada na Figura 7 para o exemplo 2.

6) Executar o item 10 do capítulo 1, isto é, ver a animação da trajetória do MF.

7) Executar o item 12 do capítulo 1, isto é, determinar a massa estrutural ótima do MF.



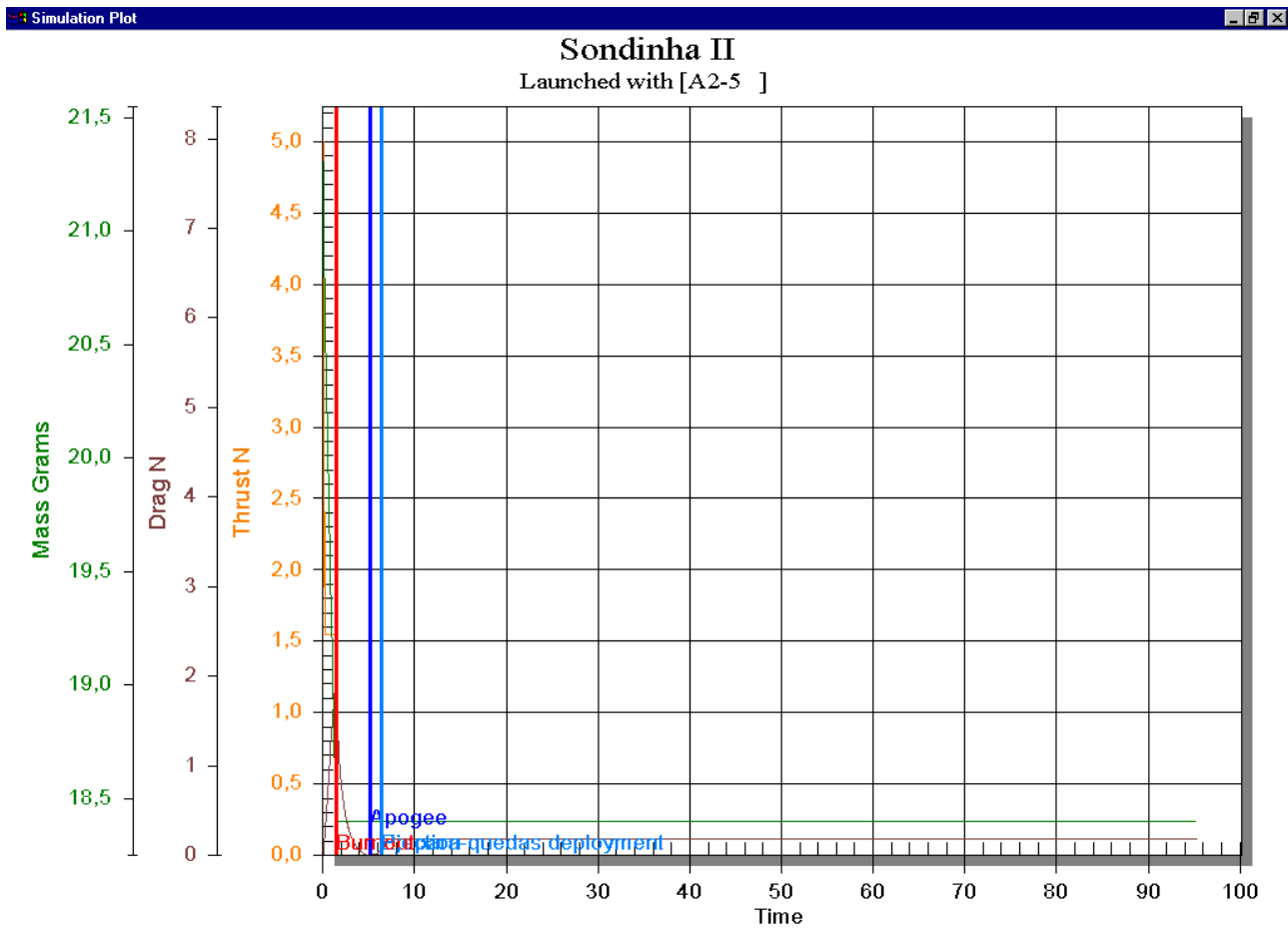


Figura 17. Gráfico resultante da configuração mostrada na Figura 9 para o exemplo 2.

### 3. Curva apogeu x massa

Geralmente, um aumento de massa do MF leva a um aumento de apogeu ou, então, uma redução de massa do MF leva a um aumento de apogeu. Durante a fase de projeto, isso pode ser verificado através da curva apogeu x massa do MF que está sendo projetado.

