

Série1_SP

March 4, 2024

1 Série 1

```
[1]: import pandas as pd
```

```
def UAtokm(ua):  
    km = ua*149.6e6  
    return km  
  
def R_Tetokm(R_t):  
    km = R_t*6378  
    return km  
  
def lytokm(ly):  
    km = ly*9.46e12  
    return km
```

```
[2]: astrolist = {'nome' :  
    →('Sol','Mercúrio','Vénus','Terra','Marte','Júpiter','Saturno','Urano','Neptuno',  
        'Ceres','Plutão','Eris','Lua_Te',  
        'Io','Europa','Ganímedes','Calisto','Sinope','Métis',  
        →  
    →'Tit_Sa','Enc_Sa','Tet_Sa','Dio_Sa','Rei_Sa','Mim_Sa','Jap_Sa',  
        'Mir_Ur','Ari_Ur','Umb_Ur','Tit_Ur','Obe_Ur',  
        'Nuvem de Oort','P. Centauri'),  
    'massa.kg' : (1.99e30,3.30e23,4.81e24,5.97e24,6.42e23,1.90e27,5.  
    →69e26,8.70e25,1.03e26,  
        None,None,None,7.35e22,  
        8.94e22,4.80e22,1.48e23,1.08e23,None,None,  
        1.35e23,8.40e19,7.55e20,1.10e21,2.49e21,3.80e19,1.  
    →88e21,  
        6.33e19,1.27e21,1.27e21,3.49e21,3.03e21,  
        None,None),  
    'orbita.km': (None,5.79e7,1.08e8,1.50e8,2.28e8,7.78e8,1.43e9,2.  
    →87e9,4.50e9,  
        UAtokm(2.676),UAtokm(39.5447),UAtokm(67.89),3.84e5,  
        4.21e5,6.71e5,1.07e6,1.88e6,2.37e7,1.28e5,
```

```

1.22e6,2.38e5,2.95e5,3.77e5,5.27e5,1.86e5,3.56e6,
1.29e5,1.91e5,2.66e5,4.36e5,5.84e5,
(UAtokm(1e4),UAtokm(5e4)),lytokm(4.2)),
'raio.km' : (695508,2440,6052,6378,3396,71492,60268,25559,24766,
R_Tetokm(0.076),1150,R_Tetokm(0.188),None,
1822,1561,2634,2410,None,None,
None,None,None,None,None,None,None,
None,None,None,None,None,
None,None)}
data=pd.DataFrame(astrolist)

```

2 Exercício 1

1a)

```

[3]: fator_escala = 1/(data.set_index('nome').at['Terra','raio.km'])

for i in range(12):
    print('O diâmetro de',data['nome'][i],'é cerca de',round(data['raio.
    ↳km'][i]*fator_escala,3),'cm no modelo à escala.')

```

O diâmetro de Sol é cerca de 109.048 cm no modelo à escala.
 O diâmetro de Mercúrio é cerca de 0.383 cm no modelo à escala.
 O diâmetro de Vénus é cerca de 0.949 cm no modelo à escala.
 O diâmetro de Terra é cerca de 1.0 cm no modelo à escala.
 O diâmetro de Marte é cerca de 0.532 cm no modelo à escala.
 O diâmetro de Júpiter é cerca de 11.209 cm no modelo à escala.
 O diâmetro de Saturno é cerca de 9.449 cm no modelo à escala.
 O diâmetro de Urano é cerca de 4.007 cm no modelo à escala.
 O diâmetro de Neptuno é cerca de 3.883 cm no modelo à escala.
 O diâmetro de Ceres é cerca de 0.076 cm no modelo à escala.
 O diâmetro de Plutão é cerca de 0.18 cm no modelo à escala.
 O diâmetro de Eris é cerca de 0.188 cm no modelo à escala.

1b)

```

[4]: for i in range(1,12):
    print('A distância de',data['nome'][i],'ao Sol no modelo é cerca_
    ↳de',round(data['orbita.km'][i]*fator_escala/2e2,2),'m.')

