

Universidade Federal do ABC

## Estrutura da Matéria

Átomos de muitos Elétrons e  
Tabela Periódica

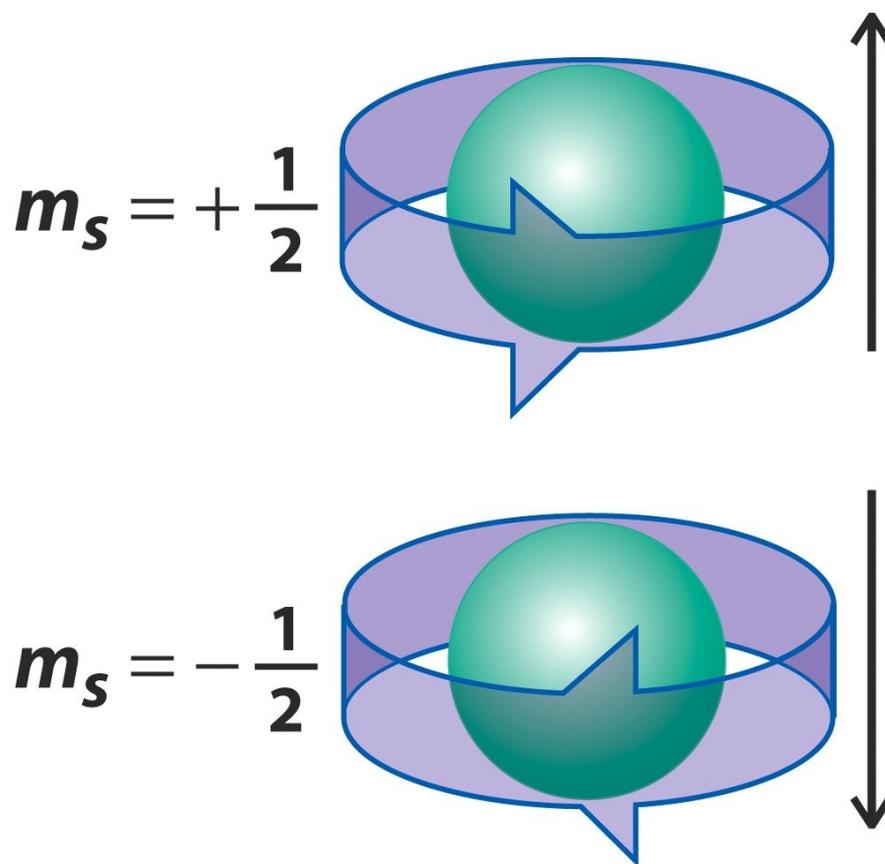
<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/Estrutura.html>

# O Átomo de Hidrogênio

## O spin do elétron

Os **elétrons** ainda têm um quarto número quântico, o número do **spin**,  $m_s$ , ou **momento angular intrínseco** (ao contrário do momento angular orbital),

uma maneira de visualizar isto (mas que tem limitações), é do spin como momento angular da rotação do elétron em torno do próprio eixo, e não da revolução em torno do núcleo. (análogo à Terra no Sistema Solar)



# O Átomo de Hidrogênio

## O Estado fundamental do átomo de Hidrogênio

O número quântico do spin de um elétron pode assumir apenas **dois valores**:

$m_s = \frac{1}{2}$  ou  $-\frac{1}{2}$ . Se diz: “spin pra cima”,  $\uparrow$ , ou “spin pra baixo”,  $\downarrow$ .

Resumo: O átomo de hidrogênio **normalmente** encontra-se no **estado fundamental**, quer dizer o estado de **menor energia**.

O único elétron está na camada 1s,  
 $n = 1$ ,  $l = 0$ ,  $m_l = 0$ , e seu spin é pra cima ou pra baixo,  
 $m_s = \pm\frac{1}{2}$  (tanto faz).

=> O estado fundamental é **denegerado** em **duas possibilidades**.

# O Sistema periódico

E os outros átomos? Aqueles com mais de um elétron?

Como a camada K (=1s) é a camada de menor energia, será que todos os elétrons se encontram lá, alguns com spin pra cima e alguns com spin pra baixo?

Não, devido ao **princípio de exclusão de Pauli**, que diz que **cada estado quântico**  $n, l, m_l, m_s$ , pode ser ocupado por **apenas um elétron**.

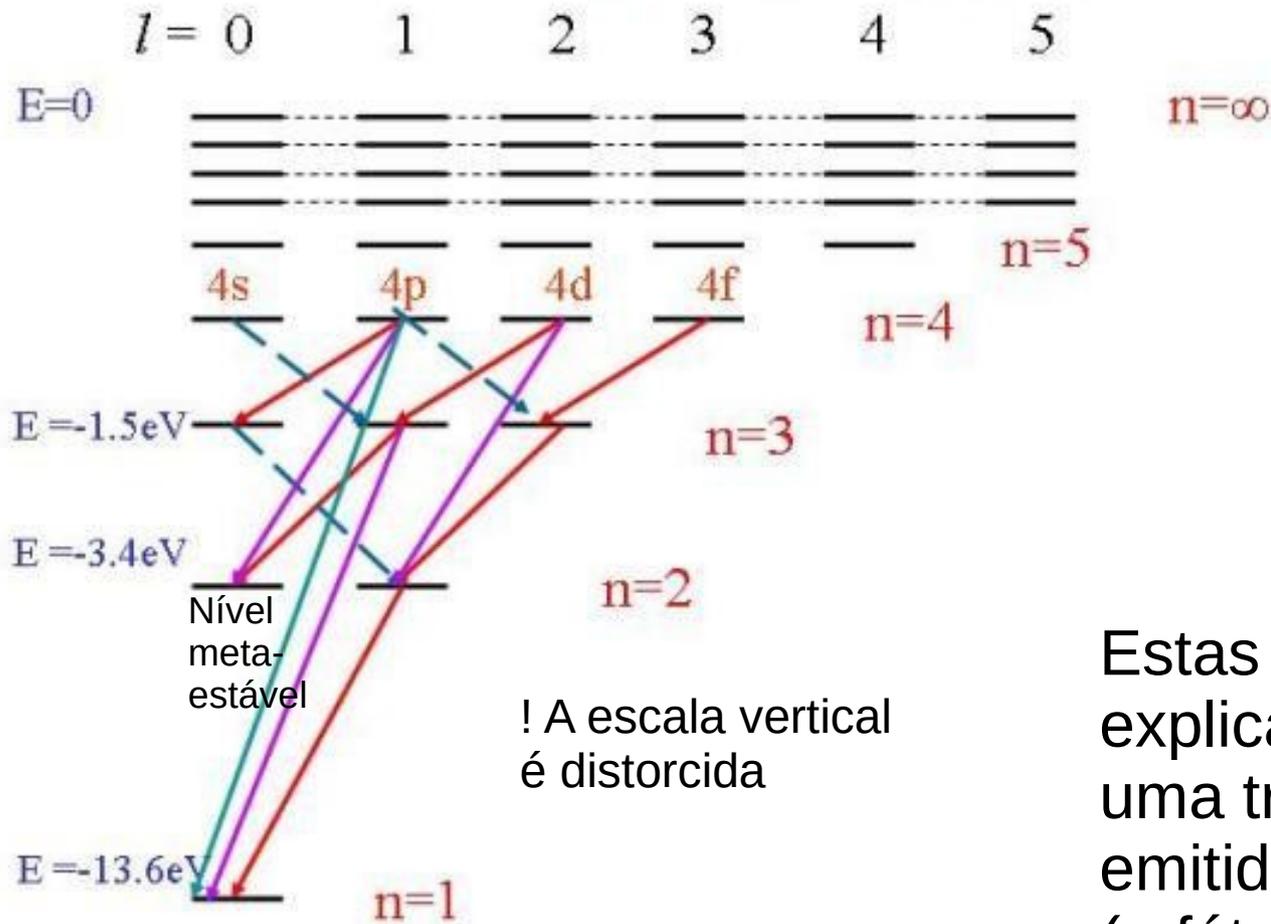
Ou seja: Cada **orbital**  $n, l, m_l$  pode conter só **dois elétrons**, um com spin pra cima e um com spin pra baixo.

No **estado fundamental** de um átomo com muitos elétrons, os **elétrons** ocupam os **orbitais** atômicos disponíveis, de modo a tornar a **energia** total do átomo a **menor possível**.

Quando se adiciona elétrons a um átomo, as camadas se enchem **de baixo pra cima**.

# Diagrama de Níveis de Energia

Energy level diagram



## Regras de Seleção

(transições "permitidas"):

$\Delta n$ : livre

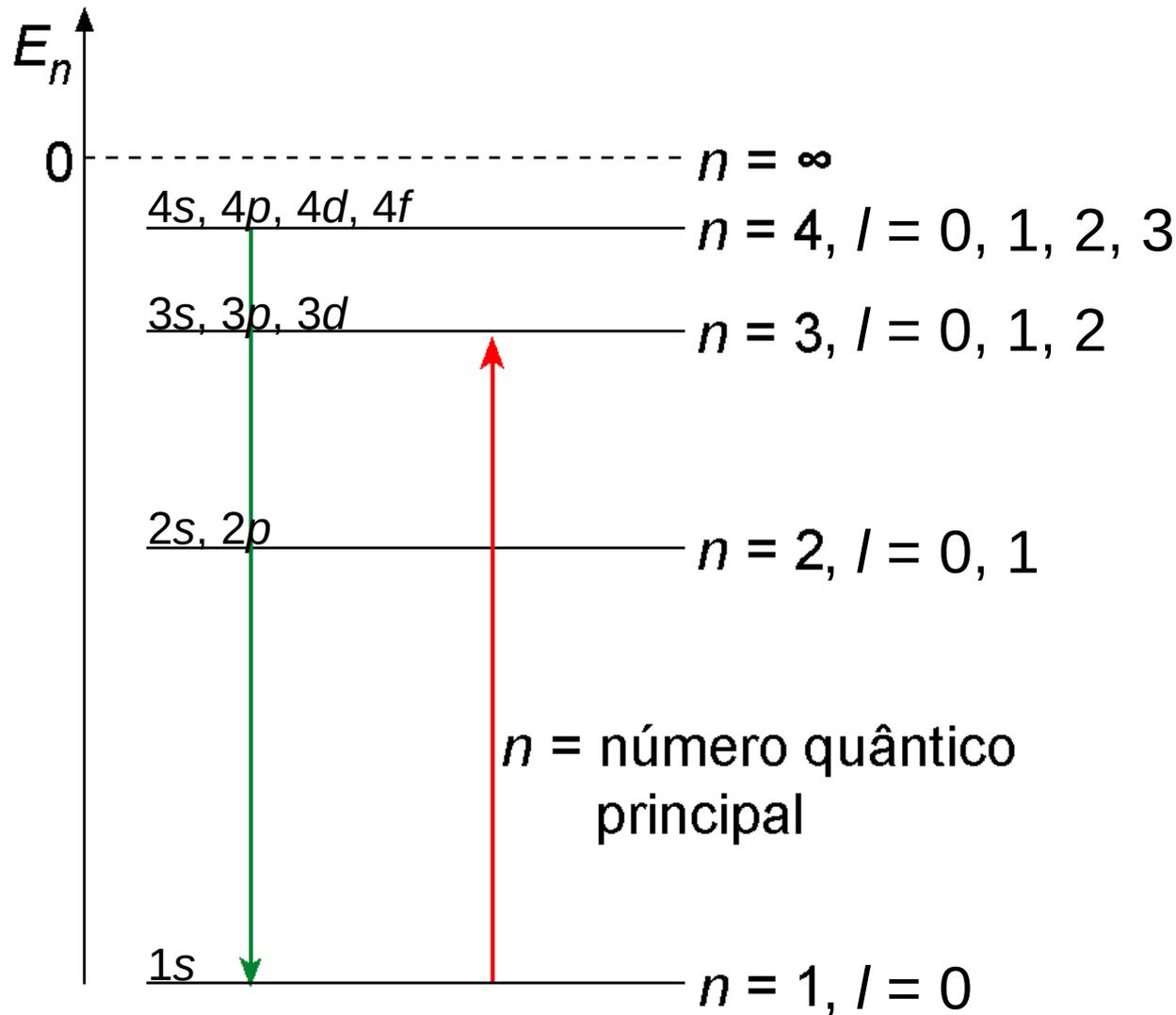
$\Delta l = \pm 1$

$\Delta m_l = 0$  ou  $\pm 1$

Estas últimas duas podem ser explicadas pelo fato que, em uma transição, um **fóton** é emitido ou absorvido (o fóton tem  $l = 1$  e  $m_l = -1, \dots, 1 = 0$  ou  $\pm 1$ )

# O Sistema periódico

## Diagrama de energias de um átomo com um elétron



Num átomo com **um elétron**, um hidrogenóide, **todos os orbitais** com o **mesmo  $n$**  têm a **mesma energia**. Os níveis de energia são **degenerados**.

Porém, quando há **mais de um elétron**, os elétrons se **repelem** entre si, o que **altera as energias** dos orbitais.

=> **Desdobramento** de níveis de energia.

# Átomos Multi-Eletrônicos

Em átomos com **mais** de **um elétron**, temos **interações entre** os **elétrons**, o que modifica o potencial que cada elétron “sente”.

Cada elétron está submetido ao **potencial do núcleo**, diminuído pelo **potencial** devido aos **demais elétrons**, efeito chamado **blindagem**.

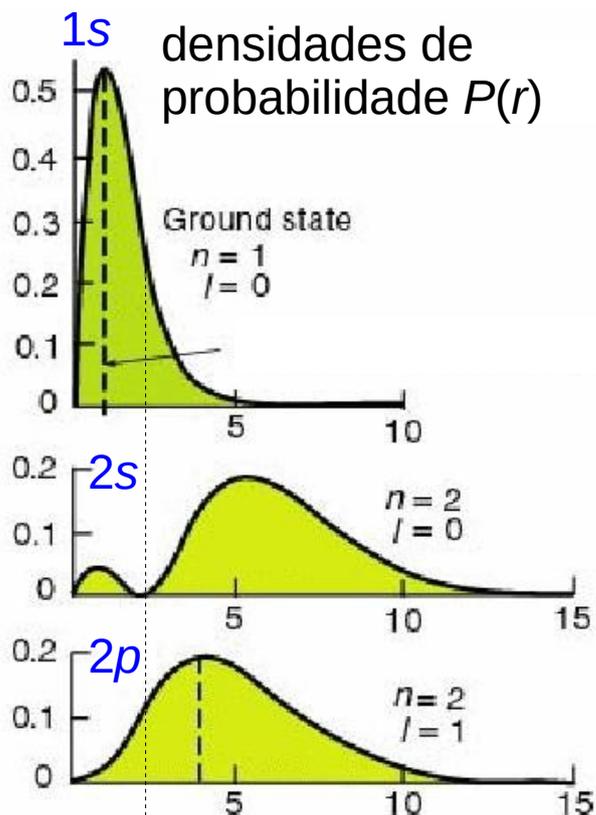
Notícia ruim: Isto **modifica** os **orbitais** e **energias**, e a Equação de Schrödinger não tem soluções analíticas para sistemas maiores que 1 núcleo + 1 elétron.

