

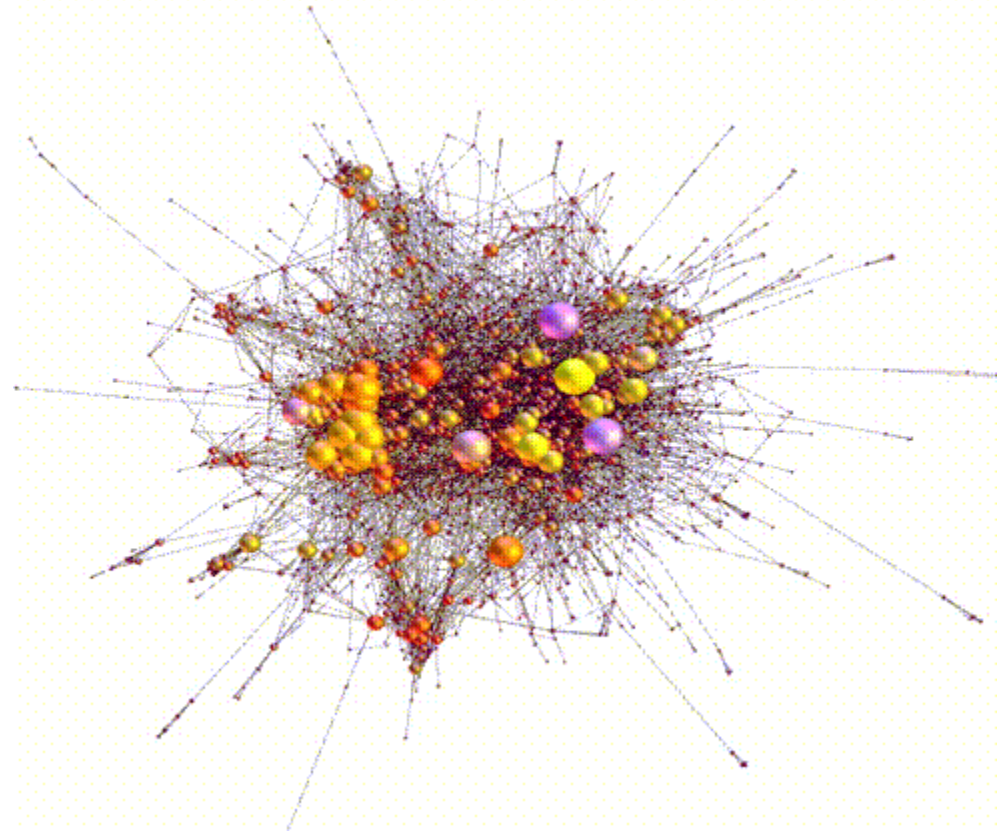
Lançamento do Ônibus Espacial Discovery (STS-120)



Até os especialistas da área usam os termos modelagem e simulação como sinônimos, mas no fundo não são.

Modelagem é o ato de construir modelos para a representação aproximada de sistemas.

Simulação é o ato de usar o modelo de um sistema para uma simulação.



Fonte:

