

O metro ou a metrologia baseada na Natureza, universal e invariável

Olivier Pellegrino

Instituto Português da Qualidade
opellegrino@ipq.pt

Resumo

A redefinição das sete unidades de base do Sistema Internacional de unidades (SI), adotada em 2018, é a oportunidade para apresentar a origem e o motivo da criação do antepassado do SI, o Sistema Métrico Decimal (SMD), baseado no metro, unidade da grandeza comprimento, como parte essencial da metrologia. São assim lembrados os principais atores e as respetivas motivações que intervieram, bem como os avanços proporcionados, para a progresso da ciência e da metrologia em particular. De construção coerente, o SI integra os progressos tecnológicos e científicos com o objetivo de ficar o mais universal, perene e exato possível, como o evidencia a recente redefinição das unidades de base.

1. Introdução

A Metrologia é a ciência da medição. É assim que está definida pelo Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM) [1], cuja mais recente versão, a terceira, data de 2012, sendo produzida uma versão cada 15 anos aproximadamente. O VIM é uma publicação coordenada pelo Bureau Internacional dos Pesos e Medidas (BIPM), à qual participam mais sete organizações internacionais da ciência, normalização e regulamentação internacionais [1]. Ora, se não existe muita dificuldade para o vocábulo “ciência”, embora “a arte¹ da medição” também fosse sugerida [3], é preciso ter consciência da necessária mudança do significado de “medição”, devido à evolução do respetivo domínio de aplicação com o aumento das capacidades científico-tecnológicas, que está original e principalmente concebida como uma ação tendo por objetivo atribuir um valor, expresso com um número, a uma determinada propriedade de objetos, fenómenos ou materiais [4]. Assim, a importância crescente de novas áreas de atuação (principalmente as associadas às propriedades dos seres humanos, como por exemplo a saúde, onde intervêm grandes números de parâmetros) faz incluir também no conceito de medição a determinação de valores de propriedades qualitativas [5].

A necessidade de medição, no sentido original neste texto, é associada à troca de bens e serviços, e a uma consequente organização da vida social. Com efeito, a avaliação e por consequência a medição dos recursos em jogo nessas trocas permitem a sua simplificação e melhoria. Mais concretamente, a medição tem sido sempre composta por uma sucessão de ações executadas com rigor para garantir resultados, tornando-se um ritual [6] e utilizando padrões - os equipamentos utilizados para obtenção desses resultados, com cada vez maior nível de confiança.

Os exemplos históricos de padrões das principais civilizações são frequentemente de origem antropométrica e podem ser encontrados em várias obras, das quais podem ser destacadas em língua portuguesa, “Pesos e Medidas em Portugal” [7], do primeiro Diretor do Departamento de Metrologia do Instituto Português da Qualidade, António Cruz, e, em língua inglesa *World in the balance* [8] de Robert P. Crease.

Os padrões, no seu conjunto, têm seguido uma evolução com o tempo que foi interpretada como uma consequência do avanço tecnológico das civilizações [9] sem, todavia, lhe ter sido associada a designação “metrologia”. Pois, este processo, que durou largos séculos, culminou com a adoção do sistema métrico decimal (SMD), a primeira designação do Sistema Internacional de unidades (SI). Um dos objetivos deste texto é muito sucintamente introduzir este processo através de etapas balizadas pelos principais atores. Assim, propomos apresentar a origem da unidade metro, a base do SMD, cuja base prática e legal festeja este ano o respetivo 220.º aniversário.