Notícia boa: Mesmo assim, dá para **identificar** os **orbitais** com os orbitais do **átomo de hidrogênio**, e podemos **manter** a notação 1s, 2s, 2p, etc.

Existem métodos **numéricos** para achar as **funções de onda** e **energias** de **átomos multi-eletrônicos**.

# Átomos Multi-Eletrônicos

## Energias em átomos multieletrônicos



raio do “contorno” do orbital  $1s$ , i. e., da região de alta probabilidade de estadia dos  $e^-$   $1s$

### Exemplo (qualitativo)

Num átomo com **3 elétrons**, **2** deles no orbital  **$1s$** , onde se encontrará o terceiro, no orbital  **$2s$**  ou no  **$2p$** ?

Um  $e^-$   **$2p$**  “enxergaria” maior parte do tempo o núcleo **blindado** pelos **elétrons  $1s$** , isto é, se “sentiria” **atraído** por um núcleo com **carga  $Z-2$** .

Um  $e^-$   **$2s$**  **penetra** com **mais frequência** na região dos  **$1s$** , e “veria” o núcleo **menos blindado**, se “sentiria” **atraído** por um núcleo com carga um pouco **maior que  $Z-2$**  (mais forte que um  $e^-$   **$2p$** ).

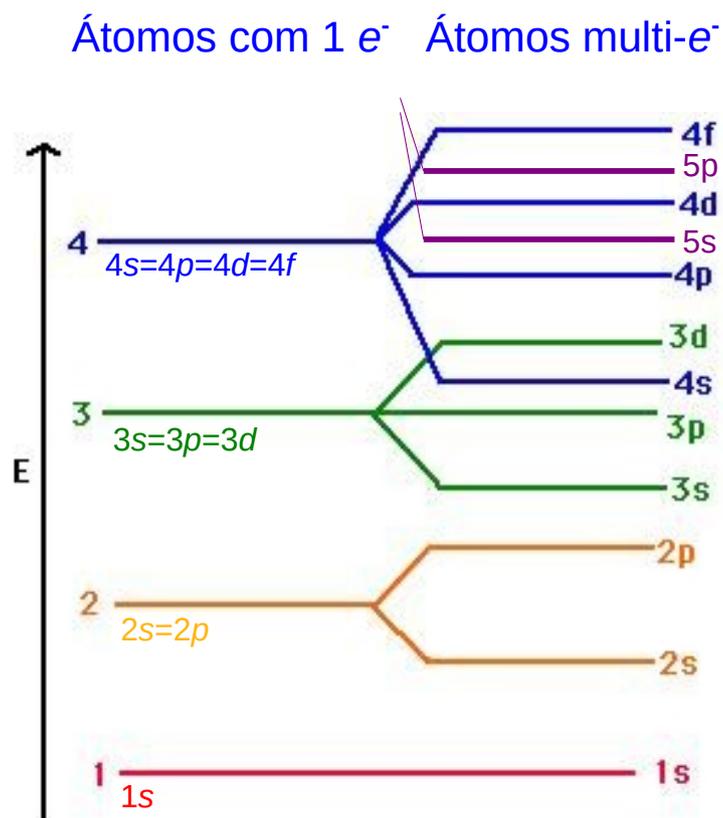
=> No orbital  **$2s$** , o  **$3^\circ e^-$**  tem **energia menor** que no  **$2p$** .

Formulação mais simples:

O orbital  **$2s$**  tem **menor energia** que o  **$2p$** .

# Átomos Multi-Eletrônicos

## Diagrama de energias em átomos multieletrônicos



## Resultados

Para **átomos multi-eletrônicos**, ocorre **desdobramento** de níveis de energia com o **mesmo  $n$**  e  **$l$**  diferentes, mas para a mesma combinação de  $n$  e  $l$ , ainda ocorre **degenerescência** em  $m_l$ .

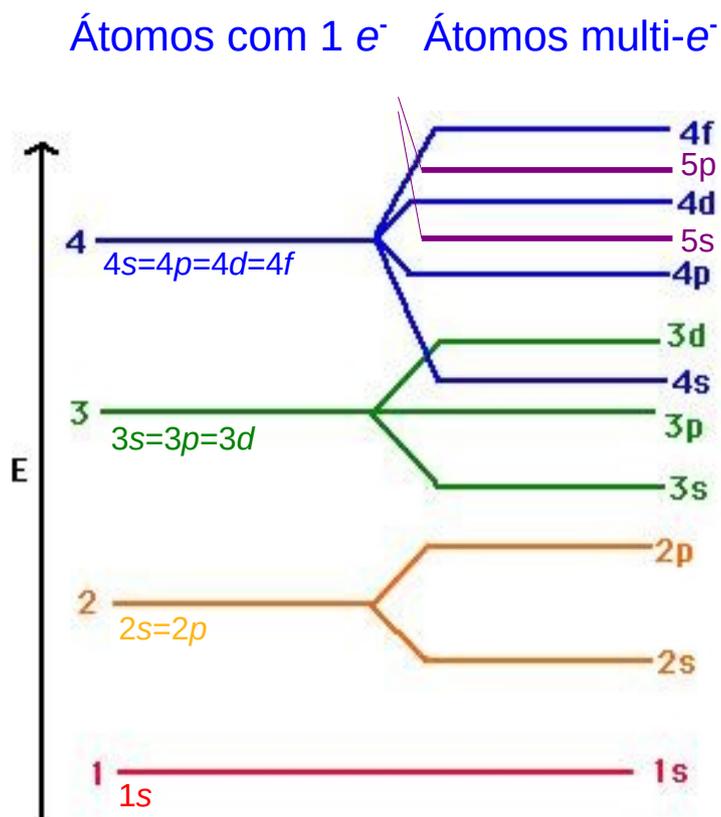
Para um **dado  $n$** , as **energias** das **subcamadas** (dos orbitais com diferentes valores de  $l$ ) **umentam** quando  **$l$  aumenta**:  
 $s < p < d < f < \dots$

# Átomos Multi-Eletrônicos

## Diagrama de energias em átomos multieletrônicos

### Resultados

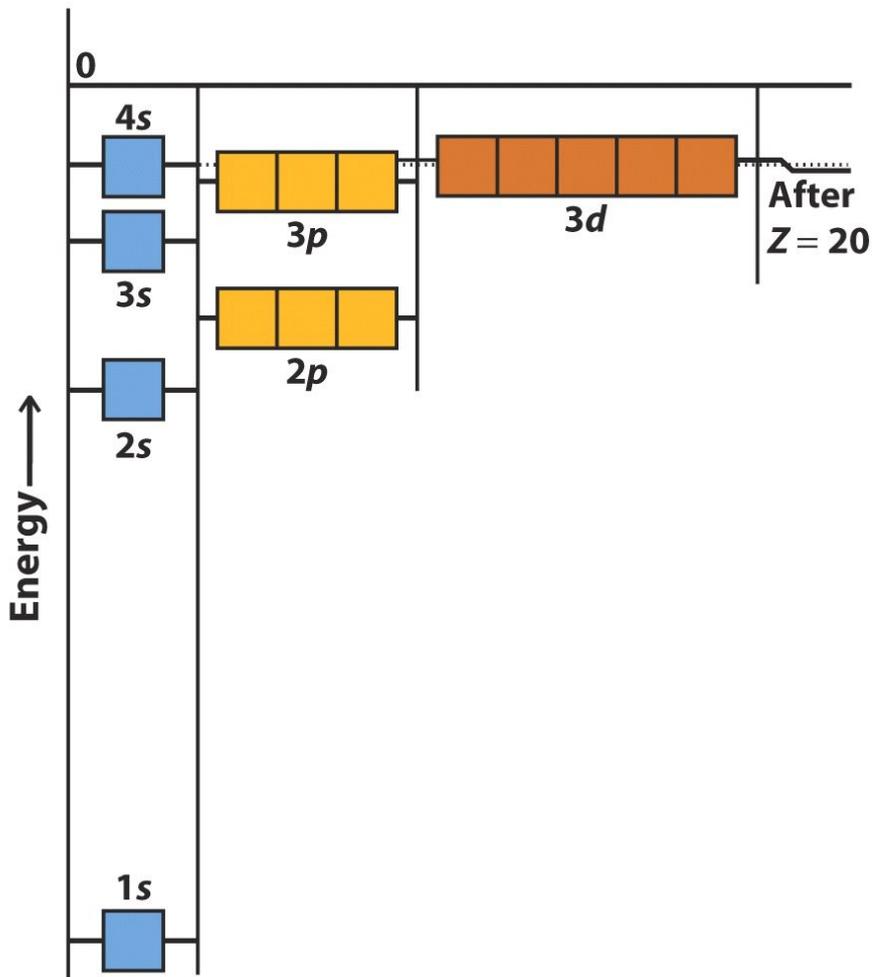
Tabela que facilita memorizar a ordem das subcamadas.



Camada	Subcamadas
1	s
2	s p
3	s p d
4	s p d f
5	s p d f
6	s p d
7	s p

# O Sistema periódico

## Diagrama de energias em átomos multieletrônicos

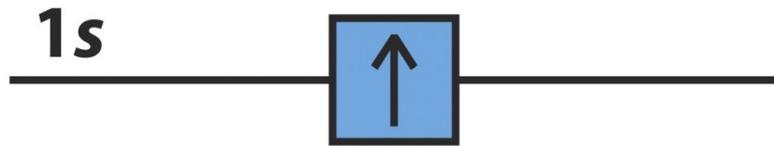


Pelo **princípio de exclusão**, cada **orbital**  $n, l, m_l$  pode ser ocupado por apenas **2 elétrons**, um com **spin pra cima** e um com **spin pra baixo**.

Agora podemos “encher o sistema periódico”, ou seja, encher as camadas e subcamadas de elétrons **de baixo pra cima** (**princípio da construção**), simbolizando os elétrons por flechas,  $\uparrow$  ou  $\downarrow$ , dependendo do spin.

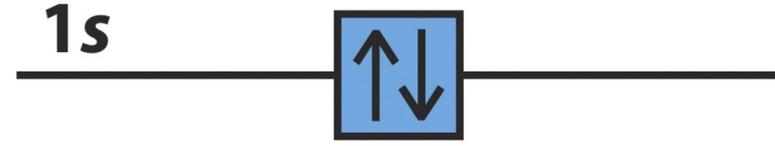
# O Sistema periódico

## Princípio da Construção (aumentando $Z$ )



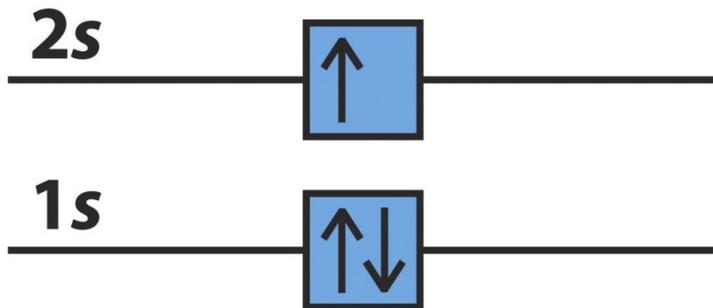
**1 H  $1s^1$**

$Z = 1$ : Hidrogênio: 1 e<sup>-</sup> na camada 1s, p. e. com spin pra cima



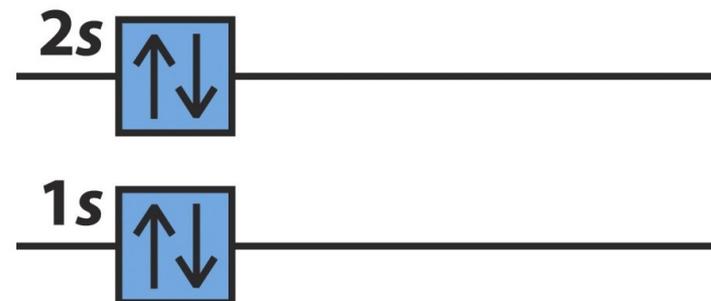
**2 He  $1s^2$**

$Z = 2$ : Hélio: 2 e<sup>-</sup> na camada 1s, um com spin pra cima, e um pra baixo



**3 Li  $1s^2 2s^1, [\text{He}]2s^1$**

$Z = 3$ : Lítio: 2 e<sup>-</sup> na camada 1s, 1 na 2s



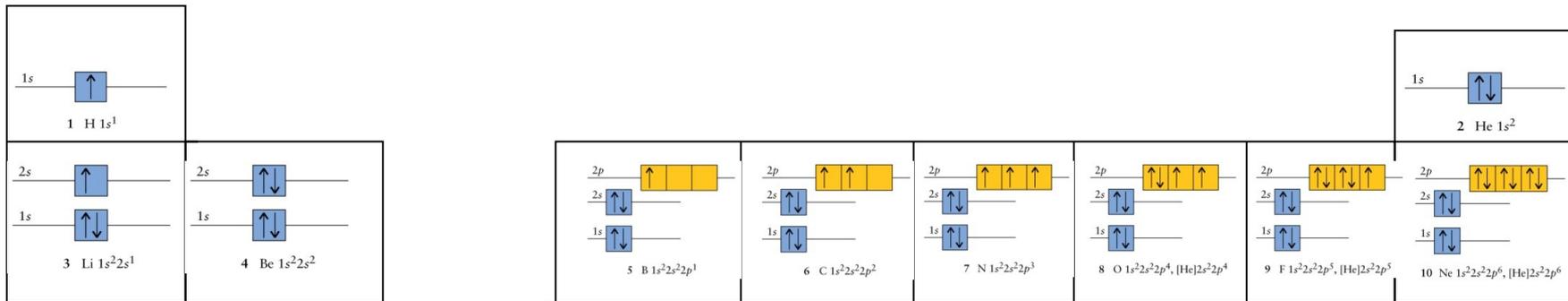
**4 Be  $1s^2 2s^2, [\text{He}]2s^2$**

$Z = 4$ : Berílio: 2 e<sup>-</sup> na camada 1s, 2 na 2s

# O Sistema periódico

## Princípio da Construção (aumentando $Z$ )

Podemos preencher os  $2 \cdot (2l+1)$  vagas em uma dada subcamada em qualquer ordem?