```

A distância de Mercúrio ao Sol no modelo é cerca de 45.39 m.
 A distância de Vénus ao Sol no modelo é cerca de 84.67 m.
 A distância de Terra ao Sol no modelo é cerca de 117.59 m.
 A distância de Marte ao Sol no modelo é cerca de 178.74 m.
 A distância de Júpiter ao Sol no modelo é cerca de 609.91 m.
 A distância de Saturno ao Sol no modelo é cerca de 1121.04 m.
 A distância de Urano ao Sol no modelo é cerca de 2249.92 m.

A distância de Neptuno ao Sol no modelo é cerca de 3527.75 m.

A distância de Ceres ao Sol no modelo é cerca de 313.84 m.

A distância de Plutão ao Sol no modelo é cerca de 4637.73 m.

A distância de Eris ao Sol no modelo é cerca de 7962.01 m.

1c)

```
[5]: print('A',data['nome'][31],'encontrar-se-ia entre',round(data['orbita.km'][31][0]*fator_escala/2e5),'e',
      round(data['orbita.km'][31][1]*fator_escala/2e5),'km no nosso modelo.')

print('E a estrela',data['nome'][32],'a cerca de',round(data['orbita.km'][32]*fator_escala/2e5),'km,',
      'aproximadamente a distância de um círculo á volta da Terra na latitude do C8, caso fosse esse o TPC.')
```

A Nuvem de Oort encontrar-se-ia entre 1173.0 e 5864.0 km no nosso modelo.

E a estrela P. Centauri a cerca de 31148.0 km, aproximadamente a distância de um círculo á volta da Terra na latitude do C8, caso fosse esse o TPC.

3 Exercício 2

2a)

```
[6]: ratio_Sol = sum([data['massa.kg'][i] for i in range(1,9)])/data['massa.kg'][0]

print('A razão entre a soma das massas dos oito planetas e a massa do',
      data['nome'][0],'é de',round(ratio_Sol*100,3),'%.')
```

A razão entre a soma das massas dos oito planetas e a massa do Sol é de 0.134 %.

2b)

```
[7]: ratio_Ju = sum([data['massa.kg'][i] for i in range(13,17)])/data['massa.kg'][5]
print('A razão entre a soma das massas das principais luas de',
      data['nome'][5],'e a sua massa é',round(ratio_Ju*100,4),'%.')

ratio_Sa = sum([data['massa.kg'][i] for i in range(19,26)])/data['massa.kg'][6]
print('A razão entre a soma das massas das principais luas de',
      data['nome'][6],'e a sua massa é',round(ratio_Sa*100,4),'%.')

ratio_Ur = sum([data['massa.kg'][i] for i in range(26,31)])/data['massa.kg'][7]
print('A razão entre a soma das massas das principais luas de',
      data['nome'][7],'e a sua massa é',round(ratio_Ur*100,4),'%.')
```

A razão entre a soma das massas das principais luas de Júpiter e a sua massa é 0.0207 %.

A razão entre a soma das massas das principais luas de Saturno e a sua massa é 0.0248 %.

A razão entre a soma das massas das principais luas de Urano e a sua massa é 0.0105 %.

2c) (discutido com Daniela Cordeiro e Luís Silva)

