

ANAIS DA 66ª REUNIÃO ANUAL DA SBPC - RIO BRANCO, AC - JULHO/2014

REDEFINIÇÃO DO SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

LUIZ VICENTE GOMES TARELHO

DIVISÃO DE METROLOGIA EM TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÕES

DIRETORIA DE METROLOGIA CIENTÍFICA E INDUSTRIAL

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA

ltarelho@inmetro.gov.br

A CGPM (Conferência Geral de Pesos e Medidas) emitiu uma resolução que encorajava a comunicação e o debate de uma possível futura revisão do Sistema Internacional de Unidades (SI) durante sua 24ª reunião bianual em Outubro de 2011. Para disseminar a discussão foi dado acesso irrestrito e universal ao site do BIPM (Bureau Internacional de Pesos e Medidas) que possui os documentos chaves para a redefinição de certas unidades do SI. Esses documentos estão atualmente em estágio de rascunho e deverão ser avaliados na reunião de outubro de 2014 e provavelmente só serão aprovados em 2018.

Nessa proposta de um novo SI, quatro das unidades base do SI, o quilograma, o Ampere, o Kelvin e o mol serão redefinidos em termos de invariantes da natureza ^[i]. Estas novas definições serão baseadas em valores numéricos da constante de Planck (h), a carga elementar (e), a constante de Boltzmann (k), e a constante de Avogadro (N_A), respectivamente. Algumas constantes diferentes foram propostas e avaliadas ^[ii], como o comprimento de Compton (λ_e), a permeabilidade dielétrica do vácuo (μ_0), constante de Rydberg (R_∞) e massa do elétron (m_e), mas elas não permitiam criar um conjunto completo de modo a formar uma base unitária para as sete unidades. Esta proposta deu origem à definição das unidades de um SI baseado em mecânica quântica.

Na definição corrente do SI somente as grandezas tempo e comprimento são explicitadas em relação a constantes da natureza e as grandezas corrente elétrica, intensidade luminosa e mol são dependentes do protótipo internacional do quilograma enquanto a temperatura termodinâmica é realizada através de outro artefato materializado que é a célula de ponto triplo da água. Devido ao acompanhamento secular do padrão primário do quilograma foram observadas discrepâncias no valor do padrão e acredita-se que a estabilidade ficou comprometida para garantir medições de alta exatidão rastreadas ao padrão atual. Com a dependência da realização da corrente elétrica, intensidade luminosa e mol é necessária uma mudança na definição dessas grandezas para acompanhar a mudança na definição da massa.

No novo SI, as definições das sete unidades serão uniformemente expressas usando a formulação de explicitação da constante, e as realizações práticas das grandezas serão descritas para explicar de um modo prático as maneiras de realizar as definições.

O Sistema Internacional de Unidades, o SI, será o sistema de unidades no qual:

- 1 A frequência de separação entre os níveis do estado fundamental do átomo de césio $-\nu(^{133}\text{Cs})$ **hfs** é exatamente 9 192 631 770 hertz [Hz],
- 2 A velocidade da luz no vácuo **c** é exatamente 299 792 458 metro por segundo [m s⁻¹],
- 3 A constante de Planck **h** é exatamente 6,626 06X × 10⁻³⁴ joule segundo, [J s],
- 4 A carga elementar **e** é exatamente 1,602 17X × 10⁻¹⁹ coulomb, [C],
- 5 A constante de Boltzmann **k** é exatamente 1,380 65X × 10⁻²³ joule por kelvin, [J K⁻¹],
- 6 A constante de Avogadro **N_A** é exatamente 6,022 14X × 10²³ mole recíproco, [mol⁻¹],
- 7 A eficácia luminosa **K_{cd}** da radiação monocromática de frequência 540 × 10¹² hertz é exatamente 683 lumen por watt, [lm W⁻¹]

A escolha dessa redefinição do SI pode ser descrita através de uma análise dimensional das constantes envolvidas nas definições das grandezas como apresentado na Tabela 1

Tabela 1 – Dimensões das constantes utilizadas

Constante	Dimensão
ν_{Cs}	s ⁻¹
c	s ⁻¹ m ¹
h	s ⁻¹ m ² kg ¹
e	s ¹ A ¹
k_B	s ⁻² m ² kg ¹ K ⁻¹
N_A	mol ⁻¹
K_{Cd}	s ³ m ⁻² kg ⁻¹ cd ¹

De posse dessa descrição das constantes em função das dimensões, podemos estabelecer um sistema de equações lineares e descrever inversamente essa dependência, ou seja descrever as dimensões em função das constantes e como essas dimensões podem ser identificadas com as grandezas do SI teremos uma descrição das grandezas em função das constantes.

Essa é a principal contribuição dessa redefinição pois assumindo-se que as constantes escolhidas apresentam invariância temporal, ou sejam apresentam uma estabilidade temporal, as unidades e grandezas do SI serão boas descrições de unidades fundamentais.

Na Ilustração 1 são apresentadas as sete equações que descrevem as unidades fundamentais em função das constantes da natureza.

$$\begin{aligned}
s &= \frac{9\,192\,631\,770}{\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{hfs}} \\
m &= \left(\frac{c}{299\,792\,458}\right) s = 30.663\,318 \dots \frac{c}{\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{hfs}} \\
kg &= \left(\frac{h}{6.626\,069\,57 \cdot 10^{-34}}\right) m^{-2} s = 1.475\,521 \dots 10^{-40} \frac{h \Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{hfs}}{c^2} \\
A &= \left(\frac{e}{1.602\,176\,565 \cdot 10^{-19}}\right) s^{-1} = 6.789\,687 \dots 10^8 \Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{hfs} \text{ e} \\
K &= \left(\frac{1.380\,648\,8}{k}\right) kg \, m^2 \, s^{-2} = 2.266\,665 \dots \frac{\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{hfs} h}{k} \\
mol &= \frac{6.022\,141\,29 \cdot 10^{23}}{N_A} \\
cd &= \left(\frac{K_{cd}}{683}\right) kg \, m^2 \, s^{-3} \, sr^{-1} = 2.614\,830 \dots 10^{10} \Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{hfs}^2 h K_{cd}
\end{aligned}$$

Ilustração 1- Equações das 7 unidades fundamentais

O mais interessante dessa redefinição é que o papel mais central do novo SI é dado para a frequência da transição entre estados fundamentais do átomo de césio - $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{hfs}$, tornando seis das sete grandezas do SI correlacionadas com a realização prática do segundo.

Dessa maneira a padronização de tempo e frequência se tornou uma tecnologia estratégica e um conhecimento metrológico que se tornará imprescindível para garantir a realização de seis das sete unidades do SI de acordo com a nova definição.

Tendo isso em mente o Inmetro está implantando a metrologia de tempo de frequência no Campus de Xerém para garantir a confiabilidade e rastreabilidade das grandezas que são padronizadas, mantidas e disseminadas a partir do instituto metrológico.

ⁱ Draft Chapter 2 for SI brochure - following redefinitions of the base units. (draft for 9th edition of SI - The International System of Units)

ⁱⁱ Peter J Mohr, "Defining units in the quantum based SI", *Metrologia* **45** (2008) 129–133.