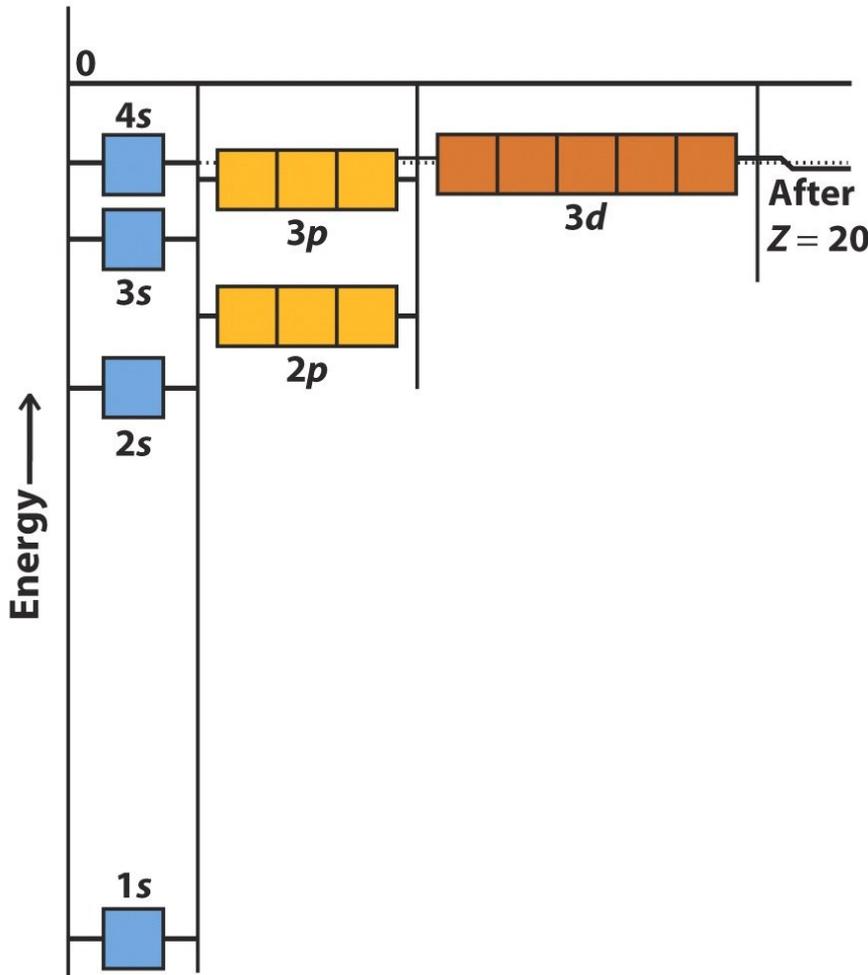
## Regra de Hund (1927):

"A configuração do **estado fundamental** é aquela com **máximo número de spins desemparelhados**."

Ou seja, durante o preenchimento dos orbitais de um **mesmo nível energético**, deve-se colocar em **primeiro** lugar em todas elas **um só** elétron, todos com o **mesmo spin**, antes de se proceder à lotação completa dessas orbitais. Os **próximos elétrons** a serem colocados deverão apresentar spins **antiparalelos** em relação aos já presentes.

# O Sistema periódico

## Configuração dos primeiros 11 elementos



H:  $1s^1$

He:  $1s^2$

Li:  $1s^2 2s^1$  (ou [He] $2s^1$ )

Be:  $1s^2 2s^2$  (ou [He] $2s^2$  ...)

B:  $1s^2 2s^2 2p^1$

C:  $1s^2 2s^2 2p^2$  (os 2 e<sup>-</sup> 2p têm spins paralelos)

N:  $1s^2 2s^2 2p^3$  (os 3 e<sup>-</sup> 2p têm spins paralelos)

O:  $1s^2 2s^2 2p^4$  (dos 4 e<sup>-</sup> 2p, 3 têm spins paralelos)

F:  $1s^2 2s^2 2p^5$

Ne:  $1s^2 2s^2 2p^6$

Na:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$  (ou [Ne] $3s^1$  ...)

etc.

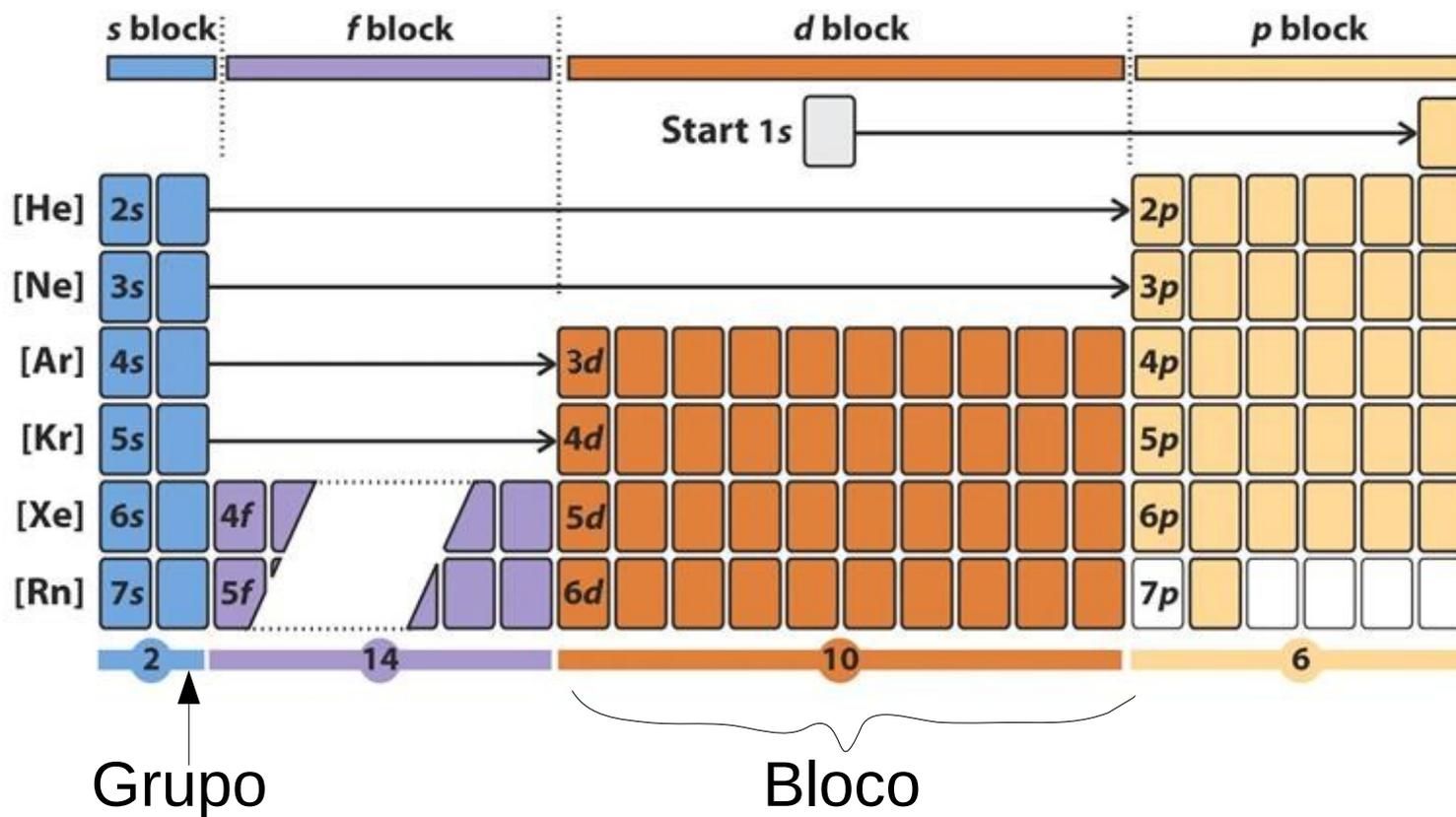
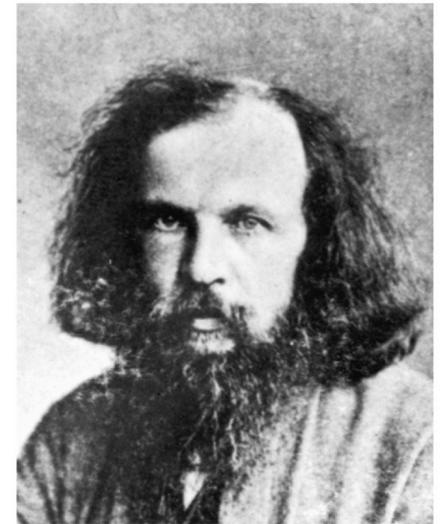
Os **números de elétrons** e "**buracos**" na **camada externa** (de **valência**) determinam as **propriedades químicas** do elemento.

# O Sistema periódico

Princípio da Construção (aumentando  $Z$ )

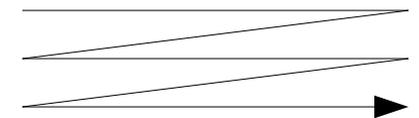
Continuando até o fim

=> A **tabela periódica** de **Dimitri Ivanovich Mendeleev** (1869)



← Período

$Z$  aumenta:



# O Sistema periódico

## O formato da tabela periódica

A forma moderna da tabela periódica reflete a **estrutura eletrônica** fundamental dos elementos.

O número do **período** (da linha horizontal) é o **número quântico principal** da camada de valência.

Elementos no **mesmo período** têm **números atômicos da mesma ordem**.

Os **blocos** da tabela periódica refletem a **identidade dos últimos orbitais** que são ocupados no processo de preenchimento.

O bloco *d* também é chamado metais - ou elementos de transição.

O bloco *f* contém os Lantanídeos e Actinídeos.

O número do **grupo** (coluna) está relacionado ao **número dos elétrons de valência**.

Elementos no **mesmo grupo** têm **propriedades químicas similares**, por terem o mesmo número de elétrons de valência ou de buracos na camada de valência (a última camada que contém elétrons).

# O Sistema periódico

Tabela periódica atual [www.iupac.org/reports/periodic\\_table/](http://www.iupac.org/reports/periodic_table/)

IUPAC Periodic Table of the Elements

1																	18
1 <b>H</b> hydrogen 1.007 94(7)																	2 <b>He</b> helium 4.002 602(2)
3 <b>Li</b> lithium 6.941(2)	4 <b>Be</b> beryllium 9.012 182(3)											5 <b>B</b> boron 10.811(7)	6 <b>C</b> carbon 12.0107(8)	7 <b>N</b> nitrogen 14.0067(2)	8 <b>O</b> oxygen 15.9994(3)	9 <b>F</b> fluorine 18.998 4032(5)	10 <b>Ne</b> neon 20.1797(6)
11 <b>Na</b> sodium 22.989 770(2)	12 <b>Mg</b> magnesium 24.3050(6)											13 <b>Al</b> aluminium 26.981 538(2)	14 <b>Si</b> silicon 28.0855(3)	15 <b>P</b> phosphorus 30.973 761(2)	16 <b>S</b> sulfur 32.065(5)	17 <b>Cl</b> chlorine 35.453(2)	18 <b>Ar</b> argon 39.948(1)
19 <b>K</b> potassium 39.0983(1)	20 <b>Ca</b> calcium 40.078(4)	21 <b>Sc</b> scandium 44.955 910(8)	22 <b>Ti</b> titanium 47.867(1)	23 <b>V</b> vanadium 50.9415(1)	24 <b>Cr</b> chromium 51.9961(6)	25 <b>Mn</b> manganese 54.938 049(5)	26 <b>Fe</b> iron 55.845(2)	27 <b>Co</b> cobalt 58.933 200(9)	28 <b>Ni</b> nickel 58.6934(2)	29 <b>Cu</b> copper 63.546(3)	30 <b>Zn</b> zinc 65.409(4)	31 <b>Ga</b> gallium 69.723(1)	32 <b>Ge</b> germanium 72.64(1)	33 <b>As</b> arsenic 74.921 60(2)	34 <b>Se</b> selenium 78.96(3)	35 <b>Br</b> bromine 79.904(1)	36 <b>Kr</b> krypton 83.798(2)
37 <b>Rb</b> rubidium 85.4678(3)	38 <b>Sr</b> strontium 87.62(1)	39 <b>Y</b> yttrium 88.905 85(2)	40 <b>Zr</b> zirconium 91.224(2)	41 <b>Nb</b> niobium 92.906 38(2)	42 <b>Mo</b> molybdenum 95.94(2)	43 <b>Tc</b> technetium [98]	44 <b>Ru</b> ruthenium 101.07(2)	45 <b>Rh</b> rhodium 102.905 50(2)	46 <b>Pd</b> palladium 106.42(1)	47 <b>Ag</b> silver 107.8682(2)	48 <b>Cd</b> cadmium 112.411(8)	49 <b>In</b> indium 114.818(3)	50 <b>Sn</b> tin 118.710(7)	51 <b>Sb</b> antimony 121.760(1)	52 <b>Te</b> tellurium 127.60(3)	53 <b>I</b> iodine 126.904 47(3)	54 <b>Xe</b> xenon 131.293(6)
55 <b>Cs</b> caesium 132.905 45(2)	56 <b>Ba</b> barium 137.327(7)	57-71 lanthanoids	72 <b>Hf</b> hafnium 178.49(2)	73 <b>Ta</b> tantalum 180.9479(1)	74 <b>W</b> tungsten 183.84(1)	75 <b>Re</b> rhenium 186.207(1)	76 <b>Os</b> osmium 190.23(3)	77 <b>Ir</b> iridium 192.217(3)	78 <b>Pt</b> platinum 195.078(2)	79 <b>Au</b> gold 196.966 55(2)	80 <b>Hg</b> mercury 200.59(2)	81 <b>Tl</b> thallium 204.3833(2)	82 <b>Pb</b> lead 207.2(1)	83 <b>Bi</b> bismuth 208.980 38(2)	84 <b>Po</b> polonium [209]	85 <b>At</b> astatine [210]	86 <b>Rn</b> radon [222]
87 <b>Fr</b> francium [223]	88 <b>Ra</b> radium [226]	89-103 actinoids	104 <b>Rf</b> rutherfordium [261]	105 <b>Db</b> dubnium [262]	106 <b>Sg</b> seaborgium [266]	107 <b>Bh</b> bohrium [264]	108 <b>Hs</b> hassium [277]	109 <b>Mt</b> meitnerium [268]	110 <b>Ds</b> darmstadtium [271]	111 <b>Rg</b> roentgenium [272]							
57 <b>La</b> lanthanum 138.9055(2)	58 <b>Ce</b> cerium 140.118(1)	59 <b>Pr</b> praseodymium 140.907 85(2)	60 <b>Nd</b> neodymium 144.24(3)	61 <b>Pm</b> promethium [145]	62 <b>Sm</b> samarium 150.36(3)	63 <b>Eu</b> europium 151.964(1)	64 <b>Gd</b> gadolinium 157.25(3)	65 <b>Tb</b> terbium 158.925 34(2)	66 <b>Dy</b> dysprosium 162.500(1)	67 <b>Ho</b> holmium 164.930 32(2)	68 <b>Er</b> erbium 167.259(3)	69 <b>Tm</b> thulium 168.934 21(2)	70 <b>Yb</b> ytterbium 173.04(3)	71 <b>Lu</b> lutetium 174.967(1)			
89 <b>Ac</b> actinium [227]	90 <b>Th</b> thorium 232.0381(1)	91 <b>Pa</b> protactinium 231.036 88(2)	92 <b>U</b> uranium 238.028 91(3)	93 <b>Np</b> neptunium [237]	94 <b>Pu</b> plutonium [244]	95 <b>Am</b> americium [243]	96 <b>Cm</b> curium [247]	97 <b>Bk</b> berkelium [247]	98 <b>Cf</b> californium [251]	99 <b>Es</b> einsteinium [252]	100 <b>Fm</b> fermium [257]	101 <b>Md</b> mendelevium [258]	102 <b>No</b> nobelium [259]	103 <b>Lr</b> lawrencium [262]			