https://computersciencewiki.org/index.php/Modeling_and_Simulation

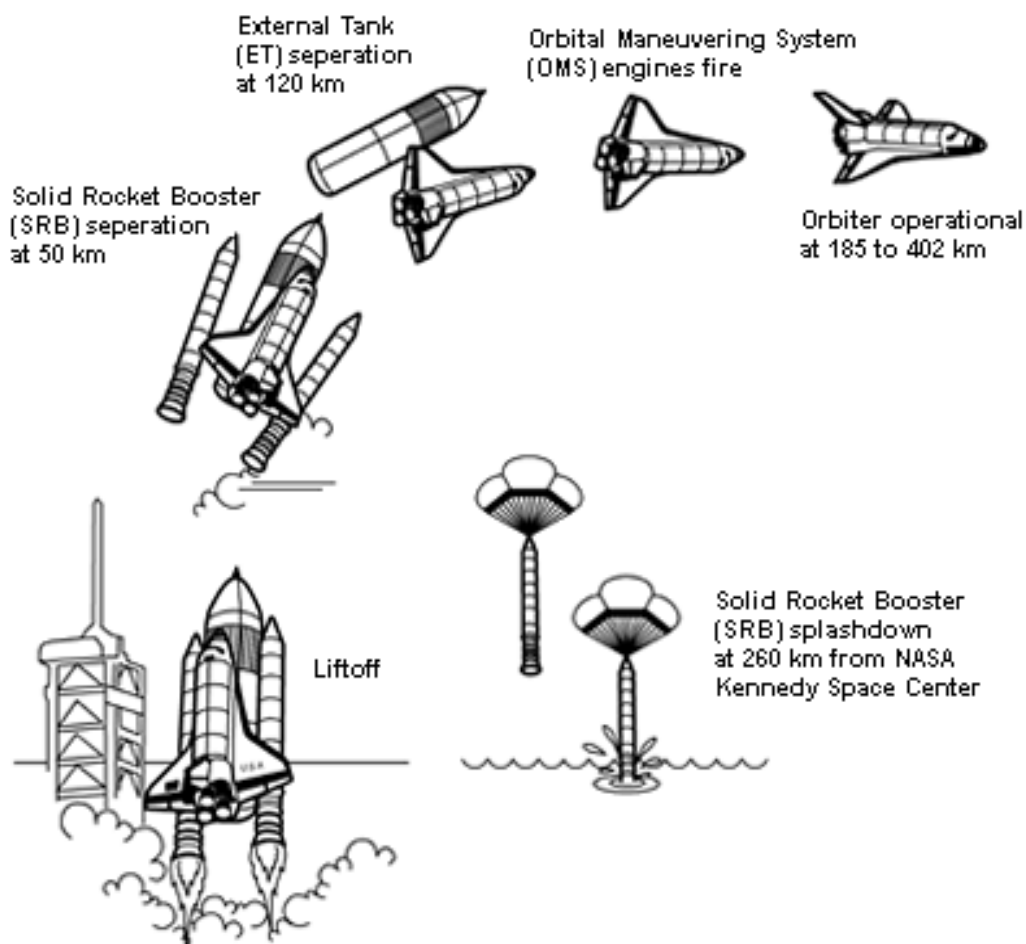
<https://www.mathworks.com/discovery/modeling-and-simulation.html>

Um dos principais feitos da ciência e engenharia do século XX foi o projeto e a construção de naves espaciais. Desde do voo pioneiro de Sputnik em 4 de outubro de 1957, até a conquista da Lua em 20 de julho de 1969, milhares de cientistas contribuíram para o desenvolvimento da conquista do espaço. Outro ponto alto da conquista do espaço foi o projeto do ônibus espacial, iniciado em 1981 e finalizado 2011. Aqui usaremos nossos conhecimentos de física para modelamos o lançamento do ônibus espacial.



Lançamento do ônibus espacial Discovery.
Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/STS-95#/media/File:STS-95_launch.jpg

A agência espacial americana (*National Aeronautics and Space Administration, NASA*) antes do lançamento de uma nave ao espaço faz um trabalho intenso de modelagem e simulação computacional do voo. Abaixo temos as principais etapas da subida de um ônibus espacial.



Antes de cada missão, dados projetados eram gerados para ajudar no lançamento do ônibus espacial para garantir a segurança e o sucesso durante a fase de subida. Para gerar esses dados, cientistas e engenheiros consideravam diversos fatores, como massa do ônibus espacial, quantidade de propelente, carga útil carregada ao espaço e carga útil trazida de volta do espaço. Outro parâmetro analisado era a densidade atmosférica, que varia durante o ano. Depois de testar diversos cenários para o voo do ônibus espacial, por meio de modelagem e simulação computacional, os cientistas e engenheiros tabulavam na forma de planilha o que acontecia em cada segundo da subida do ônibus espacial. A informação tabelada do voo servia para os cientistas e engenheiros verificarem se o ônibus espacial estava operando como esperado durante a fase do lançamento.