Temos que o momento angular total, L , é dado pela soma do momento angular orbital e do momento angular rotacional: $L = L_o + L_r$. Desprezando as excentricidades e inclinações orbitais, o L de um planeta i é dado por: $L_i = m_i * v_i * r_i + L_{ri}$. Mas $v_i = (G * M_{\text{Sol}}/r_i)^{0.5}$ logo $L_i = m_i * (G * M_{\text{Sol}} * r_i)^{0.5} + L_{ri}$, para um planeta do sistema solar onde m_i e r_i são a sua massa e raio orbital, respetivamente, e M_{Sol} a massa do Sol. No cálculo dos momentos angulares dos planetas telúricos podemos desprezar o seu momento angular rotacional, pelos seus raios e velocidades de rotação reduzidas. O momento angular orbital do Sol também foi desprezado considerando o seu raio orbital como aproximadamente nulo.

```
[8]: L_r = {'nome'          :
        →('Sol', 'Mercúrio', 'Vénus', 'Terra', 'Marte', 'Júpiter', 'Saturno', 'Urano', 'Neptuno'),
        'L_r.kgkm2/s' : (1.6e35,0,0,0,0,4.3e32,7.7e31,1.7e30,2.0e30)}
L_data = pd.DataFrame(L_r)

G = 6.673e-20
L = [data['massa.kg'][i]*(G*data['massa.kg'][0]*data['orbita.km'][i])**0.5 for i in
    →range(1,9)]
L.insert(0, 0)
L_data['L_o.kgkm2/s'] = L
L_data['L_total'] = L_data['L_r.kgkm2/s'] + L_data['L_o.kgkm2/s']

ratio_L_S = round(sum([L_data['L_total'][i] for i in range(1,9)])/
    →L_data['L_total'][0],2)
print('Temos então que a razão entre a soma dos momento angulares orbitais dos
    →oito planetas e o do Sol é de aproximadamente',
        ratio_L_S,', ou seja, o momento angular do Sol representa
    →apenas',round(100/ratio_L_S,2),
        '% do momento angular total do Sistema Solar.')
```

Temos então que a razão entre a soma dos momento angulares orbitais dos oito planetas e o do Sol é de aproximadamente 196.37 , ou seja, o momento angular do Sol representa apenas 0.51 % do momento angular total do Sistema Solar.

No caso dos sistemas joviano, croniano e uraniano, os momentos angulares totais dos respetivos satélites são igualmente desprezáveis, analogamente aos planetas telúricos no parágrafo anterior e também por terem menos massa e orbitarem muito mais perto do seu planeta, cuja massa é muito menor que a do Sol. No entanto podemos confirmar, considerando apenas o momento angular orbital.

```
[9]: L_Ju = [data['massa.kg'][i]*(G*data['massa.kg'][5]*data['orbita.km'][i])**0.5
    →for i in range(13,17)]
ratio_L_Ju = sum([L_Ju[i] for i in range(4)])/L_data['L_o.kgkm2/s'][5]
print('No sistema joviano, esta razão é de aproximadamente','{:.2e}'.
    →format(ratio_L_Ju),'.')
```

```

L_Sa = [data['massa.kg'][i]*(G*data['massa.kg'][6]*data['orbita.km'][i])**0.5
    →for i in range(19,26)]
ratio_L_Sa = sum([L_Sa[i] for i in range(7)])/L_data['L_o.kgkm2/s'][6]
print('No sistema croniano, esta razão é de aproximadamente','{:.2e}'.
    →format(ratio_L_Sa),'.')

L_Ur = [data['massa.kg'][i]*(G*data['massa.kg'][7]*data['orbita.km'][i])**0.5
    →for i in range(26,31)]
ratio_L_Ur = sum([L_Ur[i] for i in range(5)])/L_data['L_o.kgkm2/s'][7]
print('No sistema uraniano, esta razão é de aproximadamente','{:.2e}'.
    →format(ratio_L_Ur),'.')

```

No sistema joviano, esta razão é de aproximadamente $2.32e-07$.

No sistema croniano, esta razão é de aproximadamente $1.22e-07$.

No sistema uraniano, esta razão é de aproximadamente $8.30e-09$.

2d) (tabela fornecida por Rafael Silva)

```

[10]: print('Considerando os semi-eixos maiores das órbitas igual ao raio orbital',
        'médio temos que:')
for i in range(1,9):
    ratio = round(data['orbita.km'][i]/data['raio.km'][0],1)
    print('O raio orbital de',data['nome'][i],'é de',ratio,'raios do Sol')

print('\nAnalogamente para os satélites de Júpiter temos que:')
for i in range(13,19):
    ratio = round(data['orbita.km'][i]/data['raio.km'][5],2)
    print('O raio orbital de',data['nome'][i],'é de',ratio,'raios de Júpiter')