Key:  
atomic number  
**Symbol**  
name  
standard atomic weight

Séries de  
Lantanídeos  
e Actinídeos

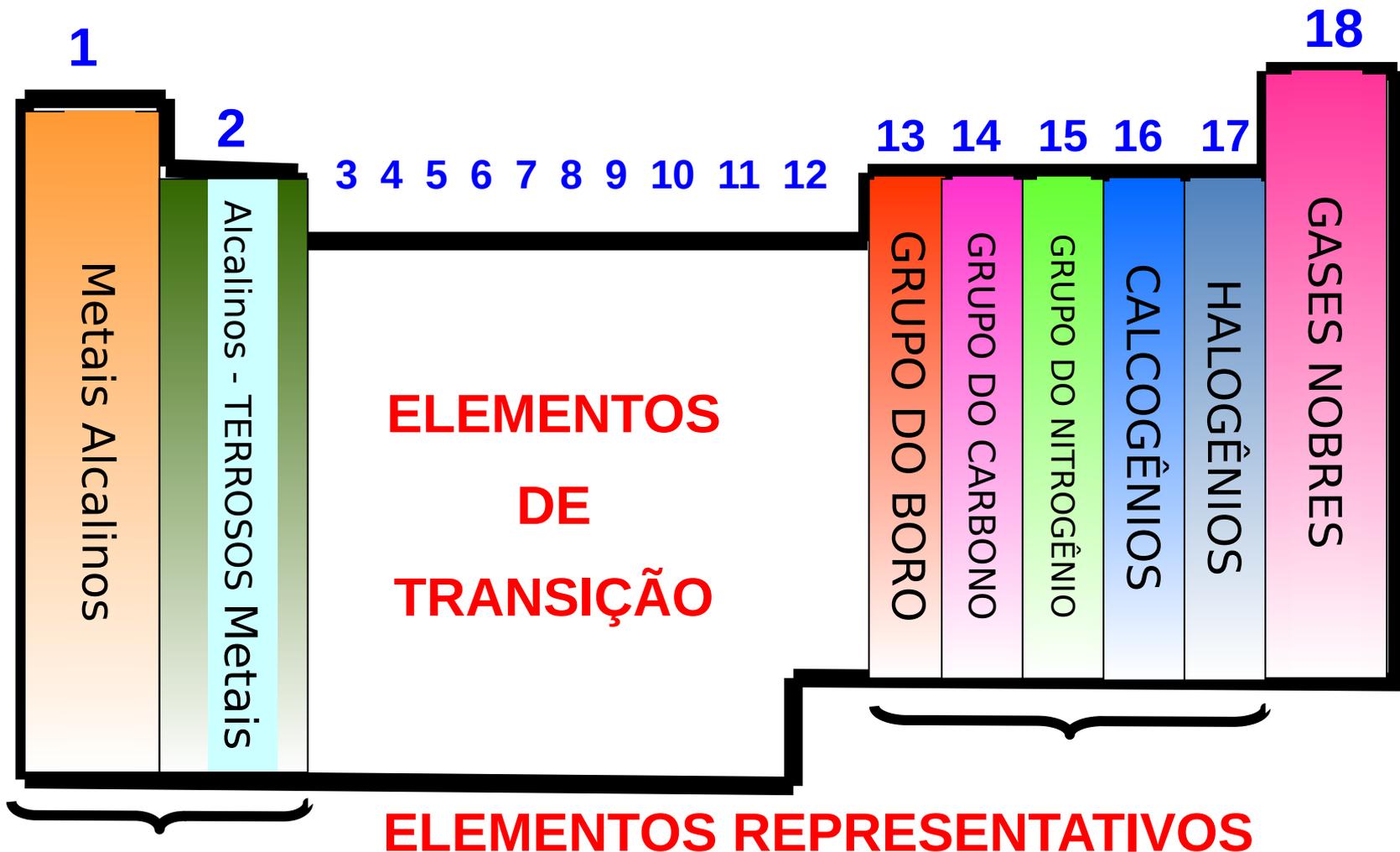
Notes

- "Aluminium" and "caesium" are commonly used alternative spellings for "aluminium" and "caesium."
- IUPAC 2001 standard atomic weights (mean relative atomic masses) are listed with uncertainties in the last figure in parentheses [R. D. Loss, *Pure Appl. Chem.* 75, 1107-1122 (2003)]. These values correspond to current best knowledge of the elements in natural terrestrial sources. For elements that have no stable or long-lived nuclides, the mass number of the nuclide with the longest confirmed half-life is listed between square brackets.
- Elements with atomic numbers 112, 113, 114, 115, and 116 have been reported but not fully authenticated.

# O Sistema periódico

Tabela periódica atual

Nomes e Números de diferentes Famílias ou Grupos



# O Sistema periódico

Tabela periódica atual

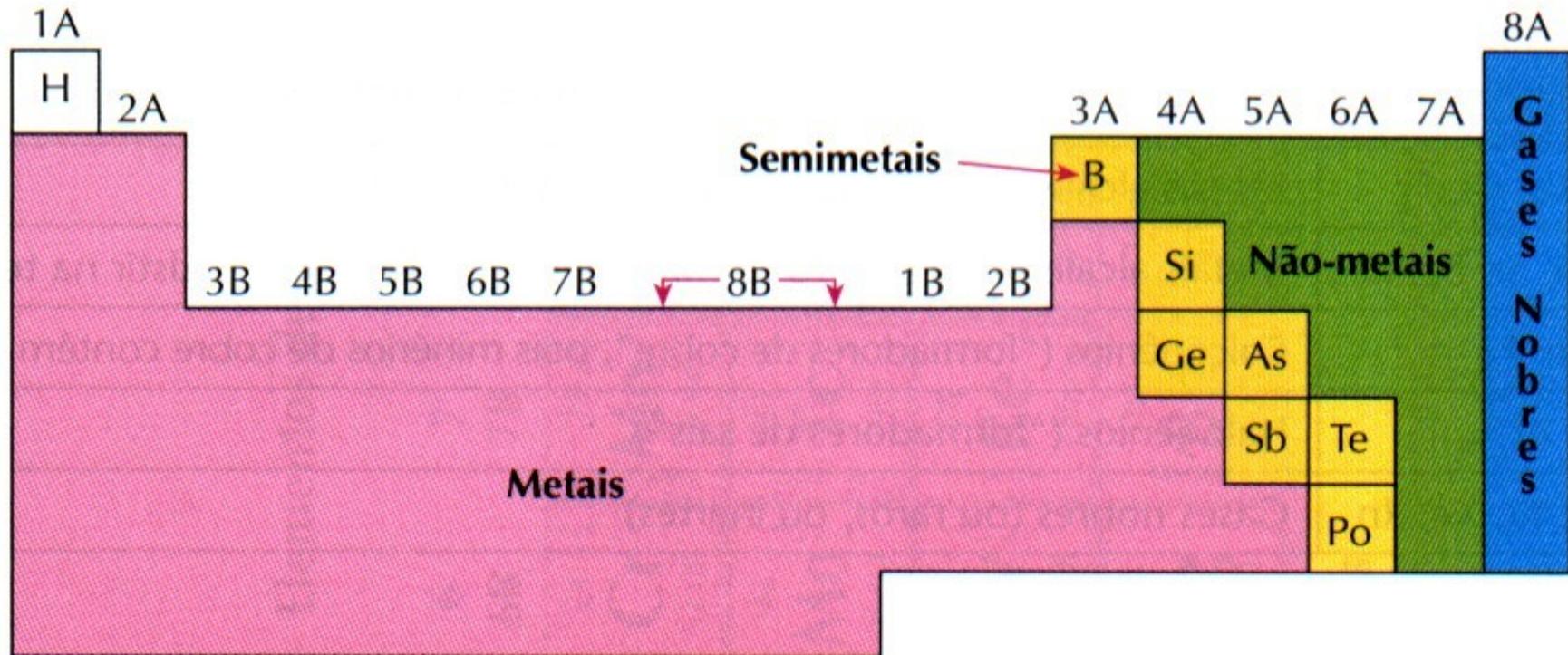
## Observações

O **hidrogênio** (H), embora apareça na coluna IA, **não** é um **metal alcalino** e algumas classificações preferem colocá-lo fora da Tabela.

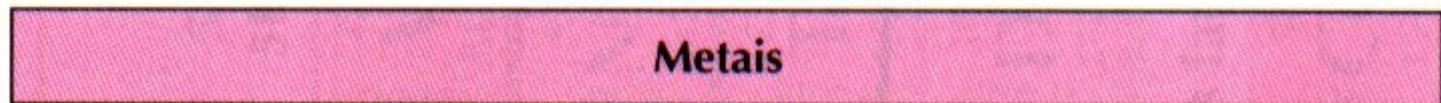
Todos os elementos situados **após** o **urânio** ( $Z = 92$ ) **não** existem na **natureza**, devendo, pois, serem preparados artificialmente. São denominados **elementos transurânicos** (além desses, são também artificiais os elementos tecnécio-43, promécio-61 e astato-85).

# O Sistema periódico

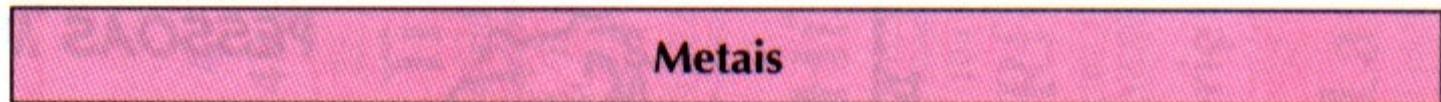
Uma outra maneira de sub-dividir a tabela periódica é por propriedades como **condutividade elétrica** e **térmica**, ...



Série dos lantanídeos



Série dos actinídeos



# O Sistema periódico

Aqui com nomes

Número Atômico → 1  
 100794 → Peso Atômico  
**H** → Símbolo Químico  
 Hidrogênio → Nome do Elemento

1A (1)	2A (2)											3A (13)	4A (14)	5A (15)	6A (16)	7A (17)	8A (18)												
1 100794 <b>H</b> Hidrogênio	2 4,002602 <b>He</b> Hélio											5 10,811 <b>B</b> Boro	6 12,0107 <b>C</b> Carbono	7 14,00674 <b>N</b> Nitrogênio	8 15,9994 <b>O</b> Oxigênio	9 18,99840 <b>F</b> Flúor	10 20,1797 <b>Ne</b> Neônio												
3 6,941 <b>Li</b> Lítio	4 9,012182 <b>Be</b> Berílio											13 26,98153 <b>Al</b> Alumínio	14 28,0855 <b>Si</b> Silício	15 30,9737 <b>P</b> Fósforo	16 32,006 <b>S</b> Enxofre	17 35,4527 <b>Cl</b> Cloro	18 39,948 <b>Ar</b> Argônio												
11 22,989770 <b>Na</b> Sódio	12 24,3050 <b>Mg</b> Magnésio	3B (3)	4B (4)	5B (5)	6B (6)	7B (7)	8B (8)	9B (9)	10B (10)	1B (11)	2B (12)	19 39,0983 <b>K</b> Potássio	20 40,078 <b>Ca</b> Cálcio	21 44,9559 <b>Sc</b> Escândio	22 47,867 <b>Ti</b> Titânio	23 50,9415 <b>V</b> Vanádio	24 51,9661 <b>Cr</b> Cromo	25 54,938 <b>Mn</b> Manganês	26 55,845 <b>Fe</b> Ferro	27 58,9332 <b>Co</b> Cobalto	28 58,6934 <b>Ni</b> Níquel	29 63,546 <b>Cu</b> Cobre	30 65,39 <b>Zn</b> Zinco	31 69,723 <b>Ga</b> Gálio	32 72,61 <b>Ge</b> Germânio	33 74,9216 <b>As</b> Arsênio	34 78,96 <b>Se</b> Selênio	35 79,904 <b>Br</b> Bromo	36 83,8 <b>Kr</b> Criptônio
37 85,4678 <b>Rb</b> Rubídio	38 87,62 <b>Sr</b> Estrôncio	39 88,905 <b>Y</b> Ítrio	40 91,224 <b>Zr</b> Zircônio	41 92,906 <b>Nb</b> Nióbio	42 95,94 <b>Mo</b> Molibdênio	43 96,049 <b>Tc</b> Tecnécio	44 101,07 <b>Ru</b> Rutênio	45 102,9055 <b>Rh</b> Ródio	46 106,42 <b>Pd</b> Paládio	47 107,8682 <b>Ag</b> Prata	48 112,411 <b>Cd</b> Cádmio	49 114,818 <b>In</b> Índio	50 118,71 <b>Sn</b> Estanho	51 121,75 <b>Sb</b> Antimônio	52 127,6 <b>Te</b> Telúrio	53 126,9044 <b>I</b> Iodo	54 131,29 <b>Xe</b> Xenônio												
55 132,90545 <b>Cs</b> Césio	56 137,327 <b>Ba</b> Bário	57 * <b>*</b>	72 178,49 <b>Hf</b> Háfnio	73 180,947 <b>Ta</b> Tântalo	74 183,84 <b>W</b> Tungstênio	75 186,207 <b>Re</b> Rênio	76 190,23 <b>Os</b> Ósmio	77 192,217 <b>Ir</b> Íridio	78 195,078 <b>Pt</b> Platina	79 196,966 <b>Au</b> Ouro	80 200,59 <b>Hg</b> Mercúrio	81 204,3833 <b>Tl</b> Tálio	82 207,2 <b>Pb</b> Chumbo	83 208,9803 <b>Bi</b> Bismuto	84 210 <b>Po</b> Polônio	85 210 <b>At</b> Astató	86 222 <b>Rn</b> Radônio												
87 223,0197 <b>Fr</b> Frâncio	88 226,02 <b>Ra</b> Rádio	89 * <b>**</b>	104 261,11 <b>Rf</b> Ruterfórdio	105 262,11 <b>Db</b> Dúbnio	106 263,11 <b>Sg</b> Seabórgio	107 262,12 <b>Bh</b> Bóhrio	108 269 <b>Hs</b> Hássio	109 268 <b>Mt</b> Meitnerénio	110 269 <b>Uun</b> Unúnio	111 272 <b>Uuu</b> Unúmbio	112 277 <b>Uub</b> Anúmbio																		

