

Os Pesos Atômicos Deixam de Ser Constantes: Dez Elementos Passam a Ter *Intervalos de Pesos Atômicos*

Romeu C. Rocha-Filho e Aécio Pereira Chagas

Em 2011, a *União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC)* aprovou novos valores de massas atômicas relativas (pesos atômicos) padrões para os elementos, conforme recomendado por sua *Comissão sobre Pesos Atômicos e Abundâncias Isotópicas* em 2009. A novidade é a introdução de um intervalo de pesos atômicos, em vez de um único valor, para dez elementos cujas composições isotópicas variam frequente e significativamente: H, Li, B, C, N, O, Si, S, Cl e Ti. De qualquer modo, para fins comerciais e didáticos, um valor único, denominado de *convencional*, é estabelecido para esses elementos. Além disso, também foi aprovado um novo valor para o peso atômico do germânio. Este artigo relata essas novidades e divulga os novos valores aprovados, bem como os valores adotados pela *Sociedade Brasileira de Química* na tabela periódica por ela publicada e distribuída.

► pesos atômicos padrões, intervalos de peso atômico,
pesos atômicos convencionais, valores oficiais de pesos atômicos ◀

Recebido em 31/10/2011, aceito em 01/11/2011

O conceito de peso atômico (massa atômica relativa – A_r) surgiu com a Teoria Atômica no início do século XIX. Imediatamente, tabelas de pesos atômicos passaram a ser publicadas, sempre tendo por base determinações de seus valores por métodos químicos e considerando um determinado padrão de referência. Aos poucos, o elemento oxigênio passou a ser usado como padrão de referência, com peso atômico igual a exatamente 16 por definição (Tolentino e Rocha-Filho, 1994).

Apesar de especulações anteriores, somente mais de um século depois do surgimento da Teoria Atômica é que se descobriu a existência de isótopos, isto é, átomos diferentes de um mesmo elemento químico (mesmo número atômico, mas diferentes números de massa). Aos poucos, com o avanço da espectrometria de massas, ficou claro que a massa atômica relativa de um elemento – $A_r(E)$ – poderia ser estimada a partir dos valores

de A_r dos seus isótopos estáveis e suas respectivas abundâncias relativas (frações em mol). Assim, a massa atômica relativa de todos os elementos que não são monoisotópicos passou a ser expressa como um valor médio ponderado, levando em consideração a distribuição isotópica terrestre natural desses elementos. A descoberta, por volta de 1930, de que existiam três isótopos estáveis do elemento oxigênio fez com que, por cerca de três décadas, se passasse a ter dois padrões de referência, pois os físicos passaram a adotar como referência o nuclídeo oxigênio-16 com peso atômico igual a 16, enquanto os químicos mantiveram esse valor para o elemento oxigênio, isto é, para a mistura isotópica natural do oxigênio (^{16}O – 99,76 %, ^{17}O – 0,04 % e ^{18}O – 0,20 %). Para resolver essa dicotomia de padrões, no final dos anos 1950, acordou-se adotar o carbono-12 como novo padrão de referência (Tolentino e Rocha-Filho, 1994).

Variações em pesos atômicos

Aos poucos, após a descoberta dos isótopos, passou-se a perceber que, às vezes, dependendo de suas origens, duas amostras de um dado elemento tinham pesos atômicos distintos. Por exemplo, ainda na década de 1930, foi relatada a variação do peso atômico do oxigênio no ar e na água, decorrente de variações na abundância de seus três isótopos estáveis. Ficava claro que a abundância isotópica natural (terrestre) dos elementos variava em diferentes amostras em função de suas origens. Consequentemente, a partir de 1951, a *Comissão sobre Pesos Atômicos* da IUPAC, pela primeira vez, indicou que o peso atômico de alguns elementos poderia variar, publicando uma incerteza para seus valores. A partir de 1969, incertezas passaram a ser explicitadas para todos os valores de pesos atômicos. Como resultado da importância crescente de determinações precisas de medidas isotópicas, em 1979,

a comissão foi renomeada para *Comissão sobre Pesos Atômicos e Abundâncias Isotópicas* (Coplen e Holden, 2011).

