

**20 de Maio. Dia da Metrologia**

**O Novo SI: Fundamentalmente  
melhor!**

**Valnei Smarçaro da Cunha**  
Diretor Substituto da Dimci

---



MINISTÉRIO DA  
ECONOMIA





This international prototype, made of platinum-iridium, is kept at the BIPM under conditions specified by the 1st CGPM in 1889

(Photograph courtesy of © BIPM)

<http://physics.nist.gov/cuu/Units/kilogram2.html>



V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As
vanádio 50,942	crômio 51,996	manganês 54,938	ferro 55,845	cobalto 58,933	níquel 58,693	cobre 63,546	zinco 65,38	gálio 69,723	germânio 72,630	arsênio 74,922
41			44	45	46	47	48	49	50	51
Nb	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Pb	Tl	Sb
nióbio 92,906	molibdênio 95,95	tecnécio (98)	rutênio 101,07(2)	rodio 102,91	paládio 106,42	estanho 107,87	antimônio 112,41	chumbo 114,82	estanho 118,71	antimônio 121,76

**2019 ANO INTERNACIONAL DA TABELA PERIÓDICA**

# Medições sempre foram importantes



Ezequiel 45

... 10 Tereis **balanças justas**, uma efá, arroba, honesta, para uma bath, tigela, justa. 11A efá, destinada a medir cereais, deverá corresponder ao mesmo peso medido pela bath, que pesa os líquidos. O padrão de medida é hômer, o barril, E um hômer será igual a dez efásou dez baths....

Levítico 19:35

35 Não cometereis injustiça no julgamento, quer se trate de medidas de **comprimento, quer de peso ou de capacidade.**

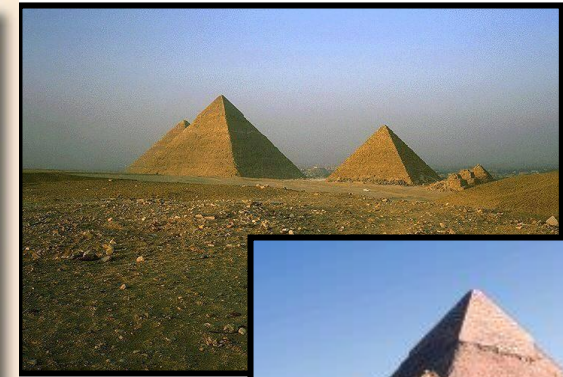
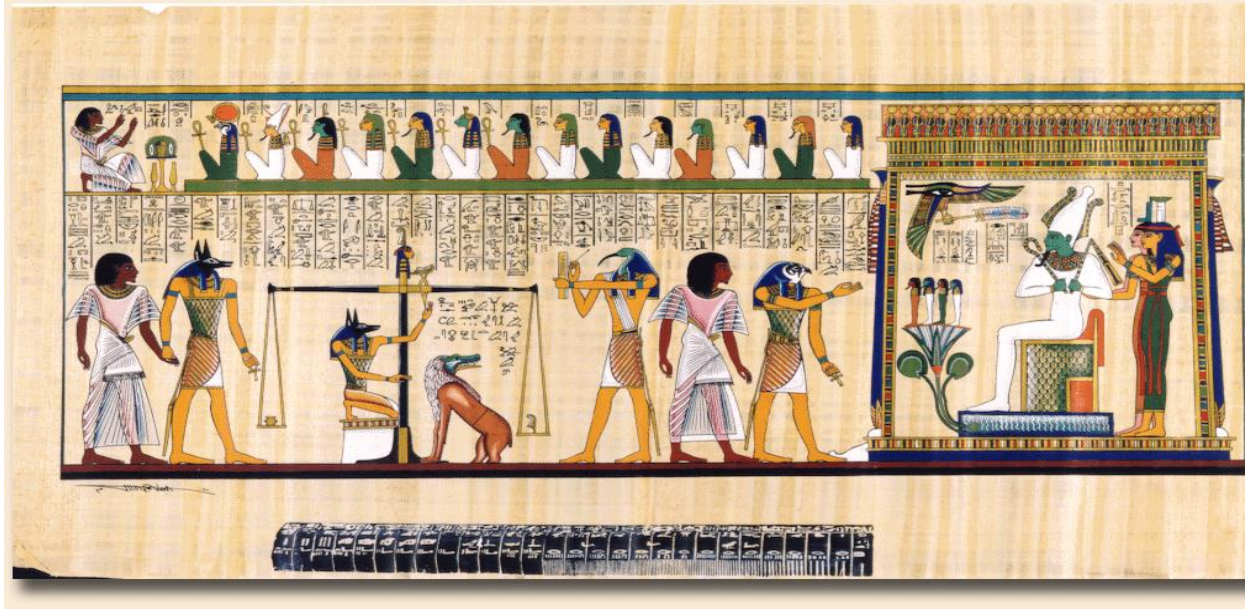
Deuteronômio 25:13

Não terás em tua bolsa **dois tipos de peso**: um pesado e outro leve.

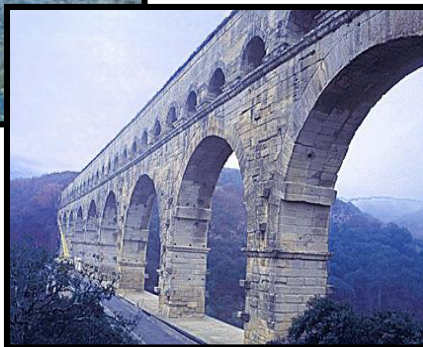
“When you can measure what you are speaking about and express it in numbers you know something about it; but when **you cannot measure it**, when you cannot express it in numbers, your knowledge of it is of a meagre and unsatisfactory kind”  
*(Lord Kelvin)*



