

## Questão 2

September 9, 2019

### 1 Isotopo mais estavel

```
[1]: def B(Z, A):
    a1, a2, a3, a4 = 15.8, 18.3, 0.714, 23.2
    if A%2==1: a5 = .0
    elif Z%2==0: a5 = 12.0
    else : a5 = -12.0

    return (
        a1*A - a2*A**(2/3) - a3*Z*(Z-1)/A**(1/3)
        - a4*(A-2*Z)**2/A + a5/A**(1/2)
    )

mtrz_BpA = [[-1],] # inicia alista que vai reter os valores de B/A (M[Z][A-Z])
                # a primeira entrada é [-1] pois não temos Z=0
for Z in range(1, 101):
    ls_BpA = []
    for A in range(Z, 3*Z+1):
        ls_BpA.append(B(Z, A)/A)

    A_est = ls_BpA.index(max(ls_BpA))+Z

    print(f'Para Z = {Z}:')
    print(f' - O valor de A do nucleo mais estavel eh {A_est}')
    print(f' - O valor correspondente de ligacao por nucleon eh {max(ls_BpA)}')

    mtrz_BpA.append(ls_BpA)
```

Para Z = 1:

- O valor de A do nucleo mais estavel eh 3
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 0.5337109016056093

Para Z = 2:

- O valor de A do nucleo mais estavel eh 4
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 5.546826486055676

Para Z = 3:

- O valor de A do nucleo mais estavel eh 7
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 5.44013209967998

Para  $Z = 4$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 8
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 6.644830085889913

Para  $Z = 5$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 11
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 6.796053462681366

Para  $Z = 6$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 14
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.32788159841496

Para  $Z = 7$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 15
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.465966572319319

Para  $Z = 8$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 18
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.8403609062268895

Para  $Z = 9$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 19
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.863724166546658

Para  $Z = 10$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 22
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.15117559672174

Para  $Z = 11$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 25
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.132995948347387

Para  $Z = 12$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 26
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.352409294739136

Para  $Z = 13$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 29
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.345166727868259

Para  $Z = 14$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 30
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.486395377675988

Para  $Z = 15$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 33
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.486396381770211

Para  $Z = 16$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 36
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.585335657350946

Para  $Z = 17$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 37
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.580463995252439

Para  $Z = 18$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 40
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.667353975183733

Para  $Z = 19$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 43
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.641878961169311

Para  $Z = 20$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 44
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.719082317837335

Para  $Z = 21$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 47
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.698530868064303

Para  $Z = 22$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 48
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.748561764797596

Para  $Z = 23$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 51
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.732063251394619

Para  $Z = 24$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 54
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.771262461747023

Para  $Z = 25$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 55
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.748044363222451

Para  $Z = 26$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 58
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.784119005551736

Para  $Z = 27$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 61
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.75833642013809

Para  $Z = 28$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 62
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.78392823534505

Para  $Z = 29$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 65
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.761135296294608

Para  $Z = 30$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 68
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.778754904028954

Para  $Z = 31$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 69
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.753222387985042

Para  $Z = 32$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 72
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.769712617013822

Para  $Z = 33$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 75
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.742651820706447

Para  $Z = 34$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 76
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.752243543529548

Para  $Z = 35$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 79
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.727449427050173

Para  $Z = 36$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 82
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.733564578310444

Para  $Z = 37$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 83
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.705133966862402

Para  $Z = 38$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 86
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.710915679111205

Para  $Z = 39$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 89
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.683892137246461

Para  $Z = 40$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 92
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.683280567694537

Para  $Z = 41$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 93
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.657218208522924

Para  $Z = 42$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 96
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.656558981770418

Para  $Z = 43$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 99
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.62852583207869

Para  $Z = 44$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 100
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.624904547693863

Para  $Z = 45$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 103
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.598403967184018

Para  $Z = 46$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 106
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.593329533488188

Para  $Z = 47$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 109
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.564940909546568

Para  $Z = 48$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 110
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.55908229223289

Para  $Z = 49$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 113
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.53201752543547

Para  $Z = 50$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 116
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.523817270595393

Para  $Z = 51$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 119
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.495436160386827