As incertezas publicadas pela *Comissão* para cada valor de $A_r(E)$ explicitam, na realidade, a existência de um intervalo de valores, isto é, um peso atômico não é uma constante da natureza, pois a composição isotópica varia em função da origem da amostra do elemento. Para alguns elementos, essa variação ocorre mais frequentemente e é significativa, como é o caso do hidrogênio. Por exemplo, em 2007, o peso atômico do hidrogênio foi divulgado como igual a 1,007 94(7). Isso significa que se determinou que o peso atômico desse elemento variava desde 1,007 87 até 1,008 01, dependendo da origem da amostra de hidrogênio que estava sendo analisada.

Intervalos de pesos atômicos

Muitos, erroneamente, passaram a entender que a incerteza associada aos valores dos pesos atômicos era uma incerteza de medida. Ciente disso e do fato de ser muito difícil, ou mesmo impossível, que se encontrem amostras de um dado elemento com um peso atômico idêntico ao valor padrão (por exemplo, achar uma amostra de hidrogênio com peso atômico 1,007 94 seria um grande desafio), em 2009, a *Comissão* decidiu expressar o peso atômico padrão do hidrogênio e de mais outros nove elementos (Li, B, C, N, O, Si, S, Cl e Ti) de modo a claramente indicar que seus valores não são constantes da natureza (Wieser e Coplen, 2011). Assim, a faixa de valores de pesos atômicos em materiais normais desses elementos é denominada de intervalo, representado como $[a; b]$, de modo a explicitar os valores de $A_r(E)$ para os quais $a \leq A_r(E) \leq b$. Por exemplo, o peso atômico do hidrogênio, na nova tabela, é expresso como $[1,007\ 84; 1,008\ 11]$. Isso significa que, em qualquer material normal, $A_r(H)$ será maior ou igual a 1,007 84 e menor ou igual a 1,008 11. Portanto, subentende-se que esse intervalo de peso atômico

abrange os valores de peso atômico passíveis de ocorrer para o hidrogênio em todos os materiais normais (Coplen e Holden, 2011).

Considerando que em algumas situações, tais como na indústria e no comércio, pode-se necessitar de valores representativos para esses elementos que têm um intervalo de peso atômico, a *Comissão da IUPAC* fornece um valor convencional de peso atômico para esses elementos – vide Tabela 1. No caso do hidrogênio, seu peso atômico convencional é 1,008. Essa tabela contém os valores dos pesos atômicos padrões (na forma de intervalo) e pesos atômicos convencionais para os dez elementos a que inicialmente se aplica a decisão da *Comissão* de explicitar a natureza não constante de seus pesos atômicos.

Entendemos que, no ensino de química, os pesos atômicos convencionais são muito úteis, em especial para a realização de cálculos básicos rotineiros, como os estequiométricos e o preparo de soluções¹. Isso, certamente, também se aplica ao dia a dia nos laboratórios de pesquisa. Entretanto, sempre que, por alguma razão, para um dado material, necessite-se de um valor exato do peso atômico de um dos elementos que têm intervalo de peso atômico, este terá que ser determinado experimentalmente.

Tabela 1 - Pesos atômicos padrões e pesos atômicos convencionais para os dez elementos a que foram atribuídos *intervalos de pesos atômicos* pela *IUPAC* (Coplen e Holden, 2011).

Elemento	Peso atômico padrão*	Peso atômico convencional
hidrogênio	[1,007 84; 1,008 11]	1,008
lítio	[6,938; 6,997]	6,94
boro	[10,806; 10,821]	10,81
carbono	[12,0096; 12,0116]	12,011
nitrogênio	[14,006 43; 14,007 28]	14,007
oxigênio	[15,999 03; 15,999 77]	15,999
silício	[28,084; 28,086]	28,085
enxofre	[32,059; 32,076]	32,06
cloro	[35,446; 35,457]	35,45
tálio	[204,382; 204,385]	204,38

* Expresso como intervalo de peso atômico.

Comentários finais

Na revisão de 2009 dos pesos atômicos, a *Comissão*, além de introduzir o conceito de intervalo de valores para os pesos atômicos padrões de dez elementos, também atualizou o valor do peso atômico do germânio, que passou a ser 72,63(1). Anteriormente, o valor era 72,64(1), adotado pela *Comissão* em 1999 (Wieser e Coplen, 2011).