No dia 23 de outubro de 2007, o ônibus espacial *Discovery* foi lançado do Centro Espacial Kennedy na missão STS-120, com o objetivo de levar um dos módulos para a construção da estação espacial internacional (*International Space Station, ISS*). A Tabela 1 mostra a variação da altitude, velocidade e aceleração do ônibus espacial a cada 20 segundos, iniciando no lançamento até o ponto de desligamento dos motores (*Main-engine Cut-off, MECO*).

Tabela 1. Missão STS-120

Time (s)	Altitude (m)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)
0	-8	0	2.45
20	1240	130	18.6
40	5277	295	16.37
60	11497	430	19.4
80	19802	680	24.5
100	31382	1020	24
120	44706	1282	8.7
140	57336	1365	9.69
160	67813	1489	10.18
180	77425	1633	10.68
200	85632	1799	11.16
220	92405	1985	11.86
240	97999	2190	12.43
260	102289	2416	13.23
280	105311	2650	13.92
300	107439	2914	14.89
320	108610	3202	15.96
340	108940	3515	17.15
360	108540	3860	18.61
380	107680	4214	20.28
400	106530	4630	22.33
420	105140	5091	24.88
440	103770	5611	28.03
460	102792	6182	29
480	102537	6760	29.3
500	103282	7322	29
520	105054	7581	0.1

A seguir apresentaremos questões referentes a tabela 1, onde você irá determinar a função posição $y(t)$, função velocidade $v(t)$ e a função aceleração $a(t)$. A posição do ônibus espacial é definida como a localização num sistema de coordenadas. No presente problema, a altitude do ônibus espacial em função do tempo depois do lançamento é a posição vertical. A velocidade é a taxa de variação da posição vertical com relação ao tempo. A aceleração é definida como a taxa de variação da velocidade com relação ao tempo.

Tabela 1. Missão STS-120

Time (s)	Altitude (m)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)
0	-8	0	2.45
20	1240	130	18.6
40	5277	295	16.37
60	11497	430	19.4
80	19802	680	24.5
100	31382	1020	24
120	44706	1282	8.7
140	57336	1365	9.69
160	67813	1489	10.18
180	77425	1633	10.68
200	85632	1799	11.16
220	92405	1985	11.86
240	97999	2190	12.43
260	102289	2416	13.23
280	105311	2650	13.92
300	107439	2914	14.89
320	108610	3202	15.96
340	108940	3515	17.15
360	108540	3860	18.61
380	107680	4214	20.28
400	106530	4630	22.33
420	105140	5091	24.88
440	103770	5611	28.03
460	102792	6182	29
480	102537	6760	29.3
500	103282	7322	29
520	105054	7581	0.1

Questões

A. Use os dados da Tabela 1 para responder as questões abaixo.

i. Crie um gráfico da altitude do ônibus espacial em relação ao tempo.

ii. Use a regressão linear do programa *shuttle_ascent_model_v102.py* para determinar que tipo de função melhor se ajusta aos dados experimentais (linear, quadrática, cúbica, ou a quarta potência).

Tabela 1. Missão STS-120

Time (s)	Altitude (m)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)
0	-8	0	2.45
20	1240	130	18.6
40	5277	295	16.37
60	11497	430	19.4
80	19802	680	24.5
100	31382	1020	24
120	44706	1282	8.7
140	57336	1365	9.69
160	67813	1489	10.18
180	77425	1633	10.68
200	85632	1799	11.16
220	92405	1985	11.86
240	97999	2190	12.43
260	102289	2416	13.23
280	105311	2650	13.92
300	107439	2914	14.89
320	108610	3202	15.96
340	108940	3515	17.15
360	108540	3860	18.61
380	107680	4214	20.28
400	106530	4630	22.33
420	105140	5091	24.88
440	103770	5611	28.03
460	102792	6182	29
480	102537	6760	29.3
500	103282	7322	29
520	105054	7581	0.1

Questões

B. Escreva a função descrevendo a altitude (y) do ônibus espacial em função do tempo (t). Use a função obtida por regressão linear usando o programa *shuttle_ascent_model_v102.py*.