Antes do SMD

Observando o império romano, as trocas de pessoas e mercadorias, dentro desse imenso território, eram possíveis pela existência de 11 unidades de medida de comprimento, mas com fatores multiplicativos e submultiplicativos entre elas, de base binária, terceira ou decimal, assim como da existência de 26 unidades de medida para a massa, com fatores entre múltiplos e submúltiplos sem coerência numérica [7]. No século IX, no império de Carlos Magno, utilizavam-se menos

¹ A “arte” é entendida como “aplicação do saber à obtenção de resultados práticos, sobretudo quando aliado ao engenho” [2]

unidades de medida do que no império romano e, embora baseadas nas unidades desse último, é admitido que foi o último estado que conseguiu uma uniformização dos pesos e medidas na totalidade do seu território, i. e. desde o poder central até ao “utilizador final”. Mas, para uma mesma grandeza, as designações dessas unidades de medida não tinham qualquer ligação entre elas e os fatores de conversão continuavam com diferentes sistemas de numeração. Na península ibérica, foram ainda introduzidas as unidades de medida árabes, com diversos fatores de conversão. Após a reconquista, em Portugal, foram realizadas diversas reformas uniformizadoras dos pesos e medidas. Por exemplo, na reforma manuelina [7], as 6 unidades de medida para o “peso”² passaram a 8 com fatores multiplicativos de 2, 4 e 32, e submúltiplos iguais a 1/8, 1/3, e 1/24. Resumindo, durante os quase 1000 anos posteriores ao império de Carlos Magno, nenhum estado conseguiu uma uniformização dos pesos e medidas. O poder dos senhores locais impunham unidades de medida locais que eram utilizadas para o pagamento dos impostos e taxas locais (por oposição e independentemente do estado central) muitas vezes em espécie e que eram arbitrariamente aumentados, por meio da alteração do tamanho dos padrões [10]... “Dois pesos, duas medidas” foi a expressão que apareceu mais vezes nas reclamações nos Estados Gerais em França, convocados em 1789 pelo rei Luís XVI, para tentar acalmar a exasperação da população, que necessitava uma uniformização metrológica, uma exigência global da sociedade em vários domínios. Com efeito, se todos os terrenos fossem medidos com a mesma unidade, os impostos sobre a propriedade podiam ser calculados da mesma maneira e logo ser mais justos.

Fundamentos científicos da criação do SMD

Essa exigência de uniformização e de justiça encontrou grande apoio e expressão no Renascimento, porque este último fomentava o progresso das técnicas e a construção do método científico, possibilitando em particular a eclosão da ciência física associada à matemática (lembremo-nos da frase do Galileu Galilei, em 1623³: “...o universo... está escrito em língua matemática”), caracterizada e incentivada pelas trocas de ideias e experiências entre os diferentes lugares de produção de conhecimento. Além de Galileu Galilei em Itália, podem ser referidos Francis Bacon em Inglaterra, Isaac Beeckman nos Países Baixos e René Descartes em França, como alguns exemplos das mais brilhantes personalidades do século XVII na origem do pensamento científico.

A “comunidade científica” tomou então progressivamente consciência que a consolidação do conhecimento impunha a existência de padrões de medição universais, i. e. independentes do lugar e do tempo, e descobertas científicas iam permitir a criação desses primeiros padrões. Em 1583, o ainda jovem Galileu Galilei observava que o período de um pêndulo simples, de pequenas oscilações, só dependia do

comprimento do fio, i.e. não dependia nem da massa pendurada, nem do impulso inicial, publicando, em 1638, a lei matemática correspondente⁴, seguido, em 1673, da publicação da expressão do período do pêndulo, para grandes oscilações, por Christian Huygens que sugeria, como aplicação desta descoberta, que o padrão de comprimento podia ser um fio de pêndulo correspondendo a um período de oscilação de um segundo, num determinado sítio da Terra⁵.

Em alternativa a este candidato a padrão que ainda dependia da grandeza tempo e do sítio onde era medido, um padrão de medição universal de comprimento podia simplesmente ser uma característica universal e invariável da Natureza, por exemplo, do próprio planeta Terra. Isso foi proposto pelo abade, astrónomo e matemático Gabriel Mouton nas *Observationes diametrorum solis et lunae apparentium*, em 1670, em que apresentava um sistema de medidas universal baseado no comprimento da circunferência da Terra e em que os múltiplos e submúltiplos da unidade eram decimais.