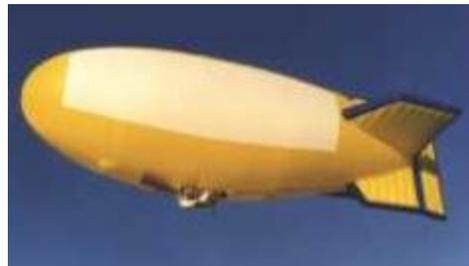
*	57 138,9055 <b>La</b> Lantânio	58 140,116 <b>Ce</b> Cério	59 140,9076 <b>Pr</b> Praseodímio	60 144,24 <b>Nd</b> Neodímio	61 145,7 <b>Pm</b> Promécio	62 150,36 <b>Sm</b> Samário	63 151,964 <b>Eu</b> Európio	64 157,25 <b>Gd</b> Gadolínio	65 158,9253 <b>Tb</b> Térbio	66 162,50 <b>Dy</b> Disprósio	67 164,9303 <b>Ho</b> Hólmio	68 167,26 <b>Er</b> Érbio	69 168,9342 <b>Tm</b> Túlio	70 173,04 <b>Yb</b> Intérbio	71 174,967 <b>Lu</b> Lutécio
**	89 227 <b>Ac</b> Actínio	90 232,0381 <b>Th</b> Tório	91 231,0358 <b>Pa</b> Protactínio	92 238,0289 <b>U</b> Urânio	93 237 <b>Np</b> Netúnio	94 244 <b>Pu</b> Plutônio	95 243 <b>Am</b> Américio	96 247 <b>Cm</b> Cúrio	97 247 <b>Bk</b> Berquélío	98 251 <b>Cf</b> Califórnio	99 252 <b>Es</b> Einstênio	100 257 <b>Fm</b> Férmio	101 258 <b>Md</b> Mendelévio	102 259 <b>No</b> Nobélio	103 262 <b>Lr</b> Laurêncio

■ Hidrogênio    
 ■ Metais    
 ■ Semi-metais    
 ■ Não-metais    
 ■ Gases nobres

# O Sistema periódico

## Hidrogênio

Apresenta **propriedades** muito **particulares** e muito diferentes em relação aos outros elementos. Tem apenas 1 elétron na camada K (sua única camada).

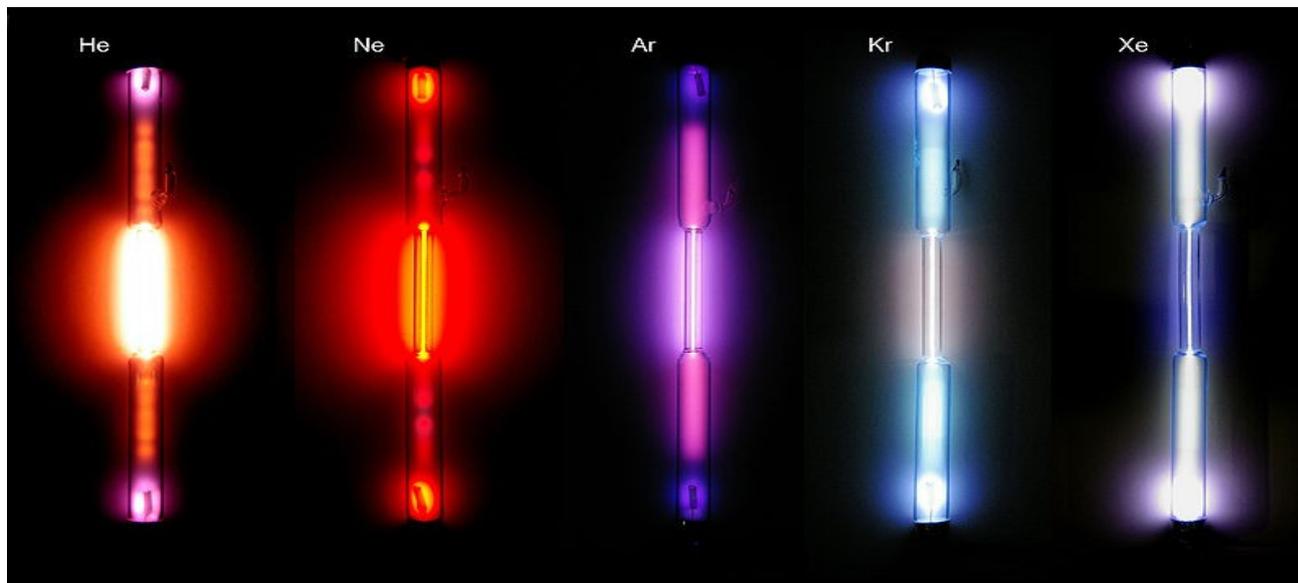


# O Sistema periódico

## Gases Nobres

Elementos químicos que **difficilmente** se **combinam** com outros elementos por terem a **última camada** eletrônica **completa**

- hélio, neônio, argônio, criptônio, xenônio e radônio.



# O Sistema periódico

## Metais

- Elementos com **poucos elétrons** na última camada, chamada **camada de valência**, que são fáceis de tirar  
=> Formam geralmente **cátions**, e
- São bons **condutores** de **calor** e **eletricidade**
- Sob temperatura ambiente, apresentam-se no estado sólido, a única exceção é o mercúrio, um metal líquido
- São **resistentes**, **maleáveis** e **dúcteis**
- Apresentam brilho quando polidos



# O Sistema periódico

## Ametais ou Não-metais

- Elementos com **poucos elétrons faltando** na **camada de valência**, que então é fácil de completar  
=> Formam geralmente **ânions**, e
- **Não conduzem** bem o calor a eletricidade, com exceção do carbono sob a forma de grafite
- Existem nos estados sólidos (iodo, enxofre, fósforo, carbono) e gasoso (nitrogênio, oxigênio, flúor);  
A exceção é o bromo, um não-metal líquido
- Não são maleáveis\* e nem dúcteis\*\*
- Não apresentam brilho, são exceções o iodo e o carbono sob a forma de diamante

\*Maleabilidade: capacidade de ser transformado em lâminas

\*\*Ductibilidade: capacidade de ser estirado em fios

# O Sistema periódico

## Metais vs. Não-metais

### CARACTERÍSTICAS DOS METAIS E NÃO-METAIS

#### Metais

##### Propriedades Físicas

Bons condutores de eletricidade

Maleáveis

Dúcteis

Lustrosos

Tipicamente:

Sólido

Alto ponto de fusão

Bons condutores de calor

##### Propriedades Químicas

Reagem com ácidos

Formam óxidos básicos

Formam cátions

Formam halogenetos iônicos

#### Não-Metais

Maus condutores de eletricidade

Não Maleáveis

Não Dúcteis

Não Lustrosos

Tipicamente:

Sólido, líquido ou gás

Baixos pontos de fusão

Maus condutores de calor

Não reagem com ácidos

Formam óxidos ácidos

Formam ânions

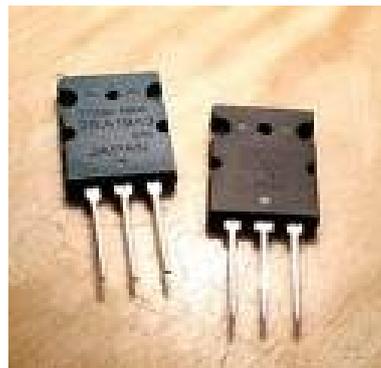
Formam halogenetos covalentes

# O Sistema periódico

## Semimetais ou Metalóides

Semimetais são elementos com **propriedades intermediárias** entre os **metais** e os **não-metais**.

Em geral, o semimetal, é **sólido, quebradiço** e brilhante. Funciona como **isolante elétrico** a **temperatura ambiente**, mas torna-se igual aos metais como **condutor elétrico**, se **aquecido**, ou quando se **inserem** certos **elementos** nos interstícios de sua estrutura cristalina.



# O Sistema periódico

## Propriedades Periódicas

São aquelas que, à medida que o **número atômico aumenta**, assumem valores crescentes ou decrescentes em cada período, ou seja, **repetem-se periodicamente**:

- Raio Atômica
- Energia de (primeira) Ionização
- Afinidade Eletrônica
- Eletronegatividade
- Eletropositividade
- Reatividade
- Densidade
- Temperaturas de Fusão e Ebulição
- e outras

# O Sistema periódico

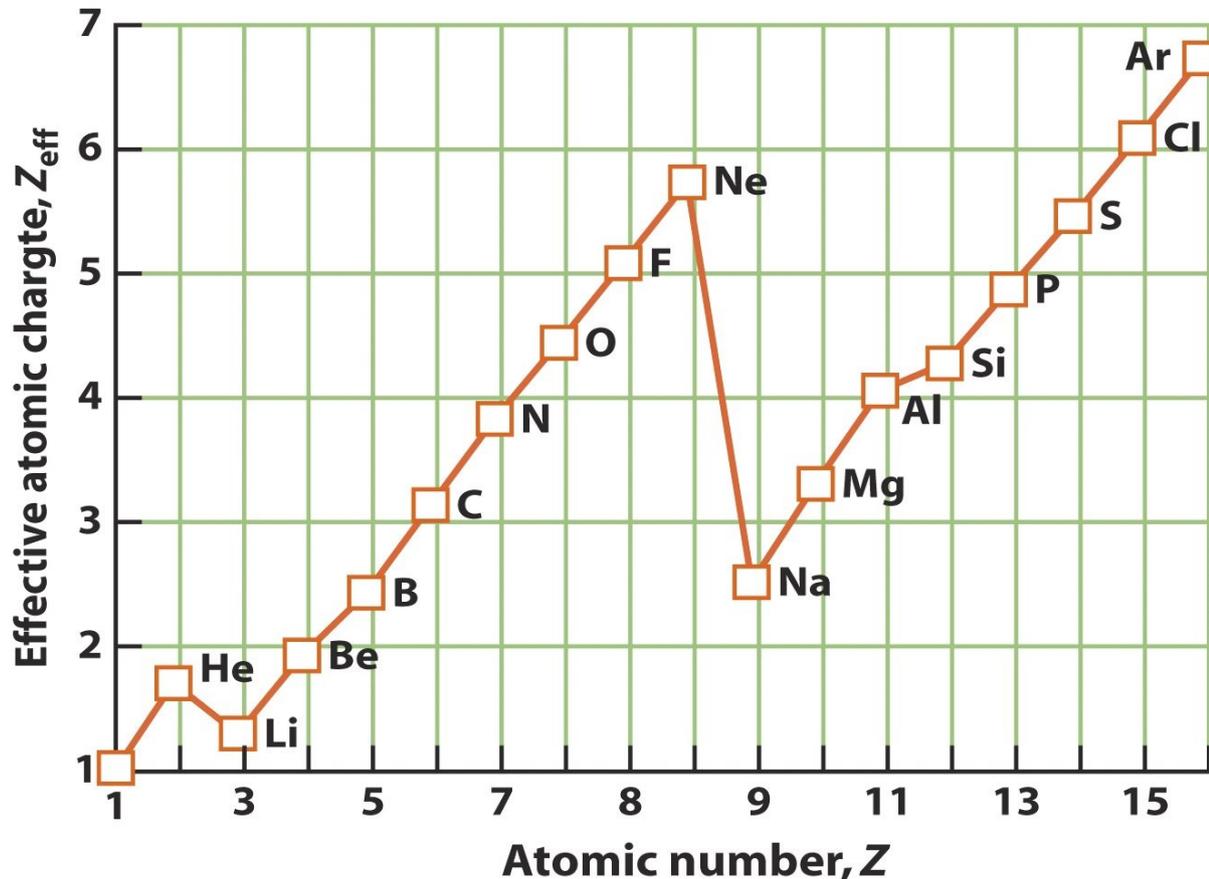
## Propriedades Periódicas

Em geral, para entender vários destes periodicidades, temos que levar em conta dois fatores:

- O Número de níveis (camadas): Não muda dentro de um período, aumenta de um período pro próximo
- A Carga Nuclear Efetiva  $Z^*$  ou  $Z_{ef}$ : Carga do núcleo “sentido” pelos elétrons da última camada. Corresponde ao número de prótons do núcleo (o número atômica), reduzido pelo efeito de blindagem pelos demais elétrons. Aumenta dentro de um período, diminui de um período pro próximo

# O Sistema periódico

A Carga Nuclear Efetiva **aumenta dentro** de um período, **diminui** de um período pro próximo



# O Sistema periódico

A Carga Nuclear Efetiva **aumenta dentro** de um **período**, **diminui** de um período pro **próximo**

Z	3	4	5	6	7	8	9	10
1s	2.69	3.68	4.68	5.67	6.66	7.66	8.65	9.64
2s	1.28	1.91	2.58	3.22	3.85	4.49	5.13	5.76
2p			2.42	3.14	3.83	4.45	5.10	5.76

	<b>Na</b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cl</b>	<b>Ar</b>
Z	11	12	13	14	15	16	17	18
1s	10.63	11.61	12.59	13.57	14.56	15.54	16.52	17.51
2s	6.57	7.39	8.21	9.02	9.82	10.63	11.43	12.23
2p	6.80	7.83	8.96	9.94	10.96	11.98	12.99	14.01
3s	2.51	3.31	4.12	4.90	5.64	6.37	7.07	7.76
3p			4.07	4.29	4.89	5.48	6.12	6.76

---

Source: E. Clementi and D. L. Raimondi, *Atomic screening constants from SCF functions*, IBM Research Note NJ-27, 1963