```

Considerando os semi-eixos maiores das órbitas igual ao raio orbital médio temos que:

O raio orbital de Mercúrio é de 83.2 raios do Sol
 O raio orbital de Vénus é de 155.3 raios do Sol
 O raio orbital de Terra é de 215.7 raios do Sol
 O raio orbital de Marte é de 327.8 raios do Sol
 O raio orbital de Júpiter é de 1118.6 raios do Sol
 O raio orbital de Saturno é de 2056.1 raios do Sol
 O raio orbital de Urano é de 4126.5 raios do Sol
 O raio orbital de Neptuno é de 6470.1 raios do Sol

Analogamente para os satélites de Júpiter temos que:

O raio orbital de Io é de 5.89 raios de Júpiter
 O raio orbital de Europa é de 9.39 raios de Júpiter
 O raio orbital de Ganímedes é de 14.97 raios de Júpiter
 O raio orbital de Calisto é de 26.3 raios de Júpiter
 O raio orbital de Sinope é de 331.51 raios de Júpiter
 O raio orbital de Métis é de 1.79 raios de Júpiter

Nesta alínea encontra-se uma interessante relação entre as distâncias relativas entre os planetas do sistema solar e os satélites do sistema joviano. Escalando as distâncias em raios de Júpiter aproximadamente 14 vezes, e ignorando Métis que orbita muito próximo de Júpiter, vemos que os valores se assemelham às distâncias dos planetas em raios do Sol. Logo os planetas orbitam mais afastados relativamente à sua estrela, mas com distâncias relativas semelhantes os satélites de Júpiter.

4 Exercício 3

O autor propõe interpretar o sistema solar como um grupo de 5 corpos celestes, cada um com o seu próprio sistema de satélites, que orbitam um centro de massa comum. Tratam-se dos sistemas joviano, croniano, uraniano, neptuniano e do Sol, onde os planetas telúricos são o seu sistema de satélites.

A sua principal motivação com esta interpretação é apresentar um modelo de formação do sistema solar mais simples, onde “os cinco sistemas formam-se independentemente, por um mecanismo em comum”, focando-se no facto de que os planetas telúricos e planetas gasosos apresentam uma composição semelhante às luas dos planetas gigantes e ao Sol, respetivamente, e também que os valores de momento angular total entre os diferentes sistemas é mais consistente utilizando a sua interpretação. No entanto, conclui que os seus argumentos não resolvem grandes problemas, apenas os deixam ser interpretados doutra maneira.

Considerando os exercícios 2a) e 2b) vemos que a razão entre a soma das massas todos os planetas é aproximadamente uma ordem de grandeza superior às dos outros sistemas propostos (excluindo o neptuniano que não foi calculado), todos com razões de massa semelhantes. Seguindo para o exercício 2c) vemos um paralelismo às alíneas anteriores. O sistema Sol apresenta um valor discrepante em relação aos outros sistemas. Mesmo analisando apenas os planetas telúricos, o sistema Sol apresenta um valor 6 ordens de grandeza maior enquanto que os outros sistemas diferem no máximo por duas. No entanto, assim o momento angular do corpo central de cada sistema é de facto maior que a soma dos outros componentes, como o autor nota no artigo. Pelo exercício 2d) vemos que os planetas telúricos orbitam a uma distância muito maior que os satélites do seu respetivo satélites. No exercício só estão expostas as luas de Jupiter no entanto é fácil confirmar isto para os outros dois sistemas em estudo. É de notar também que se pode encontrar uma relação entre as distâncias orbitais relativas, explícito no exercício anterior, porém fraca.

Assim podemos concluir que realmente é interessante a maneira como o autor distingue os corpos telúricos e gasosos em diferentes sistemas e outros pontos que faz, no entanto poucas linearidades conseguimos obter entre os sistemas. O Sol apresenta simplesmente uma dominância significativa no conjunto dos sistemas. Também com uma motivação débil, podemos declarar que o artigo não apresenta grande utilidade científica no presente.