Em 1668, a adoção de uma medida universal (*universal measure*) de unidades decimais tinha sido também mencionada pelo eclesiástico e cientista inglês John Wilkins, em *An Essay towards a Real Character and a Philosophical Language*, e, em 1675, o inventor, matemático, astrónomo e arquiteto italiano, Tito Livio Burattini, em *Misura universal*, deu o nome a essa unidade de medida universal de *metro cattolico*, a partir do greco *métron*, e *katholikós*, que correspondem ao português “medida” e “universal”, respetivamente⁵.

A notação decimal para a representação dos números foi, pela primeira vez, utilizada pelo engenheiro, físico e matemático flamengo Simon Stevin, em 1585, no *De Thiende*, “O Décimo”, cujo anexo é um apelo simultâneo para um sistema universal de medidas e para múltiplos e submúltiplos apenas em base decimal [12]. Progressivamente a notação numérica decimal foi se impondo, como o exemplificam vários artigos da *Encyclopédie* [13]. Esta obra de referência, que sintetizava o conhecimento no século XVIII, abordava também vários temas chave da arte ou ciência da medição, tais como a redução do número de unidades de medida (embora sem acreditar na sua concretização), a escolha do sistema decimal, a noção de grandeza e o tema da precisão da medição, entre outros [14], mas sem ainda usar o termo *Metrologie*.

Foi o livro do matemático Alexis de Paucton, em 1780, *Métrologie ou traité des poids, mesures et monnaies* que associou de maneira definitiva o termo *Métrologie* ao processo de medição e ao uso de padrões, tomando exemplos das práticas dos tempos bíblicos,

² Presente no Museu da Metrologia, no IPQ, único em Portugal e dos poucos na Europa, o marco-padrão de D.Manuel I contém 16 peças desde 1 escrúpulo até 2 arrobas e tem uma massa de 1 quintal (=58,754 kg) igual a 4 arrobas, iguais a 100 arratéis, iguais a 200 marcos

³ no *Il Saggiatore* ou “O ensaiador”, em português

⁴ no magnífico *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche Intorno a Due Nuove Scienze*, com uma tradução disponível em Portugal [11]

⁵ De acordo com a lei de gravitação de Newton

faraónicos, gregos e romanos antigos [15]. Este livro, que menciona a existência, nos tempos antigos, de padrões universais e comensuráveis ao tamanho da Terra, teve uma grande influência nos criadores do SMD, decididos em acabar com o carácter local e efémero, bem como frequentemente arbitrário, dos padrões dessa época, nos quais estava baseado o poder feudal.

A criação do SMD

No final do século XVIII, estavam disponíveis as ferramentas para a criação do SMD e coube à Revolução Francesa dar as condições para concretizar a respetiva realização. Com efeito, em seguimento da reunião dos Estados Gerais, de maio de 1789, foram abolidos os privilégios feudais (a 4 de agosto de 1789) e declarada a igualdade dos cidadãos – através da proclamação da Declaração dos direitos do homem e do cidadão⁶ (a 26 de agosto de 1789), condições para a mudança do uso milenário dos pesos e medidas nesse país. Logo no início da Revolução Francesa, foi criada uma comissão de membros da *Académie des Sciences*, em que se encontravam o físico Charles-Augustin Coulomb, o matemático Pierre-Simon Laplace e o químico Antoine Lavoisier, para refletir e propor a uniformização dos pesos e medidas, respondendo às reclamações dos Estados Gerais. Baseadas em recomendações dos académicos, decisões foram tomadas como emanações de relatórios de políticos levando à criação do SMD.

Primeiro, exigiu-se abandonar as unidades de medida em vigor, por serem demais nacionais e, portanto, locais e efémeras, para novas unidades com carácter universal e eterno. Como já vimos, as unidades então em vigor tinham tão pouca ligação entre elas que, até para uma mesma grandeza, a conversão entre essas unidades tinha fatores de conversão de diferentes bases de numeração. Em consequência, foi escolhida uma escala única: a escala decimal.