Tabela 1. Missão STS-120

Time (s)	Altitude (m)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)
0	-8	0	2.45
20	1240	130	18.6
40	5277	295	16.37
60	11497	430	19.4
80	19802	680	24.5
100	31382	1020	24
120	44706	1282	8.7
140	57336	1365	9.69
160	67813	1489	10.18
180	77425	1633	10.68
200	85632	1799	11.16
220	92405	1985	11.86
240	97999	2190	12.43
260	102289	2416	13.23
280	105311	2650	13.92
300	107439	2914	14.89
320	108610	3202	15.96
340	108940	3515	17.15
360	108540	3860	18.61
380	107680	4214	20.28
400	106530	4630	22.33
420	105140	5091	24.88
440	103770	5611	28.03
460	102792	6182	29
480	102537	6760	29.3
500	103282	7322	29
520	105054	7581	0.1

Questões

C. Determine a primeira derivada da função descrevendo a altitude (y) do ônibus espacial em função do tempo (t). Qual grandeza física representa esta primeira derivada?

Tabela 1. Missão STS-120

Time (s)	Altitude (m)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)
0	-8	0	2.45
20	1240	130	18.6
40	5277	295	16.37
60	11497	430	19.4
80	19802	680	24.5
100	31382	1020	24
120	44706	1282	8.7
140	57336	1365	9.69
160	67813	1489	10.18
180	77425	1633	10.68
200	85632	1799	11.16
220	92405	1985	11.86
240	97999	2190	12.43
260	102289	2416	13.23
280	105311	2650	13.92
300	107439	2914	14.89
320	108610	3202	15.96
340	108940	3515	17.15
360	108540	3860	18.61
380	107680	4214	20.28
400	106530	4630	22.33
420	105140	5091	24.88
440	103770	5611	28.03
460	102792	6182	29
480	102537	6760	29.3
500	103282	7322	29
520	105054	7581	0.1

Questões

D. Calcule os pontos de inflexão da função descrevendo a altitude (y) do ônibus espacial em função do tempo (t). Você precisa calcular a segunda derivada de y com relação ao tempo e igualar o resultado a zero. Qual grandeza física representa esta segunda derivada? Descreva a concavidade da função da altitude (y) do ônibus espacial.

Tabela 1. Missão STS-120

Time (s)	Altitude (m)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)
0	-8	0	2.45
20	1240	130	18.6
40	5277	295	16.37
60	11497	430	19.4
80	19802	680	24.5
100	31382	1020	24
120	44706	1282	8.7
140	57336	1365	9.69
160	67813	1489	10.18
180	77425	1633	10.68
200	85632	1799	11.16
220	92405	1985	11.86
240	97999	2190	12.43
260	102289	2416	13.23
280	105311	2650	13.92
300	107439	2914	14.89
320	108610	3202	15.96
340	108940	3515	17.15
360	108540	3860	18.61
380	107680	4214	20.28
400	106530	4630	22.33
420	105140	5091	24.88
440	103770	5611	28.03
460	102792	6182	29
480	102537	6760	29.3
500	103282	7322	29
520	105054	7581	0.1

Questões

E. Analise a função altitude no intervalo $[0,160]$. O que acontece com o ônibus espacial quando a concavidade muda?

Tabela 1. Missão STS-120

Time (s)	Altitude (m)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)
0	-8	0	2.45
20	1240	130	18.6
40	5277	295	16.37
60	11497	430	19.4
80	19802	680	24.5
100	31382	1020	24
120	44706	1282	8.7
140	57336	1365	9.69
160	67813	1489	10.18
180	77425	1633	10.68
200	85632	1799	11.16
220	92405	1985	11.86
240	97999	2190	12.43
260	102289	2416	13.23
280	105311	2650	13.92
300	107439	2914	14.89
320	108610	3202	15.96
340	108940	3515	17.15
360	108540	3860	18.61
380	107680	4214	20.28
400	106530	4630	22.33
420	105140	5091	24.88
440	103770	5611	28.03
460	102792	6182	29
480	102537	6760	29.3
500	103282	7322	29
520	105054	7581	0.1