Para  $Z = 52$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 120
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.487424441915836

Para  $Z = 53$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 123
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.460195907682131

Para  $Z = 54$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 126
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.449727118462986

Para  $Z = 55$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 127
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.421742847856757

Para  $Z = 56$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 130
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.411534600270226

Para  $Z = 57$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 133
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.384378170941362

Para  $Z = 58$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 136
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.372231357695776

Para  $Z = 59$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 139
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.344390256010232

Para  $Z = 60$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 140
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.33251503336748

Para  $Z = 61$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 143
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.305570850803402

Para  $Z = 62$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 146
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.292164786115823

Para  $Z = 63$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 149
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.26471428023985

Para  $Z = 64$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 150
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.251149409602291

Para  $Z = 65$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 153
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.224500126560558

Para  $Z = 66$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 156
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.21013909621468

Para  $Z = 67$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 159
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.183110818329899

Para  $Z = 68$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 160
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.168010599177737

Para  $Z = 69$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 163
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.141703485496123

Para  $Z = 70$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 166
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.126613163243922

Para  $Z = 71$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 169
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.100019731337861

Para  $Z = 72$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 172
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.084112092166496

Para  $Z = 73$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 173
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.057587315044533

Para  $Z = 74$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 176
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.04193801196836

Para  $Z = 75$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 179
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 8.015780423927621

Para  $Z = 76$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 182
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.9994498709772754

Para  $Z = 77$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 185
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.973171570234275

Para  $Z = 78$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 186
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.95638659153526

Para  $Z = 79$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 189
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.9306587708979

Para  $Z = 80$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 192
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.914007436773002

Para  $Z = 81$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 195
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.888192267688196

Para  $Z = 82$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 198
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.871071724002754

Para  $Z = 83$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 201
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.845231802116209

Para  $Z = 84$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 202
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.827973493863384

Para  $Z = 85$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 205
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.802602996524933

Para  $Z = 86$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 208
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.785310273675413

Para  $Z = 87$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 211
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.759929709068723

Para  $Z = 88$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 214
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.742308727123105

Para  $Z = 89$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 217
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.716959761373923

Para  $Z = 90$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 218
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.699141493118916

Para  $Z = 91$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 221
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.674197771217975

Para  $Z = 92$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 224
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.656500100927259

Para  $Z = 93$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 227
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.6315925660373995

Para  $Z = 94$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 230
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.613663092732748

Para  $Z = 95$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 233
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.5888202113700896

Para  $Z = 96$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 236
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.570702438031955

Para  $Z = 97$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 239
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.545947054459188

Para  $Z = 98$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 240
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.527977465641587

Para  $Z = 99$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 243
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.503552253945378

Para  $Z = 100$ :

- O valor de  $A$  do nucleo mais estavel eh 246
- O valor correspondente de ligacao por nucleon eh 7.485444670675913

## 2 Atomo mais estavel

```
[2]: best_BpA = [max(ls_BpA) for ls_BpA in mtrz_BpA]

print(f'''
Para Z igual a {best_BpA.index(max(best_BpA))} tem-se o maior valor de B/A
''')
```

Para  $Z$  igual a 26 tem-se o maior valor de  $B/A$

## 3 Teste $Z=28$ e $A=58$

```
[3]: print(f'''
A energia de ligacao B para o caso em que  $Z=28$  e  $A=58$  eh {B(28, 58)}, da
ordem de 500MeV.
''')
```

A energia de ligacao  $B$  para o caso em que  $Z=28$  e  $A=58$  eh 502.7267421715999, da ordem de 500MeV.

## 4 Teste $Z=80$ , isotopo mais estável

```
[4]: BpA_80 = mtrz_BpA[80]
stableA_Z80 = BpA_80.index(max(BpA_80))+80

print(f'''
O elemento de numero atomico 80 tem o isotopo de massa {stableA_Z80}
como mais estavel e sua energia por nucleon eh de aproximadamente
{max(mtrz_BpA[80])} MeV.
''')
```

O elemento de numero atomico 80 tem o isotopo de massa 192 como mais estavel e sua energia por nucleon eh de aproximadamente



7.914007436773002 MeV.