# Exemplos Históricos



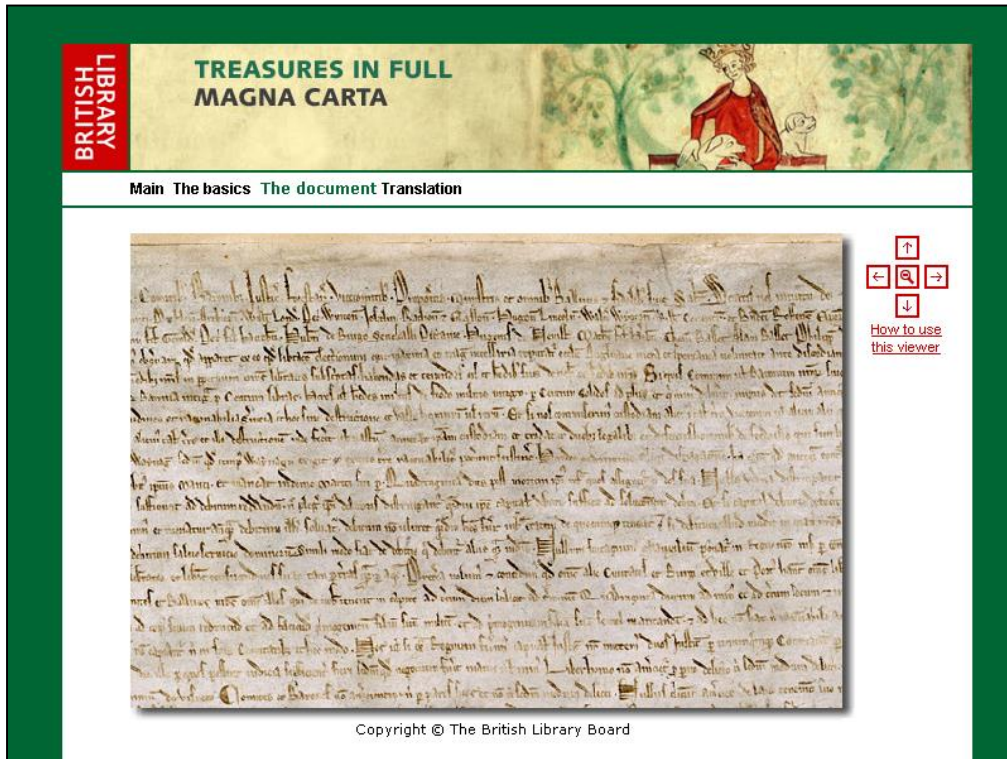
Exatidão relativa de 0,05% em 230 metros!



Os romanos também realizaram grandes projetos de construção.  
A Pont du Gard é um aqueduto construído ~ 2000 anos atrás para trazer água 50 km de Nîmes para baixo um gradiente total de apenas 17 metros (um gradiente de 1:3000!!)



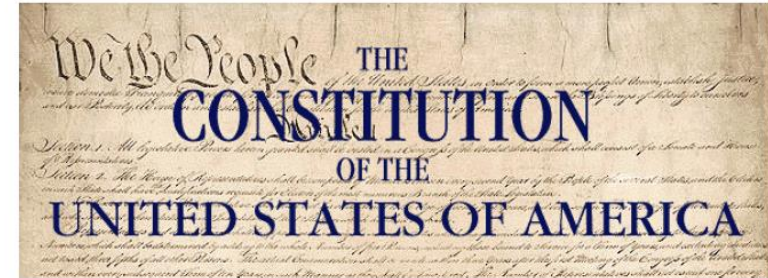
# King John's Magna Carta in the year of 1215 (35<sup>th</sup> clause)



The screenshot shows the British Library website interface. At the top left, the 'BRITISH LIBRARY' logo is visible. The main header reads 'TREASURES IN FULL MAGNA CARTA'. Below this, there are navigation tabs: 'Main', 'The basics', 'The document', and 'Translation'. The central part of the page features a large image of the original Magna Carta document, which is a parchment scroll with dense Latin text written in a medieval Gothic script. To the right of the document image is a navigation control consisting of four arrows (up, down, left, right) and a magnifying glass icon, with the text 'How to use this viewer' below it. At the bottom of the page, a copyright notice reads 'Copyright © The British Library Board'.

## U.S. Federal Role in Metrology

### The Constitution of the United States

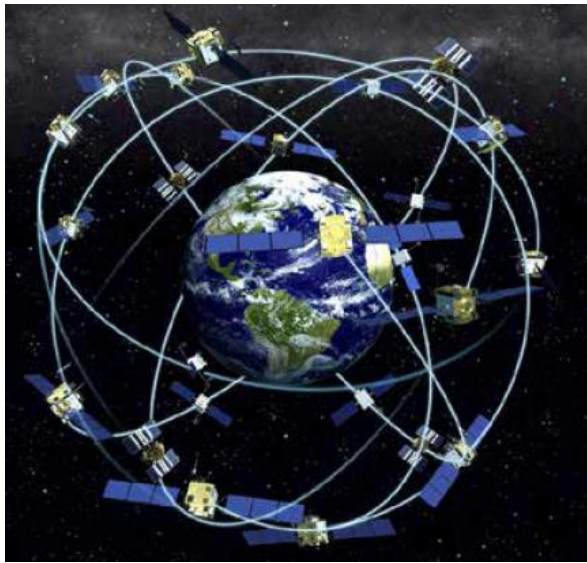


**Article 1, Section 8: The Congress shall have the power ... to coin money, regulate the value thereof, and of foreign coin ... and fix the standard of weights and measures ... (1788)**

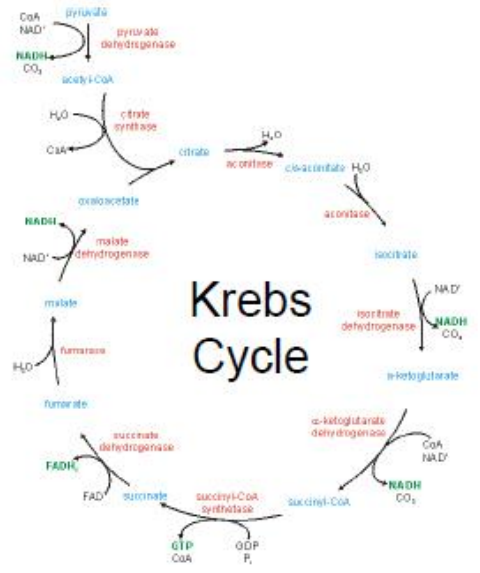
**“Foreign traders had begun to voice concern that goods might not be assigned a proper quantitative value at American custom-houses and that, as a result, assessed duties might be unfair and uneven from port to port.”**  
**John Quincy Adams (1817)**