# O Sistema periódico

Raio Atômico em função do Número Atômico  $Z$

a distância mais provável entre o núcleo e o elétron mais externo

$Z$  aumenta

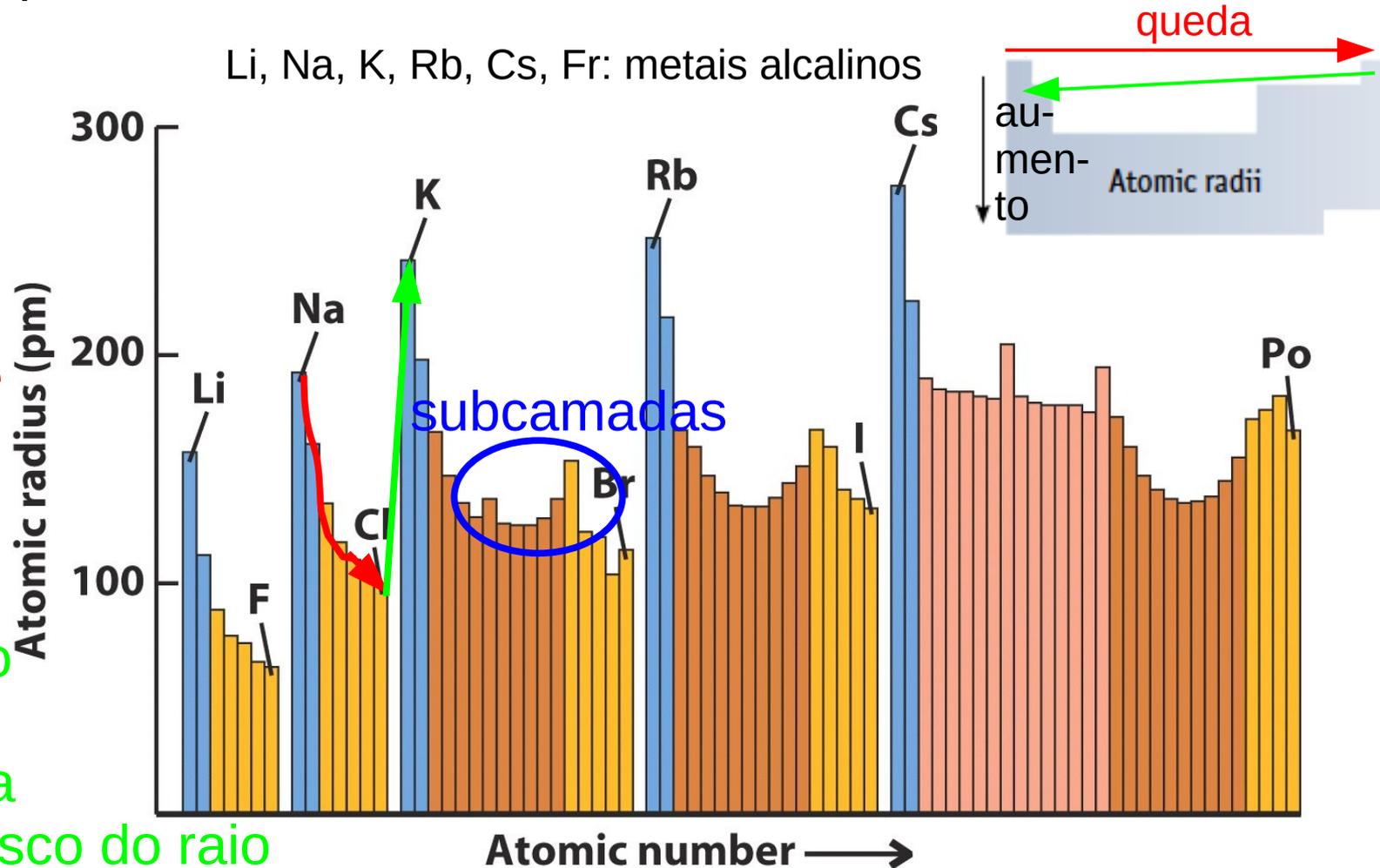
=> carga do núcleo aumenta

=> Os elétrons são atraídos mais fortemente

=> raio diminui

Quando uma camada está cheia, o próximo elétron vai pra próxima camada

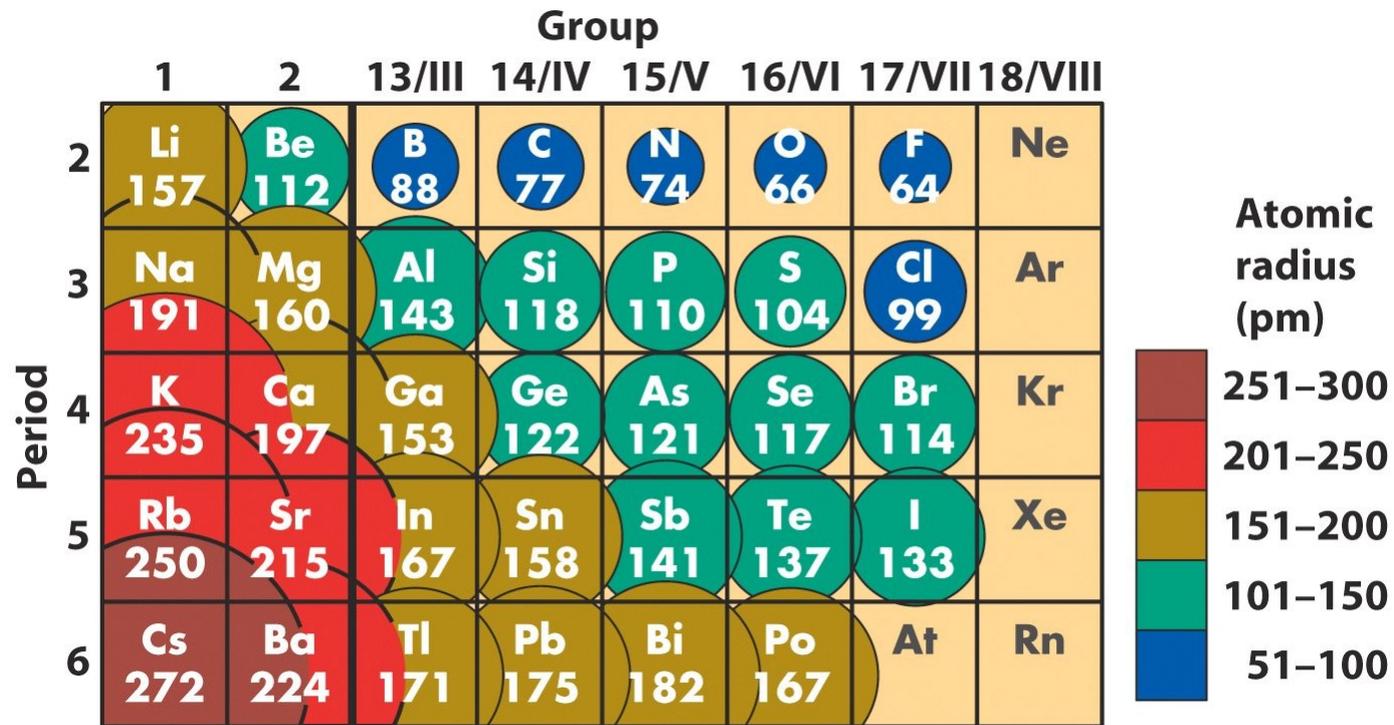
=> aumento brusco do raio



As subestruturas surgem devido às subcamadas.

# O Sistema periódico

## Raio Atômico





# O Sistema periódico

## Raio Iônico

**Cátions** são **menores** que os correspondentes **átomos neutros**, por terem seus elétrons de valência removidos.

**Ânions** são **maiores** que os correspondentes **átomos neutros**, por terem elétrons adicionais.

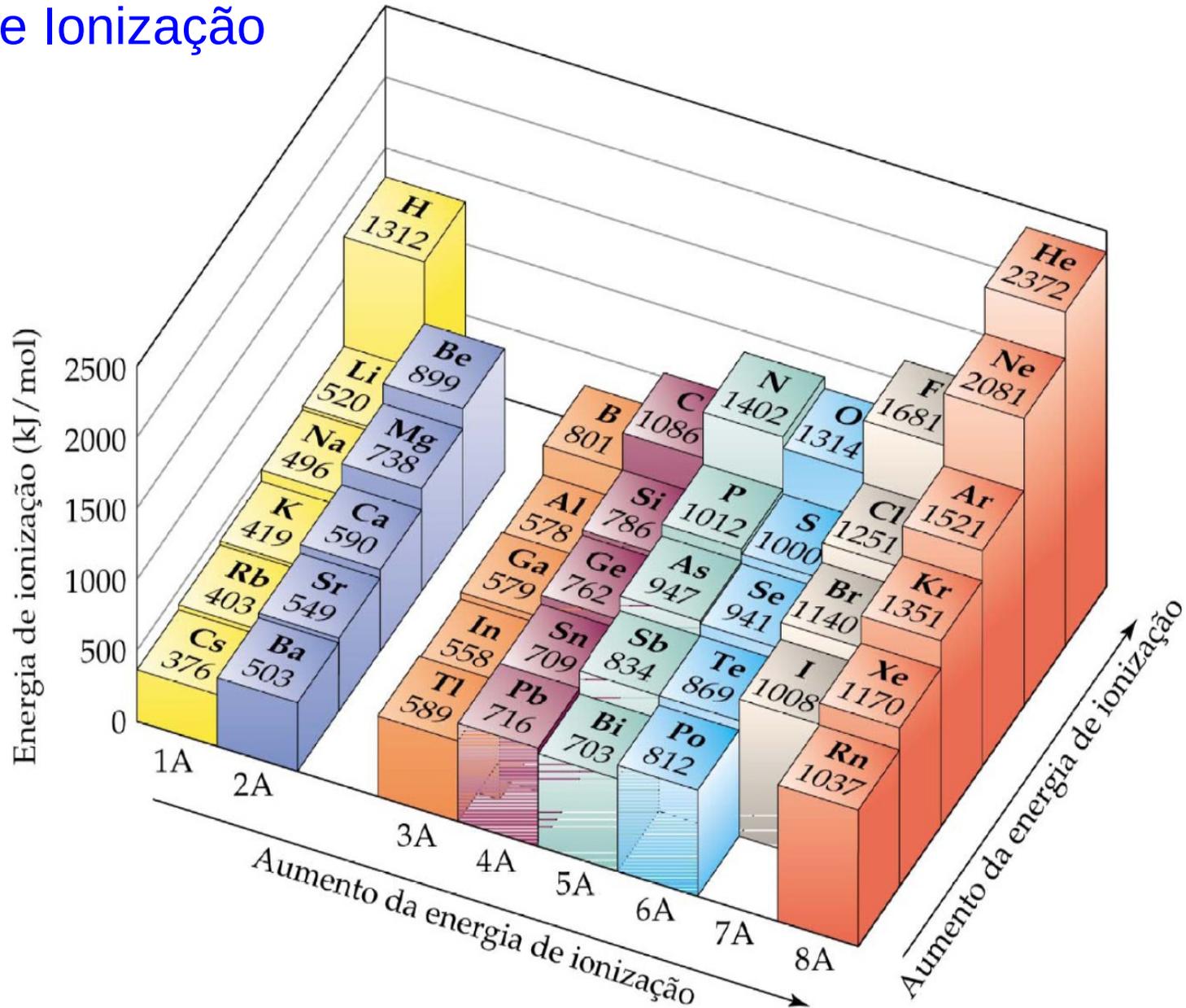
### Atomic/Ionic Radii

1A	2A	3A	5A	6A	7A
 Li 1.52	 Li <sup>+</sup> 0.60	 Be 1.11	 Be <sup>2+</sup> 0.31	 N 0.70	 F 0.64
 Na 1.86	 Na <sup>+</sup> 0.95	 Mg 1.60	 Mg <sup>2+</sup> 0.65	 N <sup>3-</sup> 1.71	 F <sup>-</sup> 1.36
 K 2.31	 K <sup>+</sup> 1.33	 Al 1.43	 Al <sup>3+</sup> 0.50	 S 1.04	 Cl 0.99
 Rb 2.44	 Rb <sup>+</sup> 1.48	 Ga 1.22	 Ga <sup>3+</sup> 0.62	 Se 1.17	 Br 1.14
	 Sr 2.15	 In 1.62	 In <sup>3+</sup> 0.81	 S <sup>2-</sup> 1.84	 Cl <sup>-</sup> 1.81
	 Sr <sup>2+</sup> 1.13			 Se <sup>2-</sup> 1.98	 Br <sup>-</sup> 1.85
				 Te 1.37	 I 1.33
				 Te <sup>2-</sup> 2.21	 I <sup>-</sup> 2.16



# O Sistema periódico

## Energia de Ionização



# O Sistema periódico

## Energia de Ionização

TABELA 7.2 Valores das energias de ionização sucessivas,  $I$ , para os elementos do sódio até o argônio (kJ/mol)

Elemento	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$	$I_7$
Na	496	4.560	elétrons dos níveis mais internos				
Mg	738	1.450	7.730				
Al	578	1.820	2.750	11.600			
Si	786	1.580	3.230	4.360	16.100		
P	1.012	1.900	2.910	4.960	6.270	22.200	
S	1.000	2.250	3.360	4.560	7.010	8.500	27.100
Cl	1.251	2.300	3.820	5.160	6.540	9.460	11.000
Ar	1.521	2.670	3.930	5.770	7.240	8.780	12.000

# O Sistema periódico

Afinidade Eletrônica em função do Número Atômico  $Z$   
uma medida da energia liberada quando um átomo captura um elétron em fase gasosa

$Z$  aumenta  
 $\Rightarrow$  carga do núcleo aumenta  
 $\Rightarrow$  Elétron "de fora" são atraídos mais fortemente  
 $\Rightarrow E_{ea}$  aumenta

Quando uma camada está cheia, fica difícil receber um  $e^-$  extra  
 $\Rightarrow$  Queda brusca de  $E_{ea}$

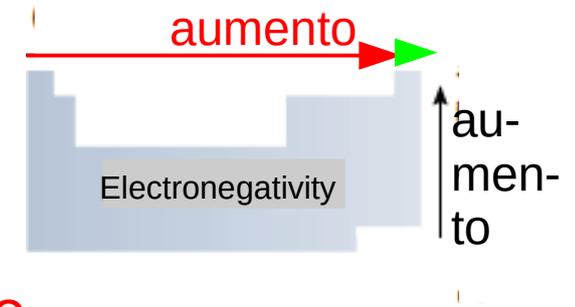
(para um valor negativo, isto é, receber mais um  $e^-$  custa energia)  
As subestruturas surgem devido às subcamadas.