Partindo de uma simulação já realizada, de acordo com o que foi explicado nos dois capítulos anteriores, por exemplo, aquela mostrada na Figura 5, para determinar a curva apogeu x massa estrutural do MF, isto é, a massa total do MF sem motor-foguete, executar:

- Na janela "Flight simulations", selecionar a simulação desejada com um clique
- Selecionar o item "Simulation" do menu principal do RockSim e, em seguida, o item "Predict optimal mass..."
- Abre-se uma janela chamada "Optimal mass prediction"

- (d) No item “Calculation mode:”, da janela “Optimal mass prediction”, selecionar a opção “Manual. Plot graphs.”
- (e) No item “Initial sustainer mass:”, da janela “Optimal mass prediction”, entrar com 1 g
- (f) No item “Ending sustainer mass:”, da janela “Optimal mass prediction”, entrar com 50 g
- (g) No item “Mass increment:”, da janela “Optimal mass prediction”, entrar com 0.5 g
- (h) Clicar no botão “Start the simulation”
- (i) A situação da janela “Optimal mass prediction” é mostrada na Figura 18. O valor da massa estrutural (tudo menos o motor-foguete) do MF é 14.50 g. O resultado do valor da massa estrutural ótima do MF resultou em 8.5 g. Isso significa que se as 14.5 g do MF forem reduzidas de alguma forma para 8.5 g, o apogeu que é de 161.97 m passará para 167.84 m.
- (j) Para ver a curva apogeu x massa, clicar no botão “Display graph...”. O resultado é mostrado na Figura 19.

Figura 18. Determinação da curva massa x apogeu do MF.