Por se tratar de unidades de medida novas, era necessário associar nomes novos e a arbitrariedade que dominava na designação das unidades de medida foi substituída por uma designação metódica, como tinha sido aplicado, pouco anos antes, na criação da nomenclatura em Química [16], por sua vez, inspirada pela nomenclatura binomial dos botanistas [17] e sobretudo inspirada pelos princípios do filósofo Étienne Bonnot de Condillac [18], de quem Lavoisier assume-se seguidor no Discurso Preliminar do Tratado Elementar de Química [19], afirmando

“As palavras devem fazer nascer a ideia e a ideia deve invocar o facto, sendo, deste modo, três etapas de um mesmo processo. E, como são as palavras que conservam as ideias e as transmitem, não se pode aperfeiçoar a linguagem sem aperfeiçoar

a ciência, nem a ciência sem aperfeiçoar a linguagem. É que, por mais certos que sejam os factos e mais exatas as ideias que os fizeram nascer, eles transmitirão apenas impressões falsas se não tivermos expressões exatas para os designar.”

Para garantir o carácter universal, os novos nomes não podiam ser da língua francesa e, como para a nomenclatura em Química, foram escolhidos nomes com origem nas línguas antigas. Na nomenclatura binomial, os nomes para os prefixos indicando os submúltiplos são de raiz latina (mili-, centi-, deci-) e os indicando os múltiplos são de raiz grega (deca-, hecto-, kilo-). Nessa nomenclatura, os nomes indicando as unidades principais, aqui vem do latim *area*, com o significado de “área”, litro do grego *litra*, com o significado de medida líquida e grama do grego *gramma* unidade de peso nos Romanos.

Continuando, após proposta de uma comissão da *Académie des Sciences* constituída de Borda, Condorcet, Laplace, Lagrange e Monge, um decreto de 26 de março de 1791 adotou como unidade de medida natural e universal o comprimento igual à decimo-milionésima parte do quarto do meridiano terrestre, medido entre Dunquerque e Barcelona. Sem esperar os resultados da medição deste comprimento, confiada aos dois geodestas e respetivos operadores, Pierre-François Méchain, a partir de Barcelona, e Jean-Baptiste Delambre, a partir de Dunquerque, para os quais 7 anos foram necessários, a lei de 1 de agosto de 1793 adotou um sistema provisório de pesos e medidas baseado na divisão decimal e na medida do meridiano terrestre cuja decimo-milionésima parte do quarto é chamado “metro” do grego *métron*, «medida», como já vimos, e era definido como sendo igual a uma determinação a partir da medição do mesmo meridiano, entre o polo e o Equador, efetuada de 1736 a 1744.

O decreto de 7 de abril de 1795 (18 germinal ano III) instituiu o SMD. A superfície, o volume e a massa ficaram definidas a partir do metro: através da geometria, para as duas primeiras grandezas, e através da pesagem, e a escolha de um material de referência, a água (à temperatura da fusão do gelo), para a terceira. Além disso, procurou-se aplicar o sistema decimal para todos os tipos de grandezas, desde o ângulo (criando a unidade grado), o tempo (dividindo o dia em 10 horas, a hora em 100 minutos e o minuto em 100 segundos) e até à temperatura (mudando a temperatura de ebulição da água de 80 graus Réaumur para 100 graus centígrados). As mais de 1000 unidades de medida existindo em França na altura foram substituídas por apenas 30 unidades de medida [10]! Entre 1798 e 1799, uma comissão constituída de cientistas vindos de nove países europeus, reunida em Paris, analisou e validou os resultados obtidos por Méchain e Delambre: permitiram fixar o metro definitivo. A lei de 10 de dezembro de 1799 (19 frimário ano VIII) estipulou que o metro e o quilograma em platina, colocados nos Arquivos, são os padrões definitivos, representantes de definições teóricas, e tornam-se a base prática e legal do SMD.

⁶ em 1791, escrita pela Olympe de Gouges, a Declaração dos direitos da mulher e da cidadã é rejeitada pela Assembleia, tendo as mulheres, na pátria da Declaração dos direitos do homem e do cidadão, o direito de voto apenas 154 anos mais tarde [10] (chamo a atenção para a Ref. 10 que também me lembrou essa triste verdade).

Novas definições do metro

Em 1889, o Protótipo Internacional substituiu o Metro dos Arquivos [20]. Trata-se de uma regra graduada de platina com 10 % de irídio, por ser mais estável que o artefacto inicial constituído unicamente de platina. Infelizmente, apercebeu-se que uma exatidão melhor que $0,1 \mu\text{m}$ não podia ser obtida com este padrão, o que incentivou a investigação científica para encontrar um padrão de comprimento tal que as medições de comprimento com ondas luminosas alcançassem uma exatidão comparável à do Protótipo Internacional [4].



Fig. 1 - Pavilhão de Breteuil, Sèvres, França: sede do Bureau Internacional dos Pesos e Medidas (BIPM)

Embora sugerido, desde 1827, utilizar o comprimento de onda como padrão de comprimento, foi apenas em 1892 e 1906 que foi obtida a exatidão suficiente em comprimentos de onda de radiações luminosas para a substituição da definição do metro. Em 1960, a XI reunião da Conferência Geral dos Pesos e Medidas (CGPM) adotou a seguinte definição do metro [21]:

“O metro é o comprimento de $1\,650\,763,73$ comprimentos de onda no vácuo da radiação correspondendo à transição entre os níveis $2p_{10}$ e $5d_5$ do átomo de cripton 86.”

Em 1973, a reunião do Comité Consultivo sobre a Definição do Metro constatou que a determinação da velocidade da luz $c = 299\,792\,458,3 \text{ m s}^{-1}$ com uma incerteza de $1,2 \text{ m s}^{-1}$, a partir da medição da frequência de radiação de um laser a hélio-néon, emitindo no infravermelho próximo e ligada a uma risca de absorção saturada do metano, tinha uma incerteza limitada principalmente pela realização do metro de então. Essa incerteza correspondia a um valor 100 vezes menor que as das melhores medições até lá obtidas. Em 1983, a XVII reunião da CGPM decidiu adotar a seguinte nova definição do metro:

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

A luz como ferramenta de medição de comprimento

Sobre essa matéria, recomenda-se a leitura do excelente trabalho de Fernanda Saraiva, Responsável pelos Domínios de Comprimento e Ângulos do Departamento de Metrologia do Instituto Português da Qualidade (IPQ/DMET), o Laboratório Nacional de Metrologia de Portugal, responsável pelos padrões nacionais das grandezas de base e principais grandezas derivadas de Portugal, “A Luz na medição de distâncias” [22]. Nesse trabalho, publicado na Gazeta de Física, é apre-

sentado pedagogicamente as diferentes intervenções da luz aos vários níveis de exatidão e desde a realização, manutenção e disseminação do metro. É também recomendada a leitura do excelente trabalho da mesma autora e colegas do IPQ/DMET “O laser na realização prática da definição do metro”, ainda na Gazeta de Física [23], sobre o tema em apreço.

A Novas Definições - Conclusões

Com o desenvolvimento da eletricidade na indústria e na ciência, foi sugerido, em 1901, integrar as unidades associadas no SDM, já designado de MKS, em 1889 com a inserção do segundo, e o que foi realizado em 1946 pela introdução do ampere e a mudança de designação para MKSA. Em 1960, a XI reunião da CGPM deu o nome de Sistema Internacional de unidades (SI) a este sistema, já com o kelvin e a candela desde 1954, e que, em 1971, contou com a mole [24]. Em 1967, na XIII reunião da CGPM, o segundo foi definido a partir da frequência de transição hiperfina do estado fundamental do átomo de césio 133 ($\Delta\nu_{\text{Cs}}$). Trata-se da primeira definição de uma unidade de medida a partir de um invariante da Natureza. Como já vimos, em 1983, a XVII reunião da CGPM definiu o metro a partir de um valor numérico fixo, baseado na velocidade da luz. O efeito Josephson, descoberto em 1962, e o efeito Hall quântico, por Klaus von Klitzing em 1980, permitem medir exatamente relações entre grandezas mecânicas e grandezas elétricas por meio de equações quânticas precisas, aplicáveis para experiências macroscópicas. Através da medição da densidade de cristais por raios X, é também possível definir a unidade de massa através da massa de um átomo de silício, uma constante fundamental. No entanto, foram necessários 30 anos para obter resultados suficientemente exatos, compatíveis e coerentes para propor novas definições do SI [25].



Fig. 2 - Símbolos das constantes fundamentais e unidades de base do SI correspondentes, na redefinição dessas unidades

Em 2018, a XXVI reunião da CGPM adotou novas definições para as sete unidades de base do SI, baseadas em sete constantes fundamentais, segundo uma formulação que explicitamente apresenta o valor exato de uma constante fundamental, sem impor um limite à exatidão da realização da unidade, com a exceção do segundo. Os valores das constantes fundamentais são o resultado de um trabalho de

colaboração internacional do *Task Group on Fundamental Constants*, publicado sob a responsabilidade do *Committee on Data for Science and Technology (CODATA)* do *International Council for Science (ICSU)* e disponível em: <http://physics.nist.gov/constants>. A nova definição do metro é agora:

O metro, símbolo m, é a unidade de comprimento do SI. É definido tomando o valor numérico fixo da velocidade da luz no vácuo, c , igual a 299 792 458 quando expressa em $m \cdot s^{-1}$, o segundo sendo definido em função de $\Delta\nu_{Cs}$.

Julgamos ser importante lembrar a distinção entre o valor de uma constante fixada pela Natureza e o valor numérico dessa constante, que depende da amplitude da unidade em que decidimos que seja medida. Para um determinado valor do segundo no SI, o valor numérico da velocidade da luz depende da amplitude da unidade de comprimento escolhida para o cálculo: por exemplo, em *yards* por segundo, o valor numérico de c é 327 857018,8. Do mesmo modo, a escolha como valor numérico de c 327 857018,8 define a amplitude do *yard* [24].

Baseadas em constantes fundamentais da Física ou invariantes da Natureza, embora sempre refletindo o conhecimento que temos da ciência fundamental e experimental a um momento determinado, as novas definições das unidades de base e, portanto, do metro, correspondem à vontade dos criadores do SMD para quem deviam ser unidades de medida deduzidas da Natureza⁷, universais e invariáveis.

Agradecimento à Eng.^a Eduarda Filipe pela simpática revisão do texto.

⁷ Ou antes “deduzidas das regras da Natureza”, embora *There are more things in heaven and earth, Horatio, than are dreamt of in your philosophy* (Shakespeare, Hamlet, 1623)

Referências

- [1] Vocabulário Internacional de Metrologia - Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012) (1ª edição luso-brasileira, autorizada pelo BIPM, da 3.ª edição internacional do VIM - International Vocabulary of Metrology - Basic and general concepts and associated terms - JCGM 200:2012), IPQ, Portugal, 2012;
- [2] www.infopedia.pt;
- [3] Himbert M.E., “Uncertainties I & II” in “BIPM Metrology Summer school 2003”, Sèvres, BIPM.;
- [4] Giacomo P. “Étalons métrologiques fondamentaux” *Techniques de l'Ingénieur Archives R50* 1990;
- [5] Mari L. “Toward a harmonized treatment of nominal properties in metrology” *Metrologia* 54 784 2017;
- [6] Schaffer S. “Les cérémonies de la mesure: repenser l'histoire mondiale des sciences”, *Annales. Histoire. Sciences Sociales* 2015/2 (70e année), p. 409-435;
- [7] Cruz A., “Pesos e medidas em Portugal”, Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2007;
- [8] Crease R.P. “World in the balance. The historic quest for an absolute system of measurement” W.W. Norton & Company, New York and London 2011;

- [9] Kula W. “Measures and men” translated by R. Sreter, Princeton University Press, Princeton New Jersey, 1986;
- [10] Guedj D. “Le mètre du monde”, Le Seuil, Paris, 2000;
- [11] Galilei G. “Diálogo sobre duas novas Ciências” in Hawking S. “Aos Ombras de Gigantes”, Texto Editores, 4.ª ed. 2014;
- [12] Viaud F., “Origine décimale du système métrique”, *Bulletin BNM*, p. 3-4, avril 1975;
- [13] Diderot D., d'Alembert J. le Rond “Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers”, ed. André Le Breton, Laurent Durand, Antoine-Claude Briasson, Michel-Antoine David, Paris, 1751-1772;
- [14] Machabey A. “Vue sommaire sur quelques rapports entre l'Encyclopédie et la métrologie”, *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, tome 5, n°1, 1952. pp. 54-63;
- [15] Paucton A., “Métrologie ou traité des poids, mesures et monnaies”, Paris : Veuve Desaint, 1780;
- [16] Laszlo P., “A palavra das coisas ou a linguagem da química”, trad. R. Gonçalves e A. Simões, Gradiva, Lisboa, 1995;
- [17] Bensaude-Vincent, B., “Lavoisier”, Flammarion, Paris, 1993;
- [18] Carneiro, A., “Elementos da História da Química do Século XVIII”, *Química*, vol. 102, p. 25-31, 2006;
- [19] Lavoisier, A. L., “Discurso Preliminar do *Tratado Elementar de Química*” em Fontes da Costa P. “Manifesto para uma Nova Química”, Palavrão, Caldas da Rainha, 2011;
- [20] *Comptes Rendus 1re CGPM*, p. 38, 1889;
- [21] *Comptes Rendus 11e CGPM*, p. 85, 1960;
- [22] Saraiva, F., Eusébio, L., Gentil, S., Filipe, E., “O laser na realização prática da definição do metro”, *Gazeta de Física*, vol. 34, p. 8-11, 2011;
- [23] Saraiva, F., “A luz na medição de distâncias”, *Gazeta de Física*, vol. 39, p. 88-81, 2016;
- [24] Bureau International d'Unités “Le Système international d'unités” 9e édition, 2019 ; - 18e Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM). 1989, BIPM;
- [25] Terry Quinn, T., Erard, L., Hermier, Y., Dubard, J., Chauvenet, B., Favre, G., Davis, R., Tuckey, P., Wallerand, Jean.-P. “Étalons métrologiques fondamentaux” *Techniques de l'Ingénieur Archives R50 V2*, 2015.



Olivier Pellegrino, Engenheiro em Química pela *École Supérieure de Chimie de Paris* e Doutor em Física, pela *Université de Pierre et Marie Curie*, atualmente Técnico Superior no Instituto Português da Qualidade (IPQ) onde, desde 2002, é responsável pelos domínios metrológicos de fotometria, radiometria e radiofrequência, tendo participado à tradução do VIM 2012 e VIML 2017, para português. Representante do IPQ no comité técnico da EURAMET TC-PR (Fotometria e Radiometria), na comissão setorial da RELACRE CSR04 - Metrologia, no Grupo de Trabalho GT05 – Metrologia Química e nas Comissões Técnicas de Normalização CTE 01 - Terminologia, CTE 34 - Lâmpadas e equipamentos associados, bem como sócio de várias sociedades científicas nacionais (SPF, SPM, SPMet e SPQ) e internacionais (*Metrodiff* e *Comité Español de Iluminación*).