# O Sistema periódico

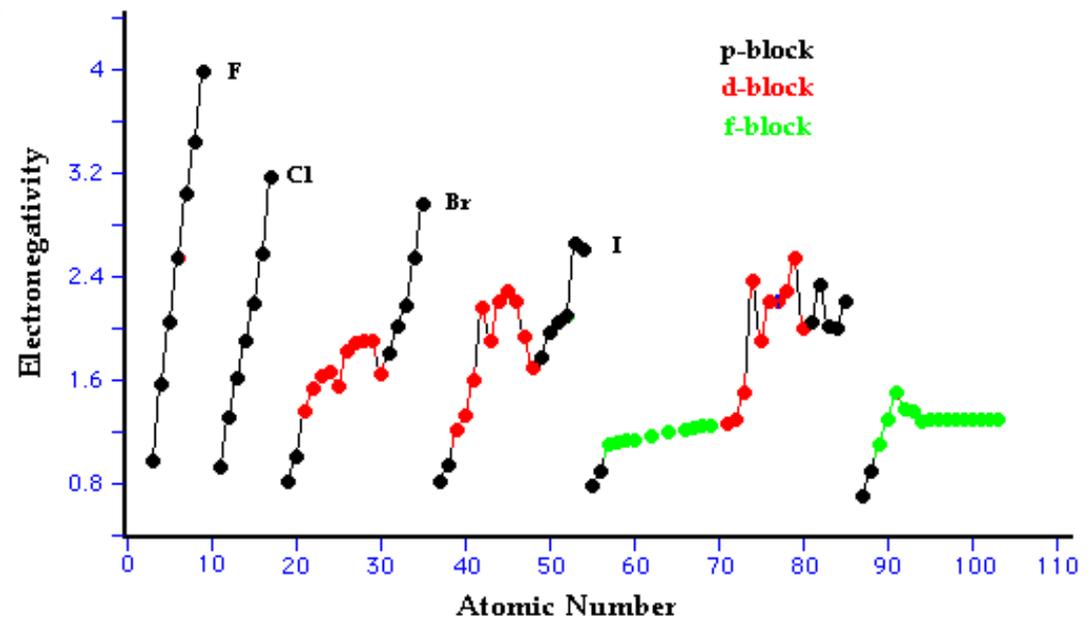
## Eletronegatividade

A **capacidade** de um átomo (elemento) para **atrair elétrons** dentro de uma **ligação química**:  
Numa ligação química, os e<sup>-</sup> da ligação ficam **mais perto** do átomo com **maior eletronegatividade**.



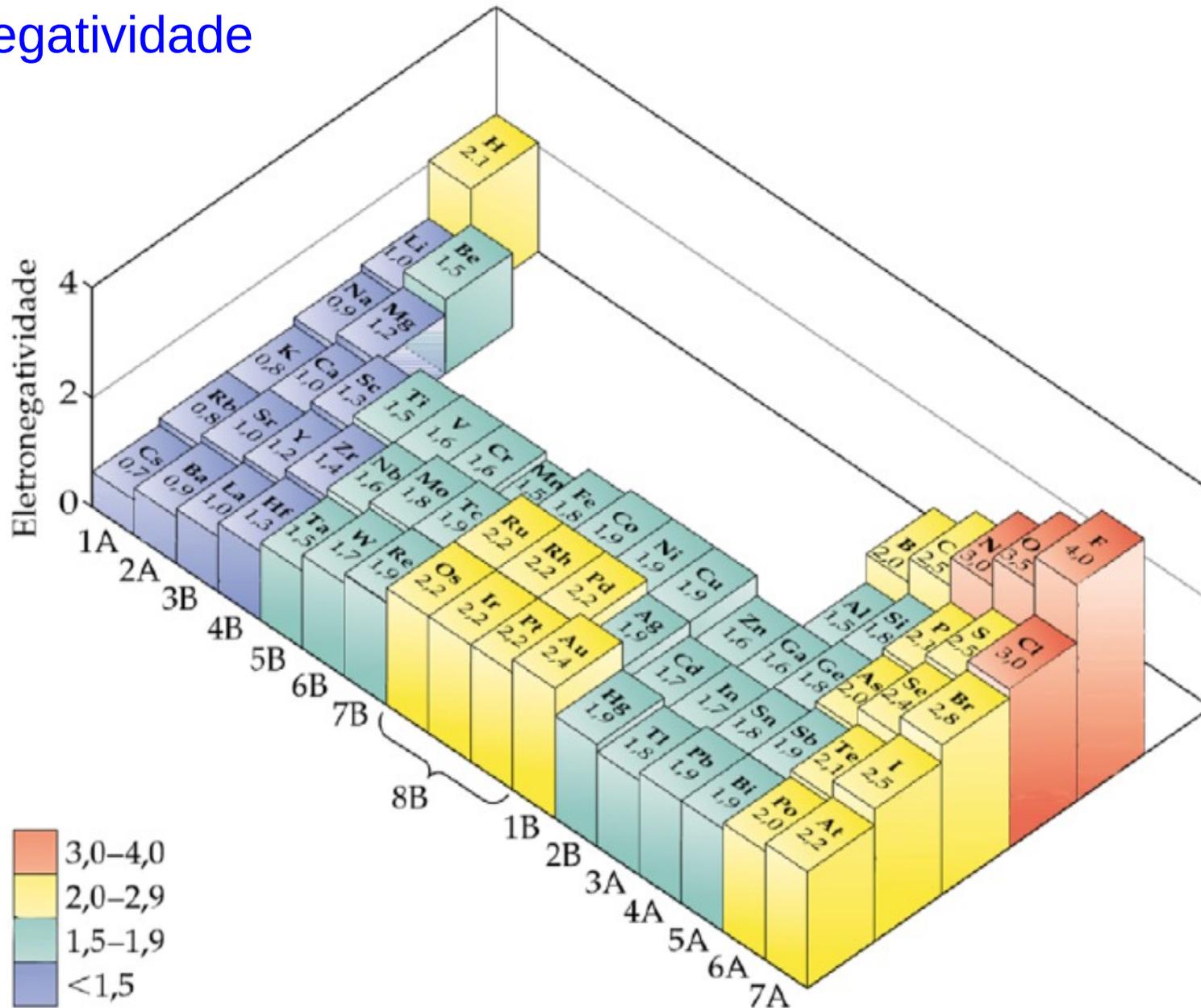
Mostra as **mesmas tendências** que a **energia de ionização** e a **afinidade eletrônica**.

Mais sobre esta grandeza na próxima aula e na disciplina Interações Atômicas e Moleculares (IAM).



# O Sistema periódico

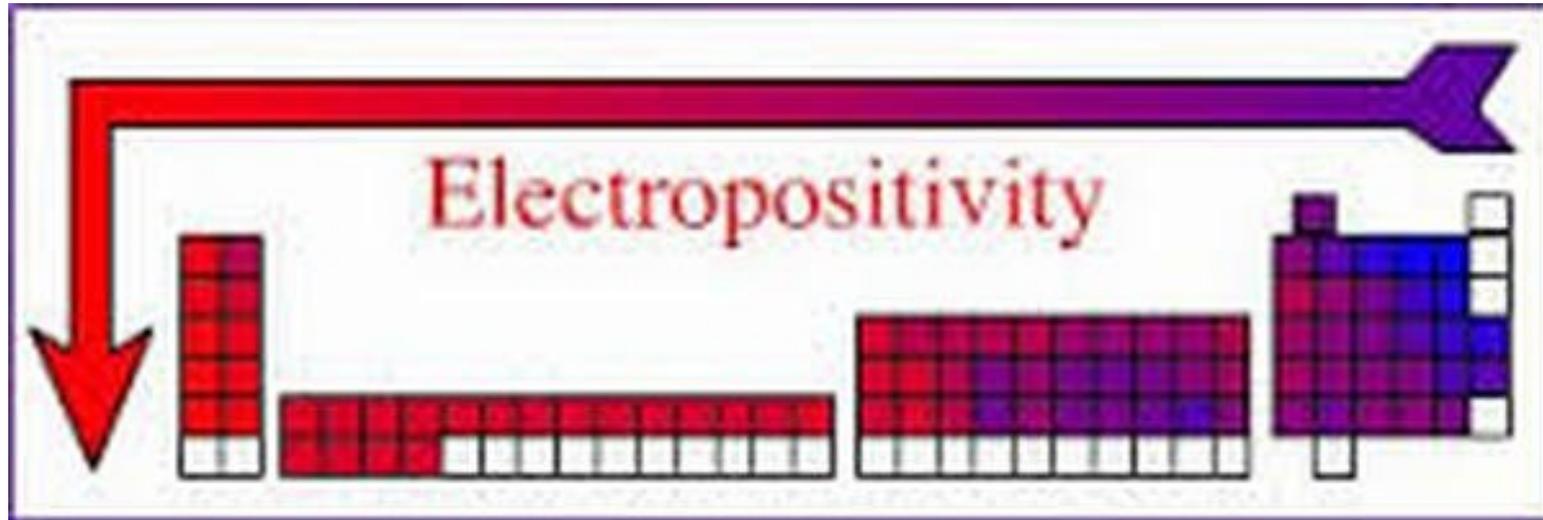
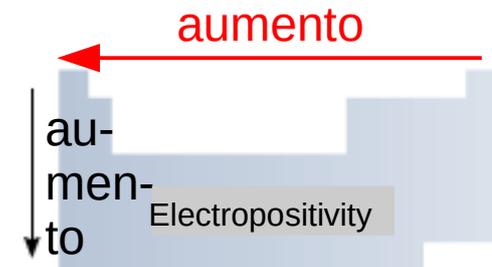
Eletronegatividade



# O Sistema periódico

## Eletropositividade ou Caráter Metálico

É a **capacidade** de um átomo (elemento) (na maioria metais) para **doar elétrons**.



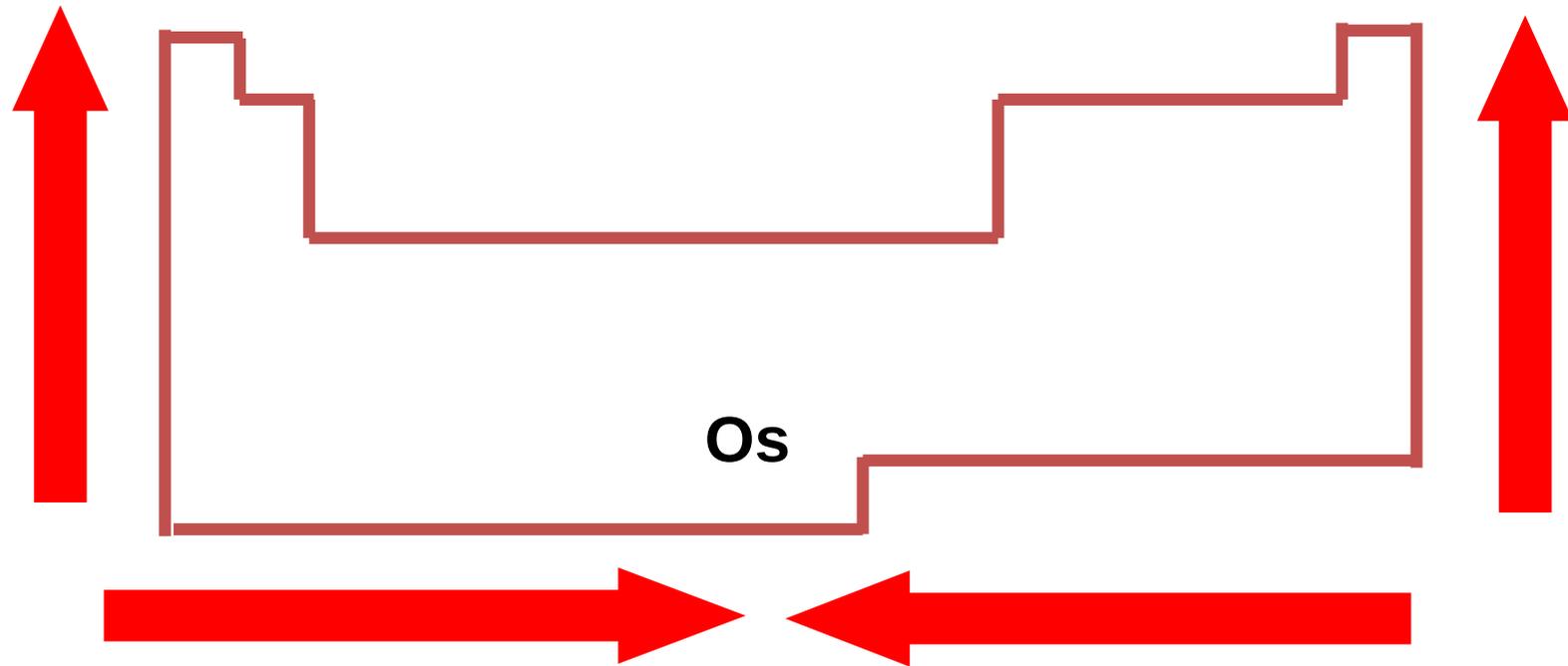
Em geral, elementos com alta eletronegatividade têm baixa eletropositividade, e vice-versa (parece lógico, não?).

# O Sistema periódico

## Densidade

É a **razão** entre **massa** e **volume** de uma amostra:  $\rho = M/V$

Aumenta na direção das flechas



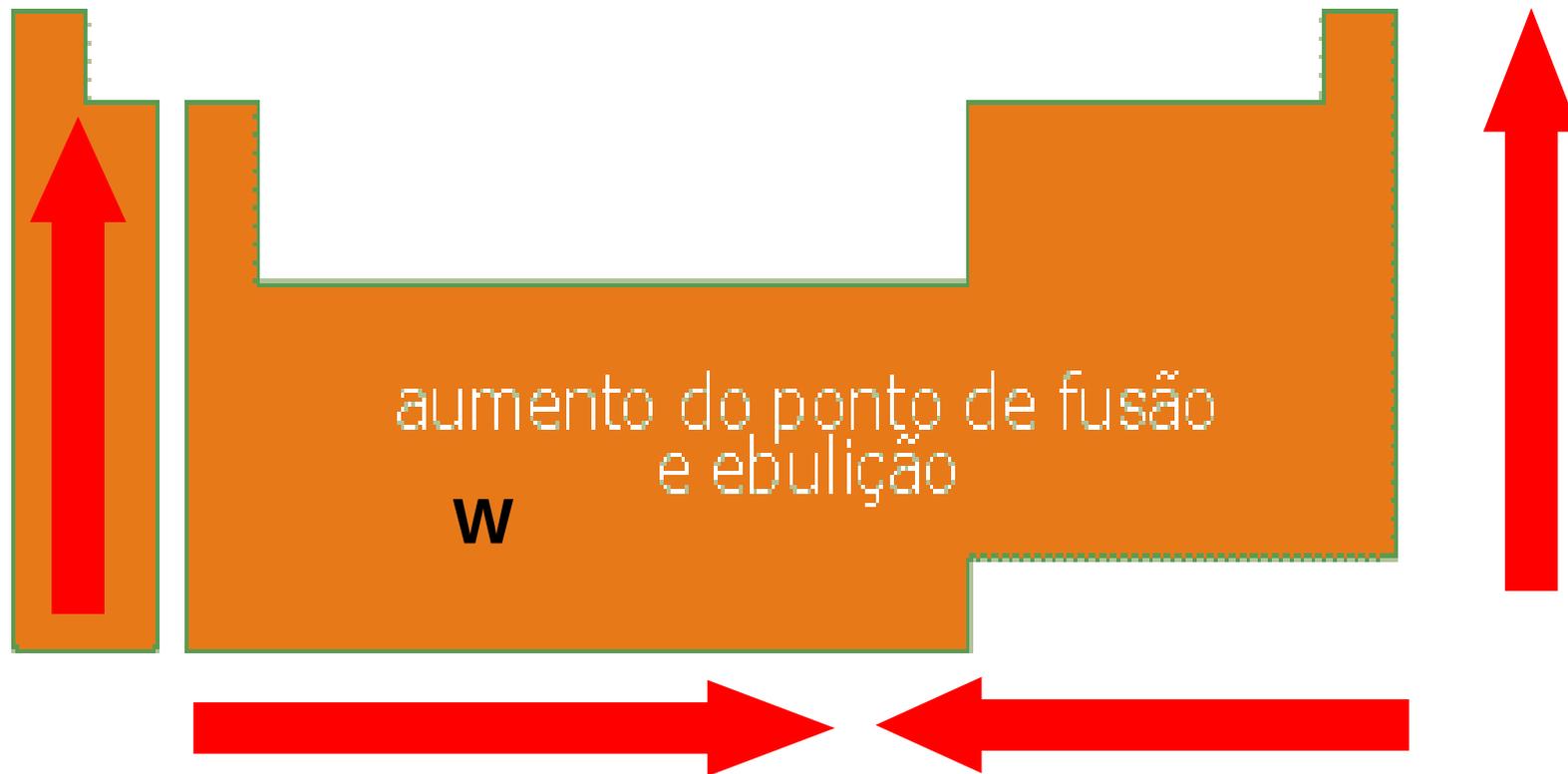
Ósmio (Os) é o elemento mais denso ( $22,5 \text{ g cm}^{-3}$ )