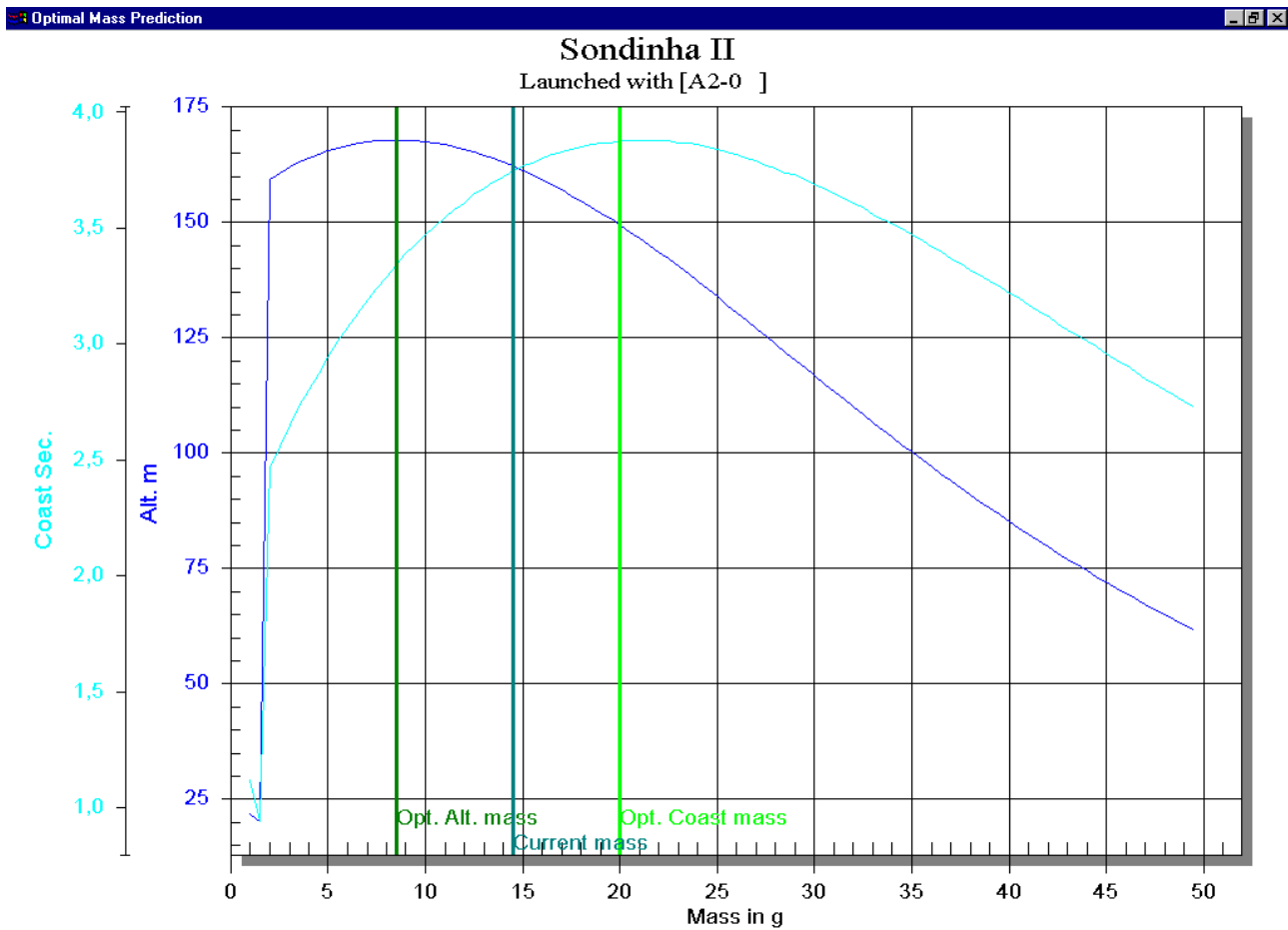


Figura 19. Curva massa x apogeu do MF Sondinha II para os dados do capítulo 1.

#### 4. $C_D$ efetivo e curva apogeu x $C_D$

Com base em resultados experimentais, obtidos durante o lançamento de um MF, junto com simulações de trajetória, é possível determinar o coeficiente de arrasto ( $C_D$ ) efetivo do MF.

Isso é realizado por tentativa e erro, alterando-se o  $C_D$  usado na simulação da trajetória até que os resultados da simulação fiquem tão próximos dos resultados experimentais quanto se queira.

Por exemplo, considerar que o tempo total de vôo do MF Sondinha II, para os dados do capítulo 1, com motor-foguete APOGEE A2-0, medido durante o seu lançamento real foi de 10 s, em vez dos 12.54 s da simulação realizada no capítulo 1, na qual o  $C_D$  tem um valor médio em torno de 0.95.

Partindo dos dados do capítulo 1, ou seja, aqueles mostrados nas Figuras 2, 3 e 4, para determinar o coeficiente de arrasto ( $C_D$ ) efetivo do MF, executar:

- Definir os dados do item “Rocket design attributes”, do menu principal, de acordo com os aqueles mostrados na Figura 20. Deve-se notar que agora o valor do  $C_D$  é prescrito em 1.2.
- Efetuar a simulação. O tempo total de vôo ( $t_f$ ) do MF resulta em 11.86 s.
- Efetuar nova simulação usando  $C_D$  prescrito em 1.5. O  $t_f$  resulta em 11.24 s.
- Efetuar nova simulação usando  $C_D$  prescrito em 2.0. O  $t_f$  resulta em 10.57 s.
- Efetuar nova simulação usando  $C_D$  prescrito em 3.0. O  $t_f$  resulta em 9.69 s.
- Efetuar nova simulação usando  $C_D$  prescrito em 2.7. O  $t_f$  resulta em 9.90 s.
- Efetuar nova simulação usando  $C_D$  prescrito em 2.6. O  $t_f$  resulta em 9.95 s.