Cortesia: Dr. May/NIST

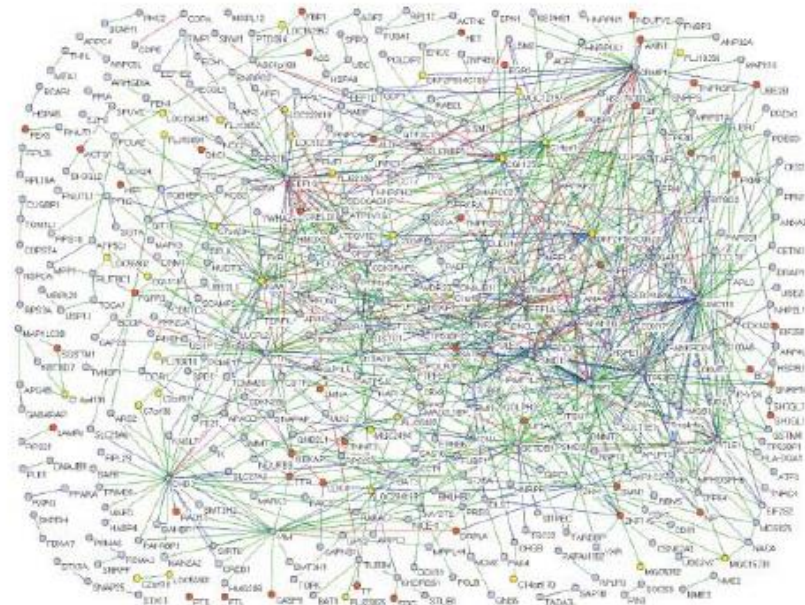
**“There shall be *standard measures of wine, ale, and corn* (the London quarter), throughout the kingdom. There shall also be a standard width of dyed cloth, russett, and haberject, namely two ells within the selvedges. *Weights are to be standardised similarly*”.**



Nos dias atuais o segundo pode ser medido com uma exatidão de  $10^{-17}$ . Ou seja, 1 segundo em 3 bilhões de anos!



Not as simple as we once thought



Mas, para que a medida (resultado de medição) tenha significado, precisamos de unidades! Assim, foi preciso a adoção de um Sistema de Medição.





- Entre pensadores e cientistas emerge a ideia de um Sistema de Medida Universal. Daí nasce o Sistema Métrico Decimal. Definiu o metro baseando-se no meridiano terrestre (1799).

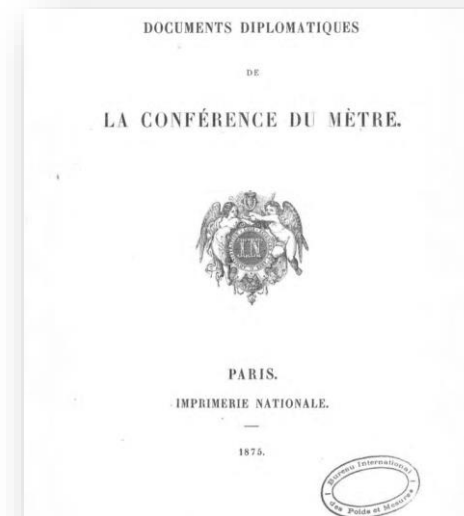
- Tratado Diplomático que criou o Bureau Internacional de Pesos e Medidas (*Bureau International des Poids et Mesures* – BIPM) sob a autoridade da Conferência Geral de Pesos e Medidas (*Conference Generale des Poids et Mesure*-CGPM) e sob supervisão do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (*Comité International des Poids et Mesures* – CIPM).

- O tratado foi assinado em 20 de maio de 1875, por 17 países, incluindo o Brasil

- O tratado definiu:

- A forma pela qual as atividades do BIPM deveriam ser financiadas e administradas.

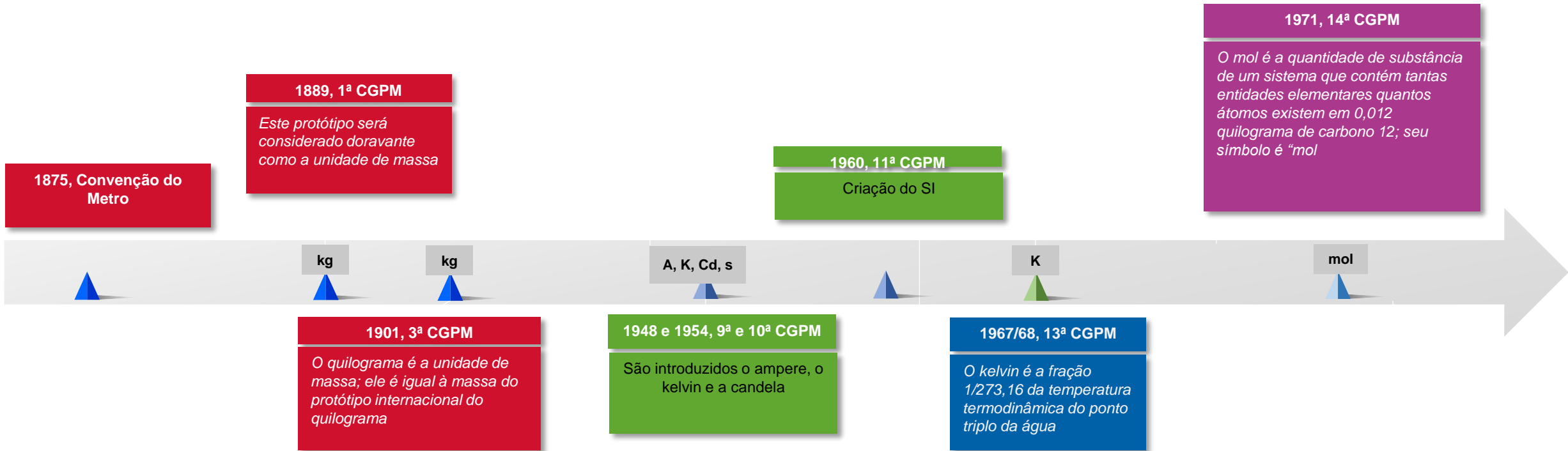
- A construção de novas materializações para o metro e quilograma, utilizando e desenvolvendo novas tecnologias baseadas em novos desenvolvimentos científicos, que passariam a ser os padrões internacionais de massa e comprimento.