# O Sistema periódico

Temperatura de Fusão ( $T_F$ ) e Temperatura de Ebulição ( $T_E$ )

$T_F$ : temperatura na qual uma substância **passa** do estado **sólido** para o estado **líquido**

$T_E$ : temperatura na qual uma substância **passa** do estado **líquido** para o estado **gasoso**



O tungstênio (W) apresenta  $T_F = 3410 \text{ }^\circ\text{C}$

# O Sistema periódico

## Propriedades Aperiódicas

### Massa Atômica

É a unidade usada para pesar átomos e moléculas, equivale a 1/12 da massa de um átomo isótopo do carbono-12 ( $^{12}\text{C}$ ).

Sempre **umenta** com o **aumento** do **número atômico**.

### Calor Específico

É a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1 g do elemento por 1°C.

O calor específico do elemento no estado sólido sempre **diminui** com o **aumento** do **número atômico**.

# O Sistema periódico

1	2											13	14	15	16	17	18		
1 H Hidrogênio 1,01 g	3 Li Lítio 6,941 s	4 Be Berílio 9,01 s	<ul style="list-style-type: none"> <li>Metais alcalinos</li> <li>Metais alcalino-terrosos</li> <li>Metais de transição</li> <li>Lantanídeos</li> <li>Actinídeos</li> <li>Metais representativos</li> <li>Semi metais</li> <li>Não metais</li> <li>Halogénios</li> <li>Gases nobres</li> </ul>										5 B Boro 10,81 s	6 C Carbono 12,01 s	7 N Nitrogênio 14,01 g	8 O Oxigênio 16,00 s	9 F Fluor 19,00 g	10 Ne Neônio 20,18 g	
11 Na Hidrogênio 22,99 s	12 Mg Magnésio 24,31 s	19 K Potássio 39,10 s	20 Ca Cálcio 39,10 s	21 Sc Escândio 44,96 s	22 Ti Titânio 47,87 s	23 V Vanádio 50,94 s	24 Cr Cromo 52,00 s	25 Mn Manganês 54,94 s	26 Fe Ferro 55,85 s	27 Co Cobalto 58,93 s	28 Ni Níquel 58,69 s	29 Cu Cobre 63,55 s	30 Zn Zinco 65,38 s	31 Ga Gálio 69,723 s	32 Ge Germânio 72,63 s	33 As Arsênio 74,92 s	34 Se Selênio 78,96 s	35 Br Bromo 79,904 g	36 Kr Cripton 83,80 g
37 Rb Rubídio 85,47 s	38 Rb Estrôncio 87,62 s	39 Y Ítrio 88,91 s	40 Zr Zircônio 91,22 s	41 Nb Nióbio 92,91 s	42 Mo Molibdênio 95,96 s	43 Tc Técnicio (98) d	44 Ru Rúdio 101,07 s	45 Rh Ródio 102,91 s	46 Pd Paládio 106,42 s	47 Ag Prata 107,87 s	48 Cd Cádmio 112,41 s	49 In Índio 114,82 s	50 Sn Estanho 118,71 s	51 Sb Antimônio 121,76 s	52 Te Telúrio 127,6 s	53 I Iodo 126,90 g	54 Xe Xenônio 131,30 g		
55 Cs Césio 132,91 s	56 Ba Bário 137,33 s	57-71 * Lantanídeos	72 Hf Háfnio 72 178,49 s	73 Ta Tântalo 180,95 s	74 W Tungstênio 183,84 s	75 Re Rênio 186,21 s	76 Os Osmio 190,23 s	77 Ir Írídio 192,22 s	78 Pt Platina 195,08 s	79 Au Ouro 196,97 s	80 Hg Mercúrio 200,59 l	81 Tl Tálio 204,38 s	82 Pb Chumbo 207,2 s	83 Bi Bismuto 208,98 s	84 Po Polônio (209) s	85 At Astato (210) s	86 Rn Radônio (222) g		
87 Fr Frâncio 223 s	88 Ra Rádio 226 s	89-103 ** Actinídeos	104 Rf Rutherfordório (267) d	105 Db Dubnio (268) d	106 Sg Seabúrgio (271) d	107 Bh Bório (272) d	108 Hs Hássio (270) d	109 Mt Meitnério (276) d	110 Ds Darmstádio (281) d	111 Rg Roentgênio (280) d	112 Cn Copernício (285) d	113 Uut Ununtrio (284) d	114 Fl Florêncio (289) d	115 Uup Ununpêntio (288) d	116 Lv Livermório (293) d	117 Uus Ununseptio (294) d	118 Uuo Ununoctio (294) d		

1	Número atômico
H	Símbolo
Hidrogênio	Nome do elemento
1,01	Massa atômica relativa
s	Estado físico

- s Sólido
- l Líquido
- g Gasoso
- d Desconhecido

57 La Lantânio 138,91 s	58 Ce Cério 140,12 s	59 Pr Praseodímio 140,90 s	60 Nd Néodímio 144,24 s	61 Pm Promécio (145) d	62 Sm Samário 150,36 s	63 Eu Európio 151,97 s	64 Gd Gadolínio 157,25 s	65 Tb Térbio 158,93 s	66 Dy Dísprósio 162,5 s	67 Ho Hólmio 164,93 s	68 Er Érbio 167,259 s	69 Tm Tulio 168,93 s	70 Yb Ítrio 173,05 s	71 Lu Lúcio 174,97 s
89 Ac Actínio (227) s	90 Th Tório 232,04 s	91 Pa Protactínio 231,01 s	92 U Urânio 238,01 s	93 Np Neptúmio (237) s	94 Pu Plutônio (244) d	95 Am Americó (243) d	96 Cm Cúrio (247) d	97 Bk Bérbio (247) d	98 Cf Califórnio (251) d	99 Es Einsteinio (257) d	100 Fm Férmio (257) d	101 Md Mendelevio (258) d	102 No Nobelio (259) d	103 Lr Lawrêncio (262) d



# Os Elementos

## Elemento Químico

Conjunto de **átomos** que possuem **mesmo número** de **prótons** em seu **núcleo**, ou seja, o mesmo **número atômico** ( $Z$ ). A **carga elétrica** do **núcleo** é  $+Ze$ .

Cada **elemento** tem seu siglo ou **símbolo**, por exemplo:

$Z = 1$ : Hidrogênio (o núcleo de um átomo de hidrogênio possui 1 próton), símbolo H

$Z = 2$ : Hélio (o núcleo de um átomo de hélio possui 2 prótons), símbolo He

etc.

Dessa forma, o **número atômico** é **característico** de cada **elemento químico**, sendo como seu número de identificação.

Um **átomo neutro** do elemento com **número atômico**  $Z$  contém também  $Z$  **elétrons**, tal que sua carga elétrica total é  $+Ze + Z(-e) = 0$ .

# Os Elementos

## Representação de um Elemento Químico

${}^A_ZX$  ou  ${}^AX$  (às vezes  ${}_ZX^A$ , mas isto pode causar confusão com o número de carga => próximo slide)  
ou  $X-A$

De acordo com a IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada), devemos indicar o **símbolo** do **elemento** químico,  $X$ , e junto a ele, o **número de massa**,  $A$ , que é o número total de **núcleons** (prótons e nêutrons). Colocar o **número atômico**  $Z$  é opcional, já que o  $Z$  já é dado pelo símbolo do elemento. Obviamente, o número de nêutrons é  $N = A - Z$ .

## Exemplos



Elemento	A	Z	N	no. p <sup>+</sup>	no. e <sup>-</sup>
Carbono (C)	12	6	6	6	6
Ferro (Fe)	56	26	30	26	26
Cloro (Cl)	35	17	18	17	17

# Os Elementos

## Íons

Átomos que possuem **números diferentes** de **prótons** e **elétrons**, i.e. que perderam ou ganharam elétrons, têm **número** de **carga** total  $Q = Z - \text{no. } e^- \neq 0$ , ou seja, uma carga total de  $Qe$ . e são chamados **íons**. Íons com **carga positiva**,  $Q > 0$ , são chamados **cátions**, e íons com **carga negativa**,  $Q < 0$ , **ânions**.

Se coloca o  $Q+$  ou  $Q$  vezes o símbolo “+” para cátions, respectivamente  $|Q|$ - ou  $|Q|$  vezes o símbolo “-” para ânions em superscrito à direita do símbolo do elemento:

${}_{(Z)}^A X^{|Q|\pm}$  (ou  $X^{|Q|\pm}$ , quando o número de massa não interessa)

No caso de cátions ainda há a notação  $X$  seguido por um número romano (I, II, III, IV, etc.), que equivale a  $Q + 1$ .

$XI$  é, então,  $X$  neutro,  $XII$  é  $X$  ionizado (faltando um elétron),  $XIII$  é  $X$  duplamente ionizado (faltando dois elétrons), etc.

# Os Elementos

## Íons

### Exemplos

O cátion “berílio que perdeu dois elétrons”, ou “berílio duplamente ionizado”:



O ânion “oxigênio que ganhou dois elétrons”:



# Os Elementos

## Elementos Isótopos

Elementos químicos com os **mesmos números atômicos**, porém com **números de massa diferentes** (pois possuem diferentes números de nêutrons).

Uma notação alternativa a  ${}^A X$  é **nome do elemento-A** ou **X-A**.

## Exemplos

Os isótopos de carbono que ocorrem na natureza:

Isótopo	Z	no. p <sup>+</sup>	N	A
${}^{12}\text{C}$ ou C-12 ou carbono-12	6	6	6	12
${}^{13}\text{C}$ ou C-13 ou carbono-13	6	6	7	13
${}^{14}\text{C}$ ou C-14 ou carbono-14*	6	6	8	14

\*C-14 é instável, mas tem tempo de vida muito longo, de 8270 anos, tal que ele ocorre na natureza, sim.

Os isótopos “hidrogênio mais um nêutron” e “hidrogênio mais dois nêutrons” têm nomes próprios: H-2 = D (deutério), H-3 = T (trítio)

# Os Elementos

## Elementos Isóbaros

Elementos químicos com os **mesmos números de massa**, porém com **números atômicos diferentes**.

### Exemplo

Isótopo	Z	no. p <sup>+</sup>	N	A
<sup>40</sup> Ca ou Ca-40 ou cálcio-40	20	20	20	40
<sup>40</sup> K ou K-40 ou potássio-40	19	19	21	40

# Os Elementos

## Elementos Isótonos

Elementos químicos com os **mesmos números de nêutrons**, porém com **números atômicos** e **números de massa diferentes**.

### Exemplo

Isótopo	Z	no. p <sup>+</sup>	N	A
<sup>40</sup> Ca ou Ca-40 ou cálcio-40	20	20	20	40
<sup>39</sup> K ou K-39 ou potássio-39	19	19	20	39

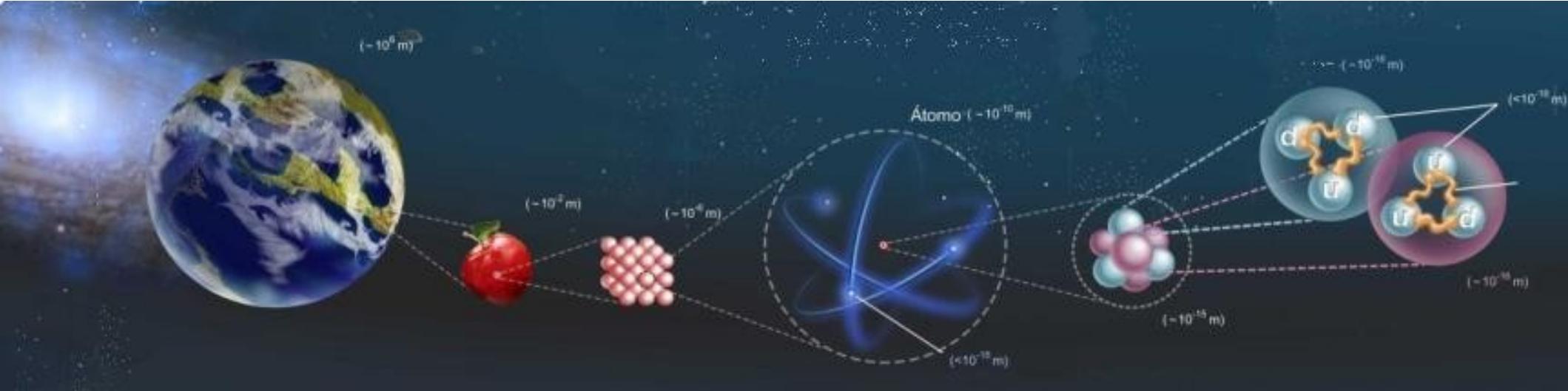
# Os Elementos

## Elementos Isoeletrônicos

Elementos químicos com os **mesmos números de elétrons**.

### Exemplo

Nome	$Z$	no. $p^+$	$N$	$A$	no. $e^-$
Na <sup>+</sup>	11	11	12	23	10
O <sup>2-</sup>	8	8	8	16	10
Ne	10	10	10	20	10



Universidade Federal do ABC

# Estrutura da Matéria

FIM pra hoje

<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/Estrutura.html>