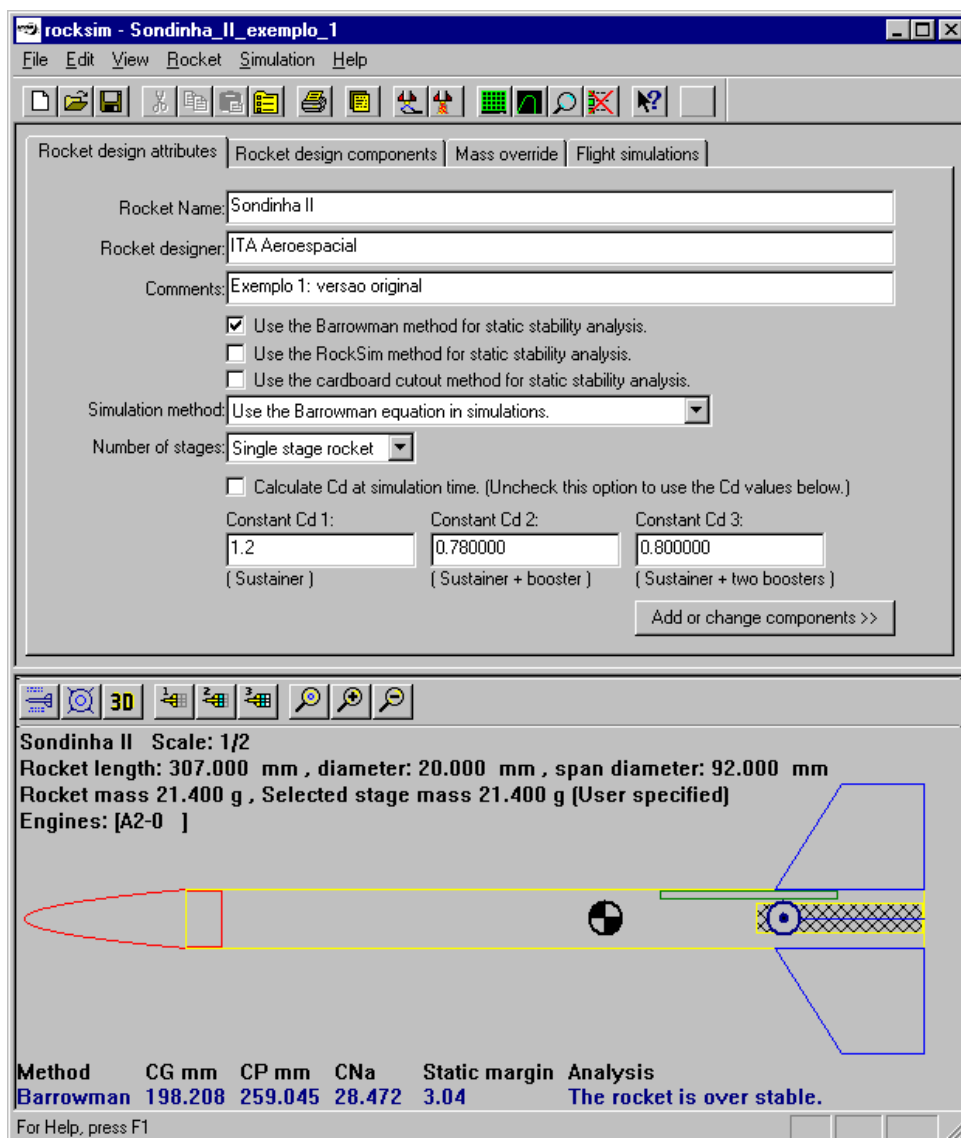


Figura 20. “Rocket design attributes” para o valor do  $C_D$  prescrito em 1.2.

- (h) Efetuar nova simulação usando  $C_D$  prescrito em 2.5. O  $t_I$  resulta em 10.06 s.
- (i) Efetuar nova simulação usando  $C_D$  prescrito em 2.56. O  $t_I$  resulta em 9.99 s. Este resultado já está bem próximo do experimental, 10 s. Portanto, neste exemplo, o  $C_D$  efetivo do MF seria de 2.56. E o apogeu, simulado em 161.87 m, seria realmente algo em torno de 93 m, conforme mostrado na Figura 21.