- 59 Estados membros do BIPM
- 42 Associados à Conferência Geral de Pesos e Medidas



# Evolução das Unidades



Grandeza básica	Unidade de básica do SI	
comprimento	metro	m
massa	quilograma	kg
tempo, duração	segundo	s
corrente elétrica	ampere	A
temperatura termodinâmica	kelvin	K
quantidade de substância	mol	mol
intensidade luminosa	candela	cd



# A evolução das definições das unidades

## As sete grandezas do SI são independentes?

Um aspecto indesejável do atual SI está associado ao fato das sete grandezas de base que, por convenção, são consideradas como independentes, realmente não o são:

- *a definição do metro incorpora o segundo; a definição do ampere incorpora o metro, o quilograma e o segundo; a definição do mol incorpora o quilograma; e a definição da candela incorpora o metro, o quilograma e o segundo.*

# Nova definição das unidades do SI

## Em busca da perenidade

“If, then, we wish to obtain standards of **length, time, and mass** which shall be absolutely permanent, we must seek them not in the dimensions, or the motion, or the mass of our planet, but in the **wavelength**, the period of vibration, and the absolute mass of these imperishable and unalterable and perfectly similar molecules ”

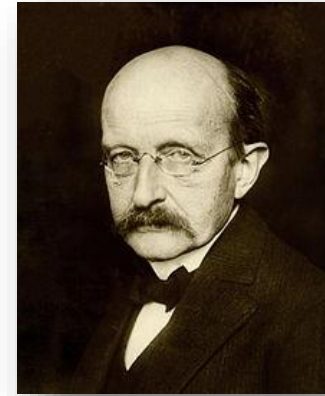
J. C. Maxwell (1870)



## Constantes fundamentais

“... com o auxílio das **constantes fundamentais** temos a possibilidade de estabelecer unidades de **comprimento, tempo, massa e temperatura**, que necessariamente permanecem válidas por todos os tempos e culturas, **mesmo as extraterrestres e não humanas**”

Max Planck, Annalen der Physik (1900)



Defining constant	Symbol	Numerical value	Unit
Hyperfine splitting of caesium	$\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$	9,192,631,770	Hz = s <sup>-1</sup>
Speed of light in vacuum	$c$	299,792,458	m s <sup>-1</sup>
Planck constant	$h$	$6.626070040 \times 10^{-34}$	J s = kg m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
Elementary charge	$e$	$1.6021766208 \times 10^{-19}$	C = A s
Boltzmann constant	$k$	$1.38064852 \times 10^{-23}$	J K <sup>-1</sup> = kg m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
Avogadro constant	$N_{\text{A}}$	$6.022140857 \times 10^{23}$	mol <sup>-1</sup>
Luminous efficacy	$K_{\text{cd}}$	683	cd sr W <sup>-1</sup> = cd sr kg <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> s <sup>3</sup>

The numerical values are taken from the 2014 CODATA adjustment without the present associated uncertainties (not applicable to  $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$  and  $c$ ) and may slightly change by 2018.



# Evolução das Unidades

1967/68, 13ª CGPM

O segundo é a duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133

1979, 16ª CGPM

A candela é a intensidade luminosa, numa dada direção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência  $540 \times 10^{12}$  hertz e que tem uma intensidade radiante nessa direção de  $1/683$  watt por esferorradiano

s

cd

m

1983, 17ª CGPM

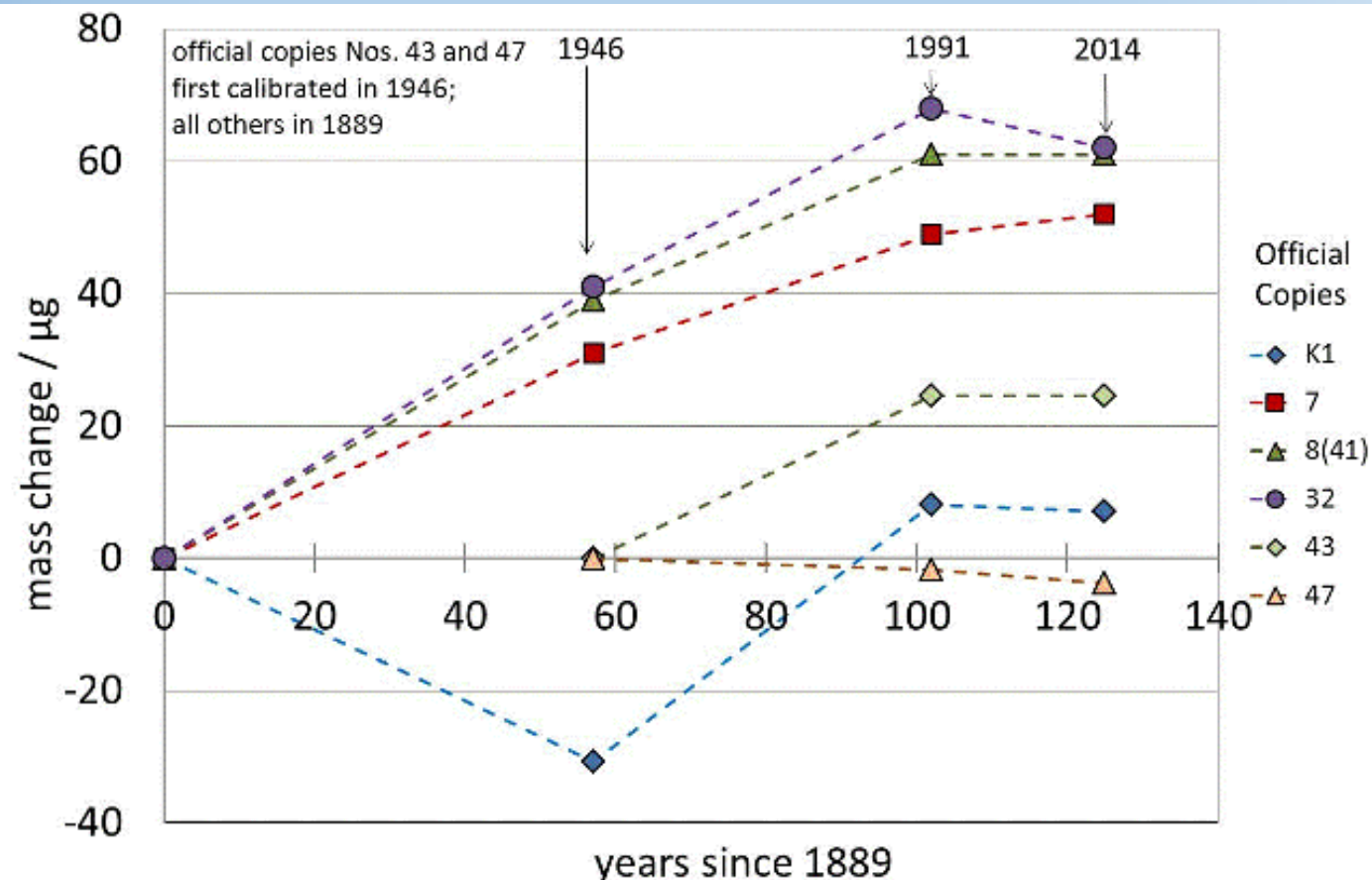
O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de  $1/299\,792\,458$  de segundo