Na tabela periódica publicada e distribuída pela *Sociedade Brasileira de Química*, versão 2011, já constam o novo peso atômico padrão para o germânio e os pesos atômicos convencionais para os elementos hidrogênio, lítio, boro, carbono, nitrogênio, oxigênio, silício, enxofre, cloro e tálio. A Tabela 2 lista os valores de pesos atômicos padrões recomendados em 2009 pela *Comissão* (aprovados pela *IUPAC* em 2011) e os valores adotados na tabela periódica da *SBQ*. Os nomes oficiais para os elementos de número atômico 1 a 109 constam em artigo publicado no final da década de 1990 (Chagas e Rocha-Filho, 1999; Rocha-Filho e Chagas, 1999). Cabe ressaltar que recentemente a *IUPAC* reconheceu a descoberta dos elementos 114 e 116 (vide http://www.iupac.org/web/nt/2011-06-01_elements_114_116), mas eles ainda não têm nome oficial (neste momento, os sintetizadores desses elementos estão decidindo que nomes sugerir para eles à *IUPAC*).

Tabela 2 - Pesos atômicos padrões aprovados pela IUPAC em 2011 – recomendados pela Comissão sobre Pesos Atômicos e Abundâncias Isotópicas em 2009 (Wieser e Coplen, 2011) e pesos atômicos adotados pela SBQ em sua tabela periódica.

Número atômico	Nome do elemento	Símbolo	Peso atômico padrão*	Peso atômico na tabela periódica da SBQ**
1	hidrogênio	H	[1,007 84; 1,008 11]	1,008***
2	hélio	He	4,002 602(2)	4,0026
3	lítio	Li	[6,938; 6,997]	6,94***
4	berílio	Be	9,012 182(3)	9,0122
5	boro	B	[10,806; 10,821]	10,81***
6	carbono	C	[12,0096; 12,0116]	12,011***
7	nitrogênio	N	[14,006 43; 14,007 28]	14,007***
8	oxigênio	O	[15,999 03; 15,999 77]	15,999***
9	flúor	F	18,998 4032(5)	18,998
10	neônio	Ne	20,1797(6)	20,180
11	sódio	Na	22,989 769 28(2)	22,990
12	magnésio	Mg	24,3050(6)	24,305
13	alumínio	Al	26,981 5386(8)	26,982
14	silício	Si	[28,084; 28,086]	28,085***
15	fósforo	P	30,973 762(2)	30,974
16	enxofre	S	[32,059; 32,076]	32,06***
17	cloro	Cl	[35,446; 35,457]	35,45
18	argônio	Ar	39,948(1)	39,948
19	potássio	K	39,0983(1)	39,098
20	cálcio	Ca	40,078(4)	40,078(4)
21	escândio	Sc	44,955 912(6)	44,956
22	titânio	Ti	47,867(1)	47,867
23	vanádio	V	50,9415(1)	50,942
24	crômio	Cr	51,9961(6)	51,996
25	manganês	Mn	54,938 045(5)	54,938
26	ferro	Fe	55,845(2)	55,845(2)
27	cobalto	Co	58,933 195(5)	58,933
28	níquel	Ni	58,6934(4)	58,693
29	cobre	Cu	63,546(3)	63,546(3)
30	zinco	Zn	65,38(2)	65,38(2)
31	gálio	Ga	69,723(1)	69,723
32	germânio	Ge	72,63(1)	72,63(1)
33	arsênio	As	74,921 60(2)	74,922
34	selênio	Se	78,96(3)	78,96(3)
35	bromo	Br	79,904(1)	79,904
36	criptônio	Kr	83,798(2)	83,798(2)
37	rubídio	Rb	85,4678(3)	85,468
38	estrôncio	Sr	87,62(1)	87,62
39	ítrio	Y	88,905 85(2)	88,906
40	zircônio	Zr	91,224(2)	91,224(2)
41	nióbio	Nb	92,906 38(2)	92,906
42	molibdênio	Mo	95,96(2)	95,96(2)
43	tecnécio	Tc	97,9072 [†]	97,907 [†]
44	rutênio	Ru	101,07(2)	101,07(2)
45	ródio	Rh	102,905 50(2)	102,91
46	paládio	Pd	106,42(1)	106,42
47	prata	Ag	107,8682(2)	107,87

Tabela 2 - Continuação

Número atômico	Nome do elemento	Símbolo	Peso atômico padrão*	Peso atômico na tabela periódica da SBQ**
48	cádmio	Cd	112,411(8)	112,41
49	índio	In	114,818(3)	114,82
50	estanho	Sn	118,710(7)	118,71
51	antimônio	Sb	121,760(1)	121,76
52	telúrio	Te	127,60(3)	127,60(3)
53	iodo	I	126,904 47(3)	126,90
54	xenônio	Xe	131,293(6)	131,29
55	césio	Cs	132,905 4519(2)	132,91
56	bário	Ba	137,327(7)	137,33
57	lantânio	La	138,905 47(7)	138,91
58	cério	Ce	140,116(1)	140,12
59	praseodímio	Pr	140,907 65(2)	140,91
60	neodímio	Nd	144,242(3)	144,24
61	promécio	Pm	144,9127 [†]	144,91 [†]
62	samário	Sm	150,36(2)	150,36(2)
63	európio	Eu	151,964(1)	151,96
64	gadolínio	Gd	157,25(3)	157,25(3)
65	térbio	Tb	158,925 35(2)	158,93
66	disprósio	Dy	162,500(1)	162,50
67	hólmio	Ho	164,930 32(2)	164,93
68	érbio	Er	167,259(3)	167,26
69	túlio	Tm	168,934 21(2)	168,93
70	itérbio	Yb	173,054(5)	173,05
71	lutécio	Lu	174,9668(1)	174,97
72	háfnio	Hf	178,49(2)	178,49(2)
73	tântalo	Ta	180,947 88(2)	180,95
74	tungstênio	W	183,84(1)	183,84
75	rênio	Re	186,207(1)	186,21
76	ósmio	Os	190,23(3)	190,23(3)
77	irídio	Ir	192,217(3)	192,22
78	platina	Pt	195,084(9)	195,08
79	ouro	Au	196,966 569(4)	196,97
80	mercúrio	Hg	200,59(2)	200,59(2)
81	tálio	Tl	[204,382; 204,385]	204,38***
82	chumbo	Pb	207,2(1)	207,2
83	bismuto	Bi	208,980 40(1)	208,98
84	polônio	Po	208,9824 [†]	208,98 [†]
85	astato	At	209,9871 [†]	209,99 [†]
86	radônio	Rn	222,0176 [†]	222,02 [†]
87	frâncio	Fr	223,0197 [†]	223,02 [†]
88	rádio	Ra	226,0254 [†]	226,03 [†]
89	actínio	Ac	227,0278 [†]	227,03 [†]
90	tório	Th	232,038 06(2)	232,04
91	protactínio	Pa	231,035 88(2)	231,04
92	urânio	U	238,028 91(3)	238,03
93	netúnio	Np	237,0482 [†]	237,05 [†]
94	plutônio	Pu	244,0642 [†]	244,06 [†]
95	amerício	Am	243,0614 [†]	243,06 [†]

Tabela 2 - Continuação

Número atômico	Nome do elemento	Símbolo	Peso atômico padrão*	Peso atômico na tabela periódica da SBQ**
96	cúrio	Cm	247,0704 [†]	247,07 [†]
97	berquílio	Bk	247,0703 [†]	247,07 [†]
98	califórnio	Cf	251,0796 [†]	251,08 [†]
99	einstênio	Es	252,0830 [†]	252,08 [†]
100	férmio	Fm	257,0951 [†]	257,10 [†]
101	mendelévio	Md	258,0984 [†]	258,10 [†]
102	nobélio	No	259,1010 [†]	259,10 [†]
103	laurêncio	Lr	262,1096 [†]	262,11 [†]
104	rutherfordórdio	Rf	265,1167 [†]	265,12 [†]
105	dúbnio	Db	268,125 [†]	268,12 [†]
106	seabórgio	Sg	271,133 [†]	271,13 [†]
107	bóhrio	Bh	267,1277 [†]	267,13 [†]
108	hássio	Hs	277,150 [†]	277,15 [†]
109	meitnério	Mt	276,151 [†]	276,15 [†]
110	darmstádio	Ds	281,162 [†]	281,16 [†]
111	roentgênio	Rg	280,164 [†]	280,16 [†]
112	copernício	Cn	285,174 [†]	285,17 [†]
113	unúntrio	Uut	284,178 [†]	284,18 [†]
114	ununquádio	Uuq	289,187 [†]	289,19 [†]
115	ununpêntio	Uup	288,192 [†]	288,19 [†]
116	ununhéxio	Uuh	292,200 [†]	292,20 [†]
117	ununséptio	Uus	294 [†]	294 [†]
118	ununóctio	Uuo	294 [†]	294 [†]

* Valor entre parênteses corresponde à incerteza de decisão da *Comissão sobre Pesos Atômicos e Abundâncias Isotópicas da IUPAC* (Wieser e Coplen, 2011).

** Sempre que possível, o valor é expresso com cinco algarismos significativos. A incerteza de decisão da *Comissão* é indicada, desde que seja o caso e maior que 1.

*** Valor convencional.

† Valor referente ao isótopo mais estável.

Nota

1. Este entendimento foi adotado pela *Sociedade Brasileira de Química* na sua tabela periódica (Classificação Periódica dos Elementos). Assim, a edição de 2011 já incorporou os valores

de pesos atômicos convencionais para os elementos H, Li, B, C, N, O, Si, S, Cl e Tl. Ademais, foi publicada uma nota curta chamando atenção para tal fato.

Romeu C. Rocha-Filho (romeu@ufscar.br), licenciado em química pela UFSCar, mestre em físico-química e doutor em ciências (área de físico-química) pela USP,

é docente do Departamento de Química da UFS-Car. **Aécio Pereira Chagas** (aecio@iqm.unicamp.br), bacharel e licenciado em química pela USP, doutor em ciências (química) também pela USP, é livre-docente (físico-química) pela Unicamp. Foi professor titular de físico-química no Instituto de Química (IQ) da Unicamp até 1994, quando se aposentou. Atualmente é pesquisador convidado no IQ-Unicamp.

Referências

CHAGAS, A.P. e ROCHA-FILHO, R.C. Nomes recomendados para os elementos químicos. *Química Nova na Escola*, n. 10, p. 11-13, 1999.

COPLIN, T.B. e HOLDEN, N.E. Atomic weights: no longer constants of nature. *Chemistry International*, v. 33, p. 10-15, 2011.

ROCHA-FILHO, R.C. e CHAGAS, A.P. Sobre os nomes dos elementos químicos, inclusive dos transférmios. *Química Nova*, v. 22, p. 769-773, 1999.

TOLENTINO, M. e ROCHA-FILHO, R.C. Evolução histórica dos pesos atômicos. *Química Nova*, v. 17, p. 182-187, 1994.

WIESER, M.E. e COPLIN, T.B. Atomic weights of the elements 2009. *Pure and Applied Chemistry*, v. 83, p. 359, 2011.

Para saber mais

– Recomendamos fortemente a leitura do artigo de Coplen e Holden (2011), disponível em http://www.iupac.org/publications/ci/2011/3302/2_coplen.html

– Consulte a página da *Comissão sobre Pesos Atômicos e Abundâncias Isotópicas da IUPAC*: <http://www.ciaaw.org/>

Abstract: In 2011, the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) approved new values for the relative atomic masses (atomic weights) of the elements, as recommended by its Commission of Atomic Weights and Isotopic Abundances in 2009. The novelty is the introduction of an atomic-weight interval, instead of a single value, for ten elements whose isotopic compositions vary frequently and significantly: H, Li, B, C, N, O, Si, S, Cl, and Tl; nevertheless, for commercial and educational purposes, a single value, referred to as conventional, is established for these elements. On the other hand, a new value was approved for the atomic weight of germanium. This article reports on these novelties and divulges the new approved values as well as the values adopted by the Brazilian Chemical Society in the periodic tables that it publishes and distributes.

Keywords: Standard atomic weights, atomic-weight intervals, conventional atomic weights, official values of atomic weights