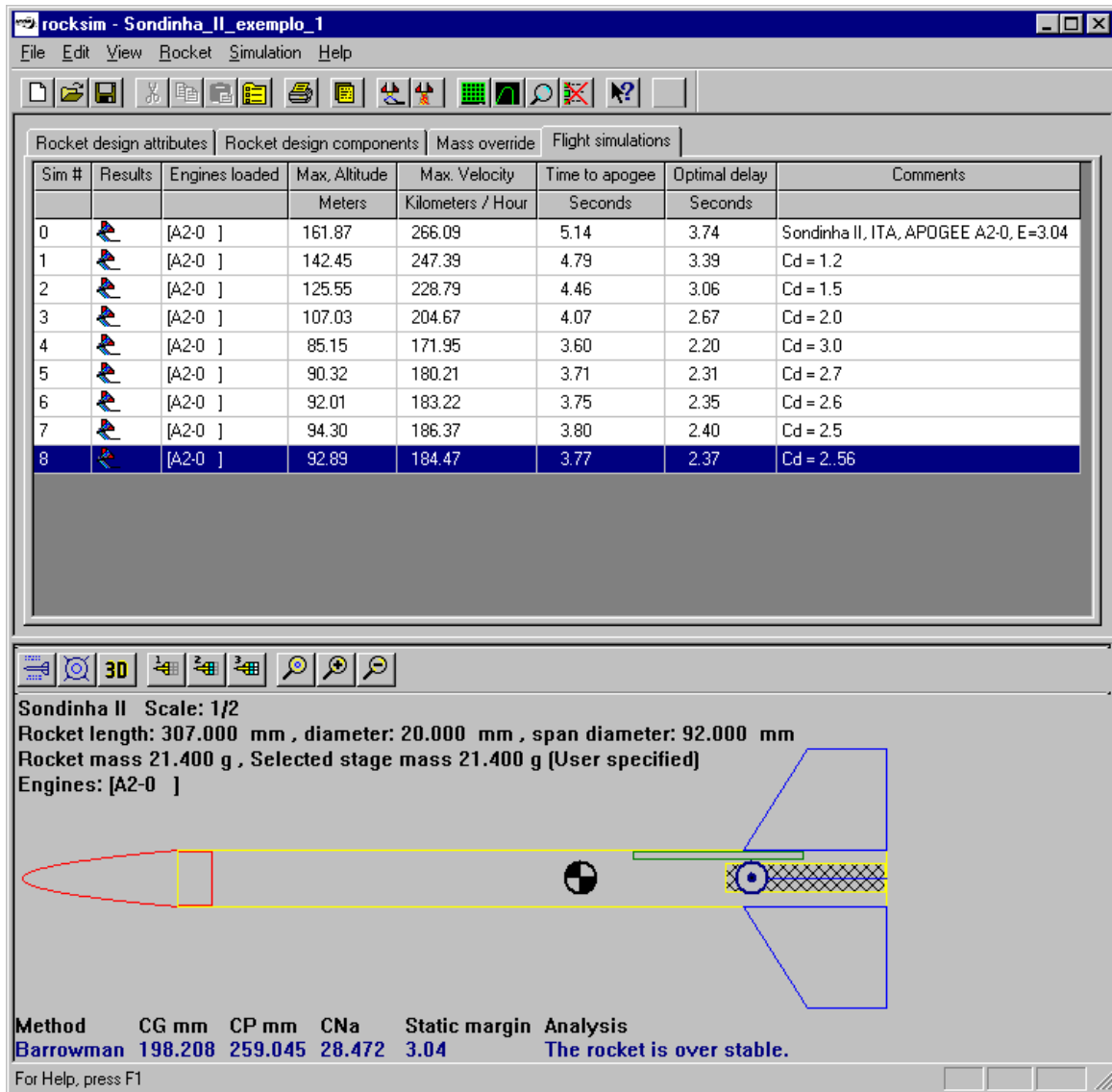


Figura 21. Exemplo de determinação do coeficiente de arrasto ( $C_D$ ) efetivo.

Os valores do apogeu em função dos valores do coeficiente de arrasto ( $C_D$ ) podem ser usados para gerar uma curva de apogeu x  $C_D$ . Ela permite analisar o efeito do  $C_D$  no apogeu de um dado MF.

## 5. Exercícios

### **Exercício 5.1:**

Partindo dos dados do capítulo 1, ou seja, aqueles mostrados nas Figuras 2, 3 e 4, analisar o efeito da altitude de lançamento sobre a trajetória do MF, especialmente o apogeu. Para tanto, simular a trajetória alterando dois dados mostrados na Figura 4, para os seguintes casos:

- (a) Altitude = 0 m; e Barometric Pressure = 1.013 Bar (caso de referência)
- (b) Altitude = 1000 m; e Barometric Pressure = 0.899 Bar
- (c) Altitude = 2000 m; e Barometric Pressure = 0.795 Bar
- (d) Altitude = 3000 m; e Barometric Pressure = 0.701 Bar

### **Exercício 5.2:**

Partindo dos dados do capítulo 2, ou seja, aqueles mostrados nas Figuras 3, 4 e 13, analisar o efeito do diâmetro do pára-quedas sobre a trajetória do MF, especialmente sobre o tempo total de vôo e a velocidade de impacto. Para tanto, simular a trajetória usando o valor de “Outer Dia.:", mostrado na Figura 13 do Tutorial 1 do RockSim, 300 mm (referência), 100, 200, 500 e 1000 mm.

### **Exercício 5.3:**

Para o MF resultante do exercício 4.1, obter sua curva apogeu x massa, conforme o procedimento descrito no capítulo 3 deste tutorial.

### **Exercício 5.4:**

Para o MF resultante do exercício 4.2, obter sua curva apogeu x massa, conforme o procedimento descrito no capítulo 3 deste tutorial.

### **Exercício 5.5:**

Para o MF resultante do exercício 4.3, obter sua curva apogeu x massa, conforme o procedimento descrito no capítulo 3 deste tutorial.

### **Exercício 5.6:**

Para o MF resultante do exercício 4.4, obter sua curva apogeu x massa, conforme o procedimento descrito no capítulo 3 deste tutorial.

**Exercício 5.7:**

Para o MF resultante do exercício 4.5, obter sua curva apogeu x massa, conforme o procedimento descrito no capítulo 3 deste tutorial.

**Exercício 5.8:**

Analisar o efeito do diâmetro externo do tubo-foguete sobre a trajetória do MF, especialmente o apogeu. Para tanto, usar os dados do capítulo 1, ou seja, aqueles mostrados nas Figuras 2, 3 e 4, e aqueles mostrados na Tabela 5 do Tutorial 2 do RockSim.