Restaram 4 unidades que não eram dependentes de constantes da natureza: kg, A, K e mol



# O Protótipo Internacional do kg (IPK)

Porém a maior preocupação com o SI estava relacionada com a deriva sistemática dos protótipos do quilograma em relação ao IPK. (Instabilidade)

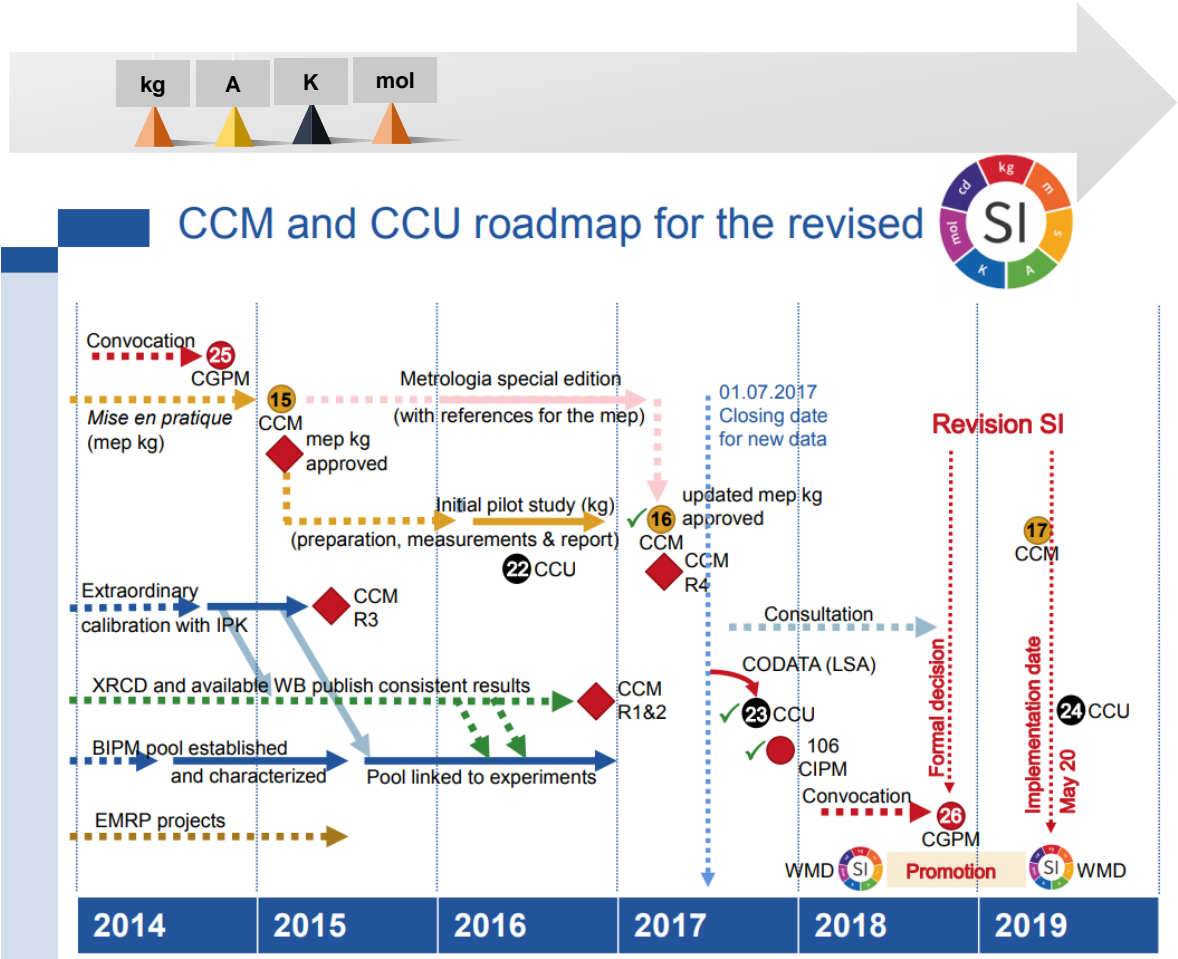


- O gráfico mostra as mudanças nas massas das cópias oficiais em relação ao IPK desde 1889 até 2014.
- A massa do *IPK* corresponde ao zero do eixo y.
- Até o 3º período de verificação (1988-1992) a mudança relativa das massas das cópias oficiais foi de cerca de 0,050 mg
- Essa tendência não foi observada no período entre 1992 e 2014, em a massa das cópias oficiais, em relação ao IPK, se mantiveram aproximadamente estáveis

# O caminho para o novo SI

## 2018, 26ª CGPM

Votação e aprovação da redefinição do SI. Entrada em vigor a partir de 20 de Maio de 2019.



Fonte: <https://www.bipm.org/utis/common/pdf/SI-roadmap.pdf>

## REQUISITOS

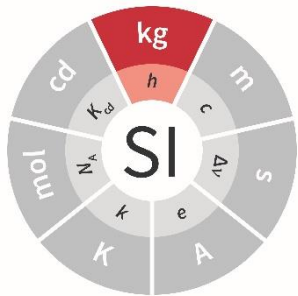
### CCM- h

Ao menos 3 experiências usando 2 métodos diferentes, incluindo balança de Kibble e XRCD com  $u_r < 50$  ppb, E pelo menos uma com  $u_r < 20$  ppb.