5 Exercício 4

O autor propõe distinguir planetas de não planetas de uma maneira quantificável quer pela teoria quer pela observação. Pela teoria derivada das bases astrofísicas da formação de sistemas planetários, definindo um planeta como o produto final da acreção secundária num disco á volta de uma estrela ou subestrela, tudo conceitos bem definidos no artigo. Pela observação pois o planeta deverá conter mais de 100 vezes a massa de todos os outros corpos que partilham a sua zona

orbital, a sua definição de produto final, algo que só ocorrerá em sistemas planetários bem desenvolvidos. Assim estes corpos podem ser definidos não só pelas suas propriedades intrínsecas mas também no seu contexto dinâmico.

A principal diferença entre planetas e planetas-anões do Sistema Solar é a razão entre a massa do corpo e a massa de todos os outros corpos que partilham a sua zona orbital, também bem definida no artigo. Isto é, valores grandes desta razão representam planetas totalmente agregados, i.e. planetas, enquanto que valores pequenos representam planetas num estágio interrompido de desenvolvimento, i.e. anões, com grandes probabilidades de colisão entre outros objetos da sua zona orbital. O autor mostra que este parâmetro difere 4 ou 5 ordens de magnitude entre planetas e não planetas.

```
[3]: import matplotlib.pyplot as plt
import math

g_e=10**8
g_k=7
g_G=6.67408*10**(-11)
def R(M,A,Z):
    R = 2*g_k*M**(1/3)*(Z/A)**(5/3)*(g_e*Z**2/(A**(4/3))+g_G*M**(2/3))**(-1)
    return R

logM = [i/10 + math.log(2*10**30,10) for i in range(-70,10)]

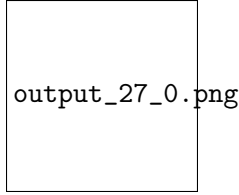
plt.xlabel('log(Mp/MS)')
plt.ylabel('Planet radius (Mm)')

plt.plot(logM,[R(10**i,1,1) for i in logM], 'x', label='Hydrogen') #H
plt.plot(logM,[R(10**i,4,2) for i in logM], 'x', label='Helium') #He
plt.plot(logM,[R(10**i,28.1,14) for i in logM], 'x', label='Silicon') #Si
plt.plot(logM,[R(10**i,55.8,26) for i in logM], 'x', label='Iron') #Fe
plt.legend()

planets = ['Mercury', 'Earth', 'Jupiter', 'Saturn', 'Uranus', 'Neptune']
planets_logM = [23.51653537, 24.7761198, 27.27829621, 26.75457766, 25.93856976, 26.01029996]
planets_R = [2.440000, 6.378000, 71.492000, 60.268000, 25.559000, 24.766000]

plt.scatter(planets_logM, planets_R, color='black', marker='o')
for i in range(5):
    plt.annotate(planets[i], (planets_logM[i]+.25, planets_R[i]))
plt.annotate(planets[-1], (planets_logM[-1]+.25, planets_R[-1]-4))

plt.show()
```



output_27_0.png

[]:

A plethora of celestial bodies can be found just in the Solar System. Of them, the terrestrial planets and natural satellites provide the most astounding sights of rich geological features. The most obvious difference between them is their size, Earth and Venus being the standouts with almost double the radius of the next largest body - Mars. Their relative large size translates to a large volume to surface area i.e. a slow release of their internal heat, an already large amount of energy in relation to its smaller cousins.

However, the Earth and Venus *twins* share little more features than their size and composition. A venusian day is longer than its year, rotating with an unusual axis rotation of 177.3° . This could explain its weak magnetic field in relation to Earth, due to a weak dynamo effect in the core, but few signs of volcanism are also present in the planet [?]. Earth has its share of unique features as well, being the only planet with constant liquid water on surface, a multi-plate tectonic system and a moon size comparable with those of the giants. The state of the art science explains this unique planets with primordial major collisions. A large collision with early Venus could have literally turned him upside down and realising large amounts of its internal heat. On Earth a collision with a Mars sized planet - Theia - reaped its crust creating an accretion disk that would eventually form the Moon. Very recent research indicates that Theia was a water world, that is inputting a large quantity of water to the early Earth [?]. This new water-rich composition of Earth's geological layers meant less friction between them, starting massive convection currents carrying heat from the interior to the planet's surface. [?] This unique feature of Earth is essential for recycling its crust and this is why it is so young. Such system isn't found on Venus, however its lightly cratered surface indicates a young crust as well. The answer might be in the very dry geological composition. Since no tectonic features are present due to high friction, i.e. larger amounts of energy to start convection within the mantle, the inner heat escapes through generalised volcanism episodes where the low lands of Venus melt in unison, spanning all the planet's surface. The theory finds ground in the fact that the high lands are heavily craterized in opposition of the low regions.

Mars' interior quickly cooled in relation to the latter planets, leaving an early formed crust to the elements. With no crust recycling, much of Mars crust is very ancient and craterized, and interesting consequences arise. With a stationary crust, a hot spot built the largest shield volcano on the Solar System over millions of years - *Olympus Mons*! [?]. The lowlands of the southern hemisphere lack the crater features of the northern highlands. Theory suggests that an ancient surface ocean protected the sea floor from collisions. [?]. Ancient (and not so ancient [?]) martian water carved the landscape into beautiful deltas, salt deposits and gullies. Aeolian features are abundant like wind tails, drift deposits, duneforms [?].

Mercury, the least researched telluric planet, has many mysteries to solve. It has an ancient crater-

ized crust and an abnormally large core. Surface cracks (or fault scarps), potentially caused by the shrinking of the planet, may indicate a one-plate tectonic system [?]. Hopefully *BepiColombo*'s recent arrival to Mercury can shed light on the Sun's closest neighbour.

The formation and consequent evolution of the giants' moons are very different from the rocky planets, since they are formed almost independently in their own secondary *planetary* systems. There is only one rocky moon of the gaseous planets e.g. Io the planet of volcanism (Earth's moon is the only other rocky moon, however its formation is associated with a cataclastic event as explained before). This volcanism is fueled by the high tidal forces experienced by the satellite interior due to a distorted orbit. This tidal heating makes Io the most geologically active object in the Solar System! [?]

All other moons are icy. This means that their surfaces are composed mostly of water ice. If this satellites are heated by tidal forces, similar to Io, they could harbor an extensive subsurface ocean, or several, underneath the ice resulting in surface features, e.g. Enceladus *tiger stripes*, or even cryovolcanism. This type of volcanism is similar to Earth and Io's 'lava volcanism' but erupting volatiles at very low temperatures. Direct observations of cryovolcanism have been made like Titan's Doom Mons or Enceladus, and potentially Triton, geysers. Some dwarf-planets, mainly Pluto and Ceres, also appear to exhibit cryovolcanism features [?].

Titan is an oddball among the giants' natural satellites. Being the largest moon of Saturn and the second-largest natural satellite in the Solar System, Titan is also the only moon with an atmosphere in hydrostatic equilibrium and the only known moon (or planet!) other than Earth on which clear evidence of stable bodies of surface liquid has been found. This means a complex climate system, composing an earthlike cycle of liquids raining from clouds, flowing across its surface, filling lakes and seas, and evaporating back into the sky, akin to Earth's water cycle however with hydrocarbons, mainly methane and ethane. The surface is then described as *complex, fluid-processed, [and] geologically young* [?], shaped by fluvial and eolian erosion.

Very few is known about other celestial bodies yet humanity has already laid eyes to so many astounding sights. Each year new space missions are assigned to these alien worlds. *Psyche* orbiter mission will explore the origin of planetary cores and, with this, try to increase the understanding of planetary formation and interiors [?]. *Europa Clipper* will investigate Europa's habitability by studying deeply what's beneath the surface ice [?]. *Dragonfly* is an astrobiology mission to Titan to assess its microbial habitability and study its prebiotic chemistry at various locations [?]. These are just a few examples of humanity's latest effort to better understand our celestial cousins.