

Quantas moléculas de H_2O existem em uma gota d'água?

Samyr A. Abdulack

Abril de 2021

Um dado fundamental aqui é o volume de uma gota de água. Sabe-se que $1 \text{ mL} = 10^{-3} \text{ L}$ corresponde a 20 gotas. Este valor pode variar sensivelmente devido a vários fatores como, por exemplo, o ângulo de inclinação de um gotejador para a formação da gota. Esta variação foi verificada recentemente para os lubrificantes oculares, uma vez que há o interesse farmacológico em conhecer a quantidade de uma gota de colírio [1].

O volume de uma única gota d'água vale:

$$\frac{1 \text{ mL}}{20 \text{ gotas}} = 0,05 \text{ mL/gota.} \quad (1)$$

Para fins didáticos, a figura 1 ilustra a geometria de uma molécula de água, com dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio.

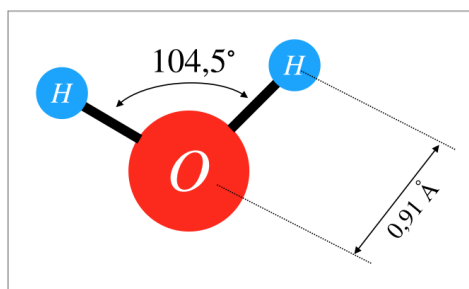


Figura 1: A geometria da molécula de água. O ângulo entre os centros dos átomos de hidrogênio perfazem cerca de $104,5^\circ$, e a distância média entre os centros de cada átomo de hidrogênio e o átomo de oxigênio é de $0,91\text{Å} = 0,91 \times 10^{-10} \text{ m}$ [2, 3]. Fonte da figura: O autor.

O número de Avogadro ($= 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$) fornece justamente a medida para o mol [3]: a massa de 1 mol de água vale 18 g, ou seja, 18 g/mol, conforme mostra a tabela periódica da figura 2.

Embora seja possível empregar a unidade de massa atômica para resolver este tipo de problema, de modo que $1 \text{ u} = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$, será apresentada aqui uma maneira direta e simples de contar as moléculas de H_2O de uma gota d'água, partindo do número de Avogadro, da densidade da água e do volume de uma gota d'água.



IUPAC Periodic Table of the Elements

1 H hydrogen 1.00784 1.00812																	2 He helium 4.0026												
3 Li lithium 6.94	4 Be beryllium 9.0122											5 B boron 10.81	6 C carbon 12.01	7 N nitrogen 14.007	8 O oxygen 15.999	9 F fluorine 18.998	10 Ne neon 20.180												
11 Na sodium 22.990	12 Mg magnesium 24.304											13 Al aluminum 26.982	14 Si silicon 28.086	15 P phosphorus 30.974	16 S sulfur 32.06	17 Cl chlorine 35.45	18 Ar argon 39.948												
19 K potassium 39.098	20 Ca calcium 40.078	21 Sc scandium 44.956	22 Ti titanium 47.867	23 V vanadium 50.942	24 Cr chromium 51.996	25 Mn manganese 54.938	26 Fe iron 55.845	27 Co cobalt 58.933	28 Ni nickel 58.693	29 Cu copper 63.546	30 Zn zinc 65.38	31 Ga gallium 69.723	32 Ge germanium 72.631	33 As arsenic 74.922	34 Se selenium 78.972	35 Br bromine 79.904	36 Kr krypton 83.798												
37 Rb rubidium 85.468	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.906	40 Zr zirconium 91.224	41 Nb niobium 92.906	42 Mo molybdenum 95.94	43 Tc technetium 98	44 Ru ruthenium 101.07	45 Rh rhodium 102.91	46 Pd palladium 106.42	47 Ag silver 107.87	48 Cd cadmium 112.41	49 In indium 114.82	50 Sn tin 118.71	51 Sb antimony 121.76	52 Te tellurium 127.6	53 I iodine 126.905	54 Xe xenon 131.29												
55 Cs cesium 132.91	56 Ba barium 137.33	57-71 lanthanoids	72 Hf hafnium 178.49	73 Ta tantalum 180.95	74 W tungsten 183.84	75 Re rhenium 186.21	76 Os osmium 190.23	77 Ir iridium 192.22	78 Pt platinum 195.08	79 Au gold 196.97	80 Hg mercury 200.59	81 Tl thallium 204.38	82 Pb lead 207.2	83 Bi bismuth 208.98	84 Po polonium [209]	85 At astatine [210]	86 Rn radon [222]												
87 Fr francium [223]	88 Ra radium [226]	89-103 actinoids	104 Rf rutherfordium [261]	105 Db dubnium [262]	106 Sg seaborgium [263]	107 Bh bohrium [264]	108 Hs hassium [265]	109 Mt meitnerium [266]	110 Ds darmstadtium [267]	111 Rg roentgenium [268]	112 Cn copernicium [269]	113 Nh nihonium [270]	114 Fl flerovium [271]	115 Mc moscovium [272]	116 Lv livermorium [273]	117 Ts tennessine [274]	118 Og oganesson [276]												
57 La lanthanum 138.91	58 Ce cerium 140.12	59 Pr praseodymium 140.91	60 Nd neodymium 144.24	61 Pm promethium [145]	62 Sm samarium 150.36	63 Eu europium 151.96	64 Gd gadolinium 157.25	65 Tb terbium 158.93	66 Dy dysprosium 162.50	67 Ho holmium 164.93	68 Er erbium 167.26	69 Tm thulium 168.93	70 Yb ytterbium 173.05	71 Lu lutetium 174.97	89 Ac actinium [227]	90 Th thorium 232.04	91 Pa protactinium 231.04	92 U uranium 238.03	93 Np neptunium [237]	94 Pu plutonium [244]	95 Am americium [243]	96 Cm curium [247]	97 Bk berkelium [247]	98 Cf californium [251]	99 Es einsteinium [252]	100 Fm fermium [257]	101 Md mendelevium [258]	102 No nobelium [259]	103 Lr lawrencium [260]

Key: atomic number, Symbol, name, conventional atomic weight, standard atomic weight

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY

For notes and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 1 December 2018. Copyright © 2018 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

Figura 2: A tabela periódica dos elementos. Observe o número abaixo de cada elemento, H e O . Trata-se do número de massa: 1 mol de determinado átomo, tem sua massa (em g) numericamente igual ao valor do número de massa. Fonte da figura: IUPAC - *International Union of Pure and Applied Chemistry* [4].

Uma vez que a densidade da água é de $1,00 \text{ g/cm}^3$, e que 1 cm^3 é o volume equivalente à capacidade de 1 mL, então a massa de uma gota d'água é:

$$\underbrace{5,00 \times 10^{-2} \text{ mL}}_{\text{Volume de uma gota, Eq. (1)}} \times \underbrace{1,00 \frac{\text{g}}{\text{mL}}}_{\text{Densidade da água, expressa em mL}} = 5,00 \times 10^{-2} \text{ g.} \quad (2)$$

Para a contagem do número de moléculas n , basta efetuar uma proporção simples, tomando o cuidado com as unidades de medida.

Assim, se 1 mol de H_2O apresenta $6,02 \times 10^{23}$ moléculas, então $0,0500 = 5,00 \times 10^{-2} \text{ g}$, correspondente à massa de uma única gota de água, apresentará n moléculas:

$$\frac{18,0 \text{ g/mol}}{6,02 \times 10^{23} \text{ moléculas/mol}} = \frac{5,00 \times 10^{-2} \text{ g/gota}}{n}, \quad (3)$$

como consequência,

$$n = \frac{6,02 \times 10^{23} \text{ moléculas/mol}}{18,0 \text{ g/mol}} \times 5,00 \times 10^{-2} \text{ g/gota}, \quad (4)$$

$$= 1,67 \times 10^{21} \text{ moléculas/gota.} \quad (5)$$



Se 1 s fosse o tempo necessário para contar cada molécula da gota, então, empregando a conversão encadeada, é possível encontrar o tempo necessário para contar toda a gota:

$$1,67 \times 10^{21} \text{ s} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ ano}}{365 \text{ dias}} = 5,30 \times 10^{13} \text{ anos.} \quad (6)$$

Para fins didáticos e de comparação, o Universo tem uma idade aproximada igual ao inverso da constante de Hubble [5], o que fornece algo em torno de 13,8 bilhões de anos ($= 1,38 \times 10^{10}$ anos). Logo,

$$\frac{5,30 \times 10^{13} \text{ anos}}{1,38 \times 10^{10} \text{ anos}} \approx 3,84 \times 10^3, \quad (7)$$

ou seja, o tempo necessário para contar todas as moléculas de uma única gota d'água é 3800 vezes maior do que a idade do Universo!

Este tipo de cálculo demonstra tanto o tamanho típico dos átomos e das moléculas, quanto a poderosa técnica para que estas quantidades possam ser contabilizadas, assim como o domínio de aplicação da Física: desde a composição atômica e as suas interações até ao Universo observável.

Referências

- [1] Costa, A. X. *et. al.* Volume da gota dos colírios lubrificantes: estudo farmacoeconômico. *Rev. Bras. Oftalmol.* 74 (6): 339, 2015.
- [2] Alonso, M.; Finn, E. J. Física: um curso universitário. Volume 1: Mecânica. 2 ed. São Paulo: Blücher, 2014.
- [3] Brady, J .E.; Humiston, G. E. Química geral. Volume 1. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- [4] IUPAC: Periodic table of elements. Disponível em: <<https://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements/>>. Acesso em: abril de 2021.
- [5] Tipler, P. A.; Llewellyn, R. A. Física Moderna. Rio de Janeiro: LTC, 2001.