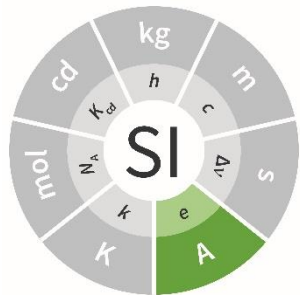
### CCT- $k_B$

Valor de  $k_B$  com  $u_r < 1$  ppm a partir de dois métodos “fundamentalmente diferentes”, de termometria primária, com  $u_r < 3$  ppm.

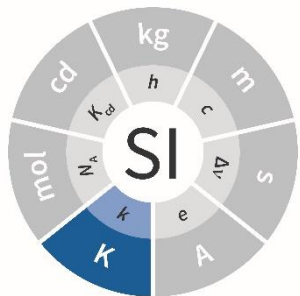
# Quais definições mudaram?



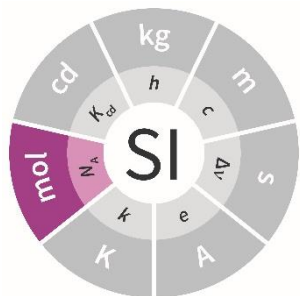
- quilograma
- Definido em termos da constante de Planck,  $h$
- Terá a mesma incerteza de  $h$
- Poderá ser realizada por Balança de Kibble ou Método de Avogadro (XRCD)
- As incertezas oferecidas aos clientes dos INMs não serão afetadas



- ampere
- As mudanças vão resultar pequenas nas unidades elétricas disseminadas
- Na maioria dos casos não será necessário nenhuma mudança substancial, pois o volt vai mudar em cerca de 0,1 parte por milhão e ohm menos do que isso
- Nos INM pode ser necessário fazer ajustes nas incertezas de medição



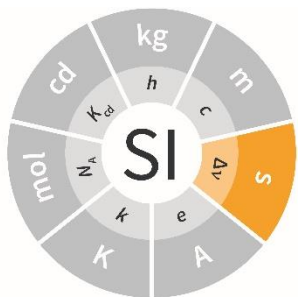
- kelvin
- Não haverá efeitos imediatos nos procedimentos de medição de temperatura
- Terá incerteza de  $k$
- A redefinição permitirá a introdução de futuras melhorias, especialmente em temperaturas extremas



- mol
- O mol não mais dependerá da unidade de massa, pois ele será definido em termos de entidades como átomos ou moléculas, embora a rastreabilidade ao mol possa continuar sendo estabelecida pelas emprego de técnicas de medição de massa
- Terá incerteza de  $N_A h$
- Os pesos atômicos não serão afetados e não será necessário mudanças nas práticas atuais

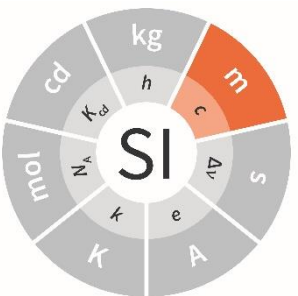


# Quais definições vão permanecer?



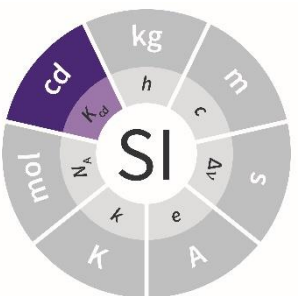
## segundo

- Continuará definida em termos de frequência de transição hiperfina do átomo de Césio 133
- A cadeia de rastreabilidade não será afetada
- A metrologia de tempo e frequência não será afetada



## metro

- Continuará definida em termos da velocidade da luz (constante fundamental da física)
- As práticas de metrologia dimensional não serão afetadas

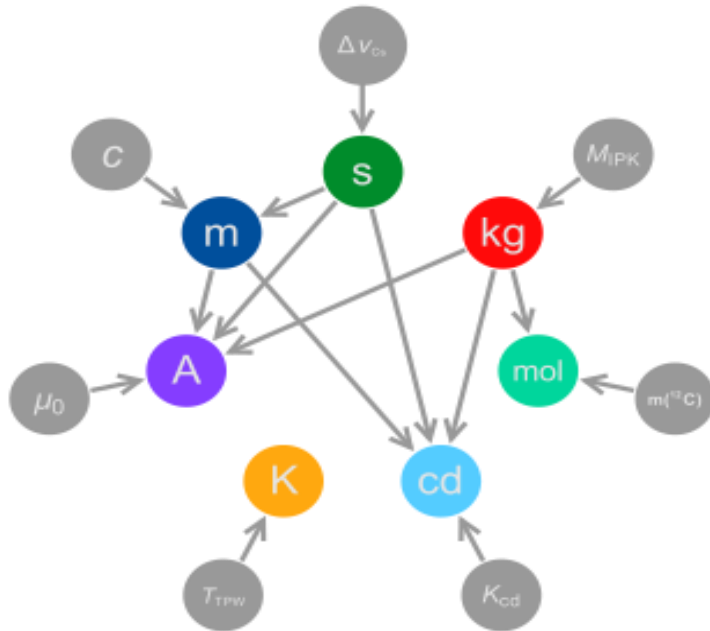


## candela

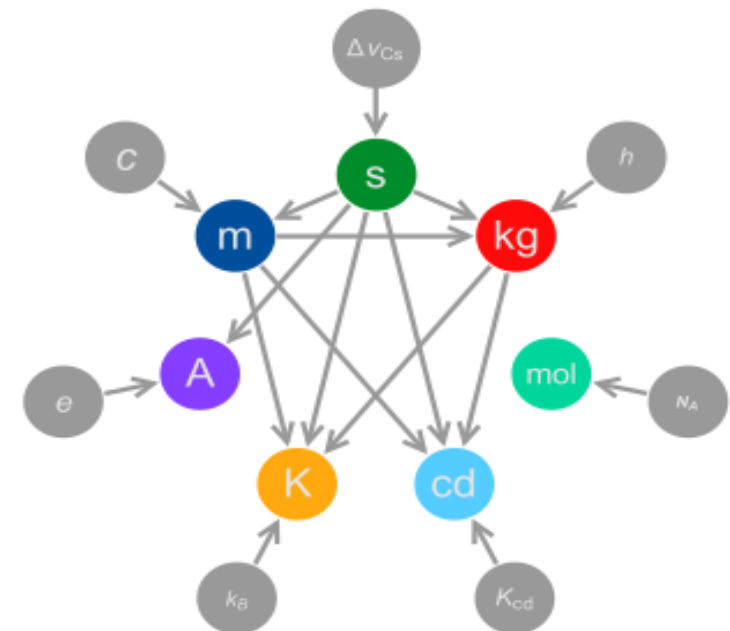
- Continuará definida em termos  $K_{cd}$  (constante técnica para fotometria) e será ligada ao watt.
- A rastreabilidade à candela será estabelecida com as mesmas incertezas por meio de métodos radiométricos

# O antigo e o novo SI

## O antigo SI



## O novo SI



- O SI foi revisado (mais uma vez) e as definições de QUATRO das SETE unidades foram atualizadas.