Questões

F. Responda as questões baseadas nos dados da Tabela 1.

i. Faça um gráfico de dispersão da velocidade do ônibus espacial com relação ao tempo.

ii. Explique o que ocorre com a velocidade do ônibus espacial no intervalo de tempo $[0,520]$

iii. Determine a equação de regressão para velocidade em função do tempo.

Tabela 1. Missão STS-120

Time (s)	Altitude (m)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)
0	-8	0	2.45
20	1240	130	18.6
40	5277	295	16.37
60	11497	430	19.4
80	19802	680	24.5
100	31382	1020	24
120	44706	1282	8.7
140	57336	1365	9.69
160	67813	1489	10.18
180	77425	1633	10.68
200	85632	1799	11.16
220	92405	1985	11.86
240	97999	2190	12.43
260	102289	2416	13.23
280	105311	2650	13.92
300	107439	2914	14.89
320	108610	3202	15.96
340	108940	3515	17.15
360	108540	3860	18.61
380	107680	4214	20.28
400	106530	4630	22.33
420	105140	5091	24.88
440	103770	5611	28.03
460	102792	6182	29
480	102537	6760	29.3
500	103282	7322	29
520	105054	7581	0.1

Questões

G. Responda as questões baseadas nos dados da Tabela 1.

i. Faça um gráfico de dispersão da aceleração do ônibus espacial com relação ao tempo.

ii. Identifique no gráfico onde ocorre a separação dos foguetes de combustível sólido.

iii. O que acontece com a aceleração no intervalo [480, 500]?

iv. Por que a aceleração cai bruscamente no intervalo [500, 520]?

Tabela 1. Missão STS-120

Time (s)	Altitude (m)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)
0	-8	0	2.45
20	1240	130	18.6
40	5277	295	16.37
60	11497	430	19.4
80	19802	680	24.5
100	31382	1020	24
120	44706	1282	8.7
140	57336	1365	9.69
160	67813	1489	10.18
180	77425	1633	10.68
200	85632	1799	11.16
220	92405	1985	11.86
240	97999	2190	12.43
260	102289	2416	13.23
280	105311	2650	13.92
300	107439	2914	14.89
320	108610	3202	15.96
340	108940	3515	17.15
360	108540	3860	18.61
380	107680	4214	20.28
400	106530	4630	22.33
420	105140	5091	24.88
440	103770	5611	28.03
460	102792	6182	29
480	102537	6760	29.3
500	103282	7322	29
520	105054	7581	0.1

Questões

H. Usando o gráfico de dispersão da questão G, parte i, responda as seguintes questões.

i. Há uma função que se ajusta aos dados da aceleração em função do tempo?

ii. O que a função aceleração descreve no intervalo [120, 460]?

Tabela 1. Missão STS-120

Time (s)	Altitude (m)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)
0	-8	0	2.45
20	1240	130	18.6
40	5277	295	16.37
60	11497	430	19.4
80	19802	680	24.5
100	31382	1020	24
120	44706	1282	8.7
140	57336	1365	9.69
160	67813	1489	10.18
180	77425	1633	10.68
200	85632	1799	11.16
220	92405	1985	11.86
240	97999	2190	12.43
260	102289	2416	13.23
280	105311	2650	13.92
300	107439	2914	14.89
320	108610	3202	15.96
340	108940	3515	17.15
360	108540	3860	18.61
380	107680	4214	20.28
400	106530	4630	22.33
420	105140	5091	24.88
440	103770	5611	28.03
460	102792	6182	29
480	102537	6760	29.3
500	103282	7322	29
520	105054	7581	0.1

Questões

I. Compare as funções da velocidade obtidas por derivada e regressão.

Tabela 1. Missão STS-120

Time (s)	Altitude (m)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)
0	-8	0	2.45
20	1240	130	18.6
40	5277	295	16.37
60	11497	430	19.4
80	19802	680	24.5
100	31382	1020	24
120	44706	1282	8.7
140	57336	1365	9.69
160	67813	1489	10.18
180	77425	1633	10.68
200	85632	1799	11.16
220	92405	1985	11.86
240	97999	2190	12.43
260	102289	2416	13.23
280	105311	2650	13.92
300	107439	2914	14.89
320	108610	3202	15.96
340	108940	3515	17.15
360	108540	3860	18.61
380	107680	4214	20.28
400	106530	4630	22.33
420	105140	5091	24.88
440	103770	5611	28.03
460	102792	6182	29
480	102537	6760	29.3
500	103282	7322	29
520	105054	7581	0.1

Questões

J. Compare as funções da aceleração obtidas por derivada e regressão.

Tabela 1. Missão STS-120

Time (s)	Altitude (m)	Velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)
0	-8	0	2.45
20	1240	130	18.6
40	5277	295	16.37
60	11497	430	19.4
80	19802	680	24.5
100	31382	1020	24
120	44706	1282	8.7
140	57336	1365	9.69
160	67813	1489	10.18
180	77425	1633	10.68
200	85632	1799	11.16
220	92405	1985	11.86
240	97999	2190	12.43
260	102289	2416	13.23
280	105311	2650	13.92
300	107439	2914	14.89
320	108610	3202	15.96
340	108940	3515	17.15
360	108540	3860	18.61
380	107680	4214	20.28
400	106530	4630	22.33
420	105140	5091	24.88
440	103770	5611	28.03
460	102792	6182	29
480	102537	6760	29.3
500	103282	7322	29
520	105054	7581	0.1

- BRESSERT, Eli. **SciPy and NumPy**. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2013. 56 p.
 - DAWSON, Michael. **Python Programming, for the absolute beginner**. 3ed. Boston: Course Technology, 2010. 455 p.
 - HAL, Tim, STACEY, J-P. **Python 3 for Absolute Beginners**. Springer-Verlag New York, 2009. 295 p.
 - HETLAND, Magnus Lie. **Python Algorithms. Mastering Basic Algorithms in the Python Language**. Nova York: Springer Science+Business Media LLC, 2010. 316 p.
 - IDRIS, Ivan. **NumPy 1.5. An action-packed guide dor the easy-to-use, high performance, Python based free open source NumPy mathematical library using real-world examples. Beginner's Guide**. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2011. 212 p.
 - KIUSALAAS, Jaan. **Numerical Methods in Engineering with Python**. 2ed. Nova York: Cambridge University Press, 2010. 422 p.
 - LANDAU, Rubin H. **A First Course in Scientific Computing: Symbolic, Graphic, and Numeric Modeling Using Maple, Java, Mathematica, and Fortran90**. Princeton: Princeton University Press, 2005. 481p.
 - LANDAU, Rubin H., PÁEZ, Manuel José, BORDEIANU, Cristian C. **A Survey of Computational Physics. Introductory Computational Physics**. Princeton: Princeton University Press, 2008. 658 p.
 - LUTZ, Mark. **Programming Python**. 4ed. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2010. 1584 p.
 - TIPLER, P. A. & MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros**. Vol. 1. 6ª Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda. 2012., 759 pp.
 - TOSI, Sandro. **Matplotlib for Python Developers**. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2009. 293 p.
- Sites da Nasa:
- <https://www.nasa.gov/audience/foreducators/mathandscience/home/index.html>
 - https://www.nasa.gov/audience/foreducators/mathandscience/exploration/Prob_ShuttleAscent_detail.html
 - <https://www.nasa.gov/audience/foreducators/mathandscience/exploration/index.html>
 - https://www.nasa.gov/pdf/522602main_AP_ED_ShuttleAscent_Nspire.pdf