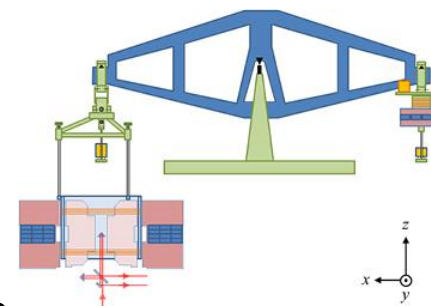
- Novas definições aprovadas em Novembro/2018

- Entrada em vigor em 20 de Maio de 2019

O SI já mudou algumas vezes desde a sua adoção pelo CGPM em 1960.

# O Futuro - O antigo e o novo SI: caso do quilograma

Constantes fundamentais estão sendo usadas para (re)definir as unidades do Sistema Internacional de Unidades



$h$



## On the redefinition of the kilogram

B N Taylor and P J Mohr

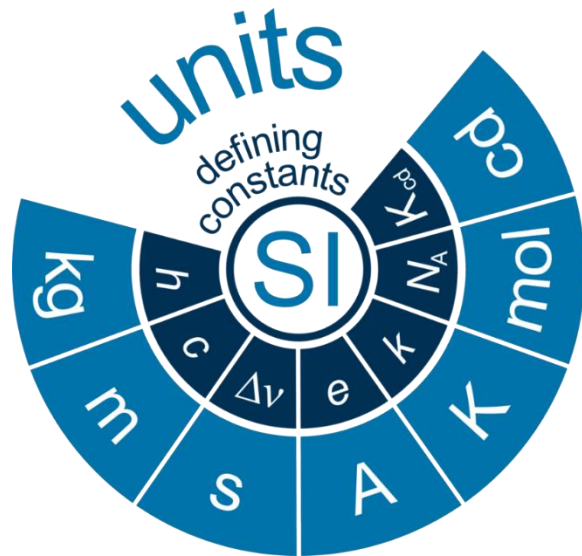
[Metrologia, Volume 36, Number 1](#)

Se uma balança, ou uma esfera de  $S_i$ , podem ser usadas para medir o valor de  $h$ , então o processo pode ser revertido: ao fixar o valor de  $h$  qualquer artefato capaz de medir  $h$ , como a balança Kibble e a esfera de  $S_i$  pode ser usado para medir uma massa desconhecida.

[1] [http://www.culturaclasica.com/cultura/sistema\\_metrico.htm](http://www.culturaclasica.com/cultura/sistema_metrico.htm)

[2] B M Wood, C A Sanchez, R G Green and J O Liard (2017). A summary of the Planck constant determinations using the NRC Kibble balance. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1681-7575/aa70bf>





As definições das sete unidades de base proposta para o novo SI as associam naturalmente a um conjunto de sete invariantes da natureza.

A história das medidas está associada à procura de um sistema de unidades justo, aceito por todos os povos e imutável.

**S**erão as constantes da natureza realmente constantes ou variam lentamente em uma escala cosmológica?

**E**stará essa busca terminada com o novo SI, com as suas novas unidades, invariantes no espaço e no tempo?



***Aí começa outra história ...***

# Referências

<https://www.bipm.org/en/measurement-units/rev-si/>

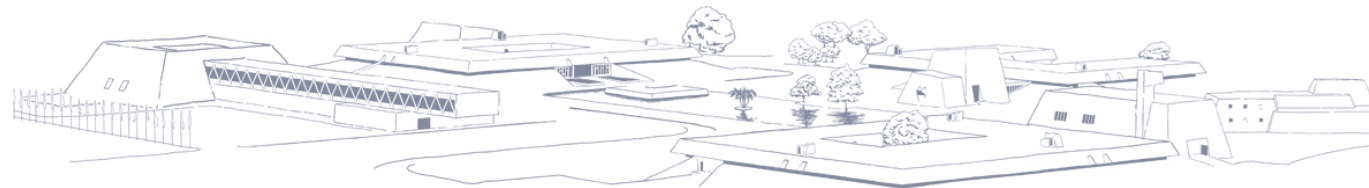
- 9th edition of the SI brochure, to be published. A draft is available on the BIPM web site.
- F. Delahaye and B. Jeckelmann, 'Revised technical guidelines for reliable dc measurements of the quantized Hall resistance', *Metrologia*, 40(5), 217-223 (2003).
- D. Newell, F. Cabiati, J. Fischer, K. Fujii, S. G. Karshenboim, H. S. Margolis, E. de Mirandes, P.J. Mohr, F. Nez, K. Pachucki, T. J. Quinn, B. N. Taylor, M. Wang, B. Wood and Z. Zhang, 'The CODATA 2017 Values of  $h$ ,  $e$ ,  $k$ , and  $N_A$  for the Revision of the SI', *Metrologia*, 55(1) L13-L16 (2018).
- 'CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 2018', to be published.
- <http://www.bipm.org/en/measurement-units/new-si/#communication>
- <http://www.bipm.org/en/committees/cc/>
- <http://www.bipm.org/en/committees/cc/wg/cipm-tgsi.html>
- <http://www.bipm.org/en/committees/cc/wg/wgsi.html>
- David B. Newell, "A more fundamental International System of Units", *Physics Today* 67(7), 35 (2014)
- [www.npl.co.uk/news/special-journal-edition-on-the-new-si](http://www.npl.co.uk/news/special-journal-edition-on-the-new-si)
- <http://www.npl.co.uk/reference/measurement-units/proposed-si-changes/>
- <https://www.ptb.de/cms/en/research-development/research-on-the-new-si.html>
- Nick Fletcher, Gert Rietveld, James Olthoff, Ilya Budovsky, and Martin Milton, "Electrical Units in the New SI: Saying Goodbye to the 1990 Values", *NCSLI Measure*, Vol. 9, Iss. 3, 2014
- SI Brochure published following adoption of the "Revised SI" (9th edition). [
- Richard P, Fang H and Davis R, "Foundation for the redefinition of the kilogram", *Metrologia* 53 (2016) A6–A11.
- OIML D28 (2004), [https://www.oiml.org/en/files/pdf\\_d/d028-e04.pdf](https://www.oiml.org/en/files/pdf_d/d028-e04.pdf) [3.2] Robinson I A and Schlamminger S, "The watt or Kibble balance: a technique for implementing the new SI definition of the unit of mass", *Metrologia* 53 (2016) A46– A74.
- Shaw G A, Stirling J, Kramar J A, Moses A, Abbott P, Steiner R, Koffman A, Pratt J R and Kubarych Z J, "Milligram mass metrology using an electrostatic force balance", *Metrologia* 53 (2016) A86–A94.
- Davis R S and Milton M J T, "The assumption of the conservation of mass and its implications for present and future definitions of the kilogram and the mole", *Metrologia* 51 (2014) 169–173.
- Cladé P, Biraben F, Julien L, Nez F and Guellati-Khelifa S, "Precise determination of the ratio  $h/m\mu$ : a way to link microscopic mass to the new kilogram", *Metrologia* 53 (2016) A75–A82. [
- Fujii K, Bettin H, Becker P, Massa E, Rienitz O, Pramann A, Nicolaus A, Kuramoto N, Busch I and Borys M, "Realization of the kilogram by the XRCD method", *Metrologia* 53 (2016) A19-A45.
- CCM Recommendation G 1 (2017), [https://www.bipm.org/cc/CCM/Allowed/16/06E\\_Final\\_CCM-Recommendation\\_G1-2017.pdf](https://www.bipm.org/cc/CCM/Allowed/16/06E_Final_CCM-Recommendation_G1-2017.pdf)
- Stock M, Davidson S, Fang H, Milton M, de Mirandés E, Richard P and Sutton C, "Maintaining and disseminating the kilogram following its redefinition", *Metrologia* 54 (2017) S99-S107.
- Paper on the BIPM ensemble of reference mass standards [
- Nielsen L, "Disseminating the unit of mass from multiple primary realisations", *Metrologia* 53 (2016) 1306-1316. [4.5] Measurement comparisons in the CIPM MRA, CIPM MRA-D-05, Version 1.6 (March 2016), [http://www.bipm.org/utis/common/CIPM\\_MRA/CIPM\\_MRA-D-05.pdf](http://www.bipm.org/utis/common/CIPM_MRA/CIPM_MRA-D-05.pdf)
- Link to BIPM.M-K1 [
- Traceability in the CIPM MRA, CIPM 2009-24 (revised 13 October 2009) [http://www.bipm.org/cc/CIPM/Allowed/98/CIPM2009\\_24\\_TRAC\\_MRA\\_REV\\_13\\_OCT\\_2009.pdf](http://www.bipm.org/cc/CIPM/Allowed/98/CIPM2009_24_TRAC_MRA_REV_13_OCT_2009.pdf) [
- Resolution 1 of 24th CGPM (2011), [http://www.bipm.org/utis/common/pdf/24\\_CGPM\\_Resolutions.pdf](http://www.bipm.org/utis/common/pdf/24_CGPM_Resolutions.pdf)
- Resolution 1 of the 25th CGPM (2014), <http://www.bipm.org/utis/common/pdf/CGPM-2014/25th-CGPM-Resolutions.pdf>
- Report on CCM Pilot Study CCM.R-kg-P1, [https://www.bipm.org/cc/CCM/Allowed/16/03-7B2\\_CCM-PilotStudy-FinalReport.pdf](https://www.bipm.org/cc/CCM/Allowed/16/03-7B2_CCM-PilotStudy-FinalReport.pdf) [
- Resolution 1 of the 26th CGPM (2018)
- Stock M, Barat P, Davis R S, Picard A and Milton M J T, "Calibration campaign against the international prototype of the kilogram in anticipation of the redefinition of the kilogram part I: comparison of the international prototype with its official copies", *Metrologia* 52 (2015) 310–316. de Mirandés E, Barat P, Stock, M and Milton M J T, "Calibration campaign against the international prototype of the kilogram in anticipation of the redefinition of the kilogram, part II: evolution of the BIPM as-maintained mass unit from the 3rd periodic verification to 2014" *Metrologia* 53 (2016) 1204–1214.
- Mohr P J, Newell D B, Taylor B N and Tiesinga E., "Data and analysis for the CODATA 2017 Special Fundamental Constants Adjustment," *Metrologia* 55 (2018) 125-146. Draft for Appendix 2 of the SI Brochure for the "Revised SI" 03/05/2018 Version 11.1 8
- Davis, R S, "The role of the international prototype of the kilogram after redefinition of the International System of Units", *Phil. Trans. R. Soc. A*, 369 (2011) 3975-3992. [A1.1] Mise en pratique of the definition of the ampere. [A1.2] Mise en pratique of the definition of the kelvin. [A1.3] SI Brochure: The International System of Units (SI)
- B. Andreas et al., *Phys. Rev. Lett.* 106 (2011), 030801 [2] B. Andreas et al., *Metrologia* 48 (2011), S1–S13 [3] Y. Azuma et al., *Metrologia* 52 (2015), 360-375 ; Open Access [4] J. Stenger and E.-O. Göbel, *Metrologia* 49 (2012), L25–L27 [5] M. Milton and T. Quinn, *Metrologia* 38, (2001), 289-296 [6] M. Milton and I. Mills, *Metrologia*, 46 (2009), 332-338 [7] P.J. Mohr et al., *Rev. Mod. Phys.* 84 (2012) 1527-1605 [8] R. Bouchendira et al., *Ann. Phys. (Berlin)* 525 (2013), 484-492
- Palestra Prof. Humberto Brandi. *Inmetro* 5/2018.

# Obrigado pela Atenção

 Ouvidoria: 0800 285 1818

 [inmetro.gov.br](http://inmetro.gov.br) /  [facebook.com/Inmetro](https://facebook.com/Inmetro)

 [youtube.com/tvinmetro](https://youtube.com/tvinmetro) /  [twitter.com/Inmetro](https://twitter.com/Inmetro)



---

 **INMETRO**

MINISTÉRIO DA  
ECONOMIA

 **PÁTRIA AMADA  
BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL