



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo
www.bassalo.com.br



Temperatura e sua Medida: Termômetros.

A despeito de que o Homem, desde que apareceu em nosso planeta (há cerca de 6-8 milhões de anos), haja sentido sensações diferentes de experimentar o *quente* e o *frio*, primeiro com a presença ou ausência do Sol, e depois com a descoberta do *fogo* (por volta de 500.000 a.C.), foi somente na Grécia Antiga que foram inventados os primeiros dispositivos para medir as nuances de elevação ou diminuição de temperatura: muito quente, pouco quente, muito frio e pouco frio. Por exemplo, os gregos, o filósofo Empédocles de Akragas (atual Agrigento) (c.490-c.430), e os engenheiros Philon de Bizâncio (c.300 a.C - ?) e Heron de Alexandria (20 d.C.- ?) foram os primeiros a descrever um aparelho rudimentar que permitia relacionar a expansão do ar com a elevação de temperatura. Por sua vez, o médico grego Galeno de Perga (Pérgamo) (c.130-c.200) foi, provavelmente, o primeiro a pensar em uma *escala termométrica*, tomando a fusão do gelo e a ebulição da água como pontos de referência. Observe-se que, na Idade Média (455-1453), médicos latinos e árabes desenvolveram uma escala de 0-4 graus ($^{\circ}$) para representar as temperaturas de *frio* e *quente*.

Parece haver sido o médico alemão Johannis Hasler (1548- 16??), em seu livro intitulado *De Logistica Medica* ("Sobre a Logística Médica"), publicado em 1578, o primeiro a apresentar uma *escala termométrica rudimentar* que mostrava a relação entre a temperatura do homem e o local onde habita. Segundo essa escala, nos trópicos a temperatura do corpo humano é maior do que nas zonas frias. Por outro lado, a medição da variação da temperatura de um corpo foi retomada pelo astrônomo e físico italiano Galileu Galilei (1564-1642) quando trabalhava na *Universidade de Pádua*, por volta de 1593 (ou 1597). Era um simples reservatório de vidro, do tamanho de um pequeno ovo (bulbo), adaptado na extremidade de um tubo de vidro com ~ 56 cm de comprimento. Ao inseri-lo em um copo com água, apertou o bulbo com a mão para transmitir calor e percebeu que, ao retirar a mão, a água subia no tubo em um palmo de altura. Mais tarde, em 1611, ele melhorou esse seu invento, substituindo a água por *espírito de vinho*, produto da destilação do vinho e constituído principalmente de álcool. [James Reston, Jr., Galileu: Uma Vida (Editora José Olympio, 1995)].

Esse dispositivo de Galileu [mais tarde, em 1617, denominado de termoscópio (do grego *thérme* – calor e *skopein* – observar)], embora apresentando limitações (p.e.: era influenciado pela pressão do ar e não permitia obter valores numéricos da variação de temperatura), foi melhorado, ainda em 1611, pelo médico italiano Santorio Santorio (Sanctorius Santori da Capodistria) (1561-1636), ao adaptar no mesmo uma *escala termométrica rudimentar*. Inicialmente, registrou os níveis que a coluna de água do tubo atingiam quando em contato com o gelo fundido e a chama de uma vela; em seguida dividiu o intervalo correspondente em 110 partes. Por haver usado esse dispositivo para medir a temperatura de seus pacientes, Santorio Santorio é considerado como o inventor do *termoscópio clínico*. É interessante registrar que, por volta de 1626, o jesuíta francês Jean Leurechon (1591-1670) publicou um trabalho intitulado *Recréation Mathématique* ("Recreação Matemática"), com o pseudônimo de H. van Etthen, no qual usou pela primeira vez o termo termômetro. Também, em 1626, o médico inglês Robert Fludd (1574-1637) introduziu melhoramentos no *termoscópio clínico* para usá-lo em Medicina. Uma inovação no *termoscópio galileano* (TG) foi realizada pelo químico e médico francês Jean Rey (1582-1632), em 1630, ao considerar a água como *substância termométrica* (ST), ao invés do ar, como acontecia no TG. Rey tomou um frasco com um bulbo e uma haste longa e delgada, na qual colocou água. As mudanças de

temperatura eram meramente observadas em virtude da variação do nível da água na haste. Note que, com esse simples instrumento, Rey descobriu que o estanho (Sn) e o chumbo (Pb) quentes, mudavam sua massa quando em contato com o ar. [A. Kistner, História de la Física (Editora Labor, S. A., 1934); D. Roller, The Early Development of the Concepts of Temperature and Heat (Harvard University Press, 1950); W. E. K. Middleton, A History of the Thermometer and Its use in Meteorology (The Johns Hopkins Press, 1966)].

Como os TG tinham contato direto com o ar, a sensibilidade de suas medidas variava com a pressão atmosférica, que fora medida pelo físico italiano Evangelista Torricelli (1608-1647), em 1643 (vide verbete nesta série). Essa dificuldade foi contornada pelo soberano italiano Fernando II de Toscana (1610-1670), por volta de 1644, ao construir um termômetro do tipo inventado por Rey, porém, a extremidade da haste longa era hermeticamente fechada. Uma outra inovação considerada por ele, foi a de considerar o álcool como ST, pois seu ponto de congelamento é mais baixo do que o da água. O desenvolvimento da construção dos termômetros, foi incrementado com a fundação em Florença, em 1657, da *Accademia del Cimento* (“Academia das Experiências”), por dois discípulos de Galileu, os físicos italianos Vincenzo Viviani (1622-1703) e Torricelli.

O desenvolvimento referido acima, contudo, necessitava do uso de escalas termométricas (ET). A ideia de adotar um ponto fixo como zero para uma ET, foi independentemente proposta, em 1665, pelos físicos ingleses Robert Boyle (1627-1691) (também químico) e Robert Hooke (1635-1703), e pelo astrônomo e físico holandês Christiaan Huygens (1629-1695), respectivamente: o ponto de fusão do óleo de anis; o ponto de fusão do gelo; e ou a fusão do gelo ou a ebulição da água. Mais tarde, em 1669, o jesuíta e matemático francês Honoré (Honoratus) Fabri (Fabrius) (1607-1688) concebeu a ideia de adotar dois pontos fixos em uma escala termométrica. Para o seu ponto mais baixo, escolheu a temperatura de fusão do gelo; e para o ponto mais alto, admitiu ser a *temperatura mais alta do verão francês*. Uma nova ET foi proposta, em 1688, pelo astrônomo e físico francês Joachim Dalencé (1640-1707), no livro *Traitez des Baromètres, Thermomètres et Notiomètres, ou Hygromètres* (“Tratado dos Barômetros, Termômetros e Nociômetros, ou Higrômetros”), no qual escolheu como pontos fixos para uma ET, as temperaturas de fusão do gelo (-10^0) e da manteiga ($+10^0$), sendo o intervalo dividido em 20 partes iguais. Em 1693 (*Philosophical Transactions* 17, p. 652), o astrônomo inglês Edmund Halley (1656-1742) registrou a observação que fizera, em 1688, sobre a expansão térmica dos líquidos. Em 1694, o físico italiano Carlos Renaldini (1615-1698) substituiu o ponto de fusão da manteiga pelo da ebulição da água.

A escolha de pontos fixos de uma ET também foi objeto de estudo no Século 18. Logo em 1701 (*Philosophical Transactions, Abridged* II, p. 824), o físico e matemático inglês Sir Isaac Newton publicou um artigo no qual apresentou uma escala com vários valores, dos quais se destacam: 0^0 - o grau do calor do ar no inverno no qual a água começa a congelar; 12^0 - o grau do calor do corpo humano; e 192^0 - o grau do calor do *carvão betuminoso de uma pequena cozinha soprado por um fole*. Para construir essa escala, Newton utilizou um termômetro e um pedaço de ferro quente. [Ver excerto desse artigo em: William Francis Magie, *A Source Book in Physics* (McGraw-Hill Book Company, Inc., 1935)]. Em 18 de junho de 1702, nas *Histoires de l'Académie Royale des Sciences avec les Mémoires de Mathématiques et de Physique (Paris)*, p. 155, o físico francês Guillaume Amontons (1663-1705) publicou um trabalho no qual descreveu a construção do primeiro termômetro a ar que havia construído em 1699. Com esse instrumento, mostrou que a água sempre fervia na mesma temperatura, e que cada gás mudava igualmente de volume para uma variação de temperatura. Ainda nesse trabalho, Amontons apresentou a ideia do *zero absoluto* como um estado de repouso absoluto já que, sendo a elasticidade (pressão) do ar proporcional ao seu conteúdo de calor, na situação de pressão nula haveria um *zero absoluto de calor*, isto é, de temperatura, concluiu Amontons. [Kurt Mendelssohn, *Em Demanda do Zero Absoluto* (Editorial Inova Limitada, ~1968); Magie, op. cit.].

Ainda em 1702, o astrônomo dinamarquês Olaus (Ole) Römer (1644-1710), escolheu a seguinte ET para seu termômetro a álcool: 60^0 - ponto de ebulição da água; $7,5^0$ - ponto de fusão do

gelo; em 1708, ele trocou este valor para 8° . Ainda em 1708, o físico germano-holandês Gabriel Daniel Fahrenheit (1686-1736) visitou Römer e, ao conhecer seu trabalho sobre termometria, passou a se interessar pelo mesmo. Desse modo, em 1714, Fahrenheit adotou a seguinte ET para seu termômetro a álcool construído em 1709: 0° – correspondente ao valor da temperatura na qual uma mistura de gelo e sal (amoníaco ou do mar) se funde (correspondente à temperatura mais baixa até então registrada na cidade de Dantzig, onde nasceu, e ocorrida em 1709); 96° – correspondente à temperatura do corpo humano. Porém, como o mercúrio (Hg) aderiria às paredes dos estreitos tubos termométricos, a ST mais utilizada na época de Fahrenheit era o álcool puro ou misturado com a água. Contudo, com a descoberta de um novo método de depurar o Hg que impedia sua aderência nos tubos capilares, Fahrenheit construiu, em 1718, um termômetro a mercúrio que lhe permitia registrar temperaturas muito acima do ponto de ebulição da água e muito abaixo de seu ponto de fusão. Por outro lado, como o Hg apresentava um coeficiente de expansão térmica praticamente constante, então esse seu termômetro podia ser graduado externamente como muito maior precisão por intermédio de subdivisões finas. Isso lhe permitiu, em 1724 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 33, p. 1), a propor novos pontos fixos: 32° – fusão do gelo; 212° - ebulição da água, constituindo a conhecida *escala Fahrenheit*. [Armand Gibert, *Origens Históricas da Física Moderna* (Fundação Calouste Gulbenkian, 19872); Magie, op. cit.].

Ainda na primeira metade do Século 18, apareceram duas outras ET. Com efeito, em 1730, nas *Histoires de l'Académie Royale des Sciences avec les Mémoires de Mathématiques et de Physique* (Paris), p. 452, o físico francês René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757) apresentou sua ET, escolhendo como 0° o ponto de fusão do gelo. Por outro lado, para o intervalo de 1° de sua escala, Réaumur o considerou como sendo a milésima parte do volume ocupado pelo fluido termométrico na temperatura de 0° . Porém, como este fluido era álcool diluído em água, o mesmo começou a entrar em ebulição na temperatura de 80° , razão pela qual admitiu ser essa a temperatura de ebulição da água, surgindo então a *escala Réaumur*. Em 1742 (*Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens, Handlingar* 3, p. 171), o astrônomo sueco Anders Celsius (1701-1744) escolheu, inicialmente, o ponto de fusão do gelo como sendo 100° e a ebulição da água como 0° . Contudo, em 1743, o botânico sueco Carl von Linné (Carolus Linnaeus) (1707-1778) inverteu essa escala – a hoje conhecida *escala Celsius* (nome adotado em 1948, na 9ª Conferência Nacional de Pesos e Medidas) ou *escala centígrada* (EC) (dividida em 100 partes), bem como, em 1745, introduziu as notações $^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{R}$ e $^{\circ}\text{F}$. Note que a EC, já havia sido sugerida pelo físico sueco Pierre Elfwius (Elvius), em 1710 e, também, pelo físico francês Christian de Lyons, em 1743. É interessante observar que, em 1772, o físico suíço Jean-André Deluc (1727-1817), registrou em seu livro *Recherches sur les Modifications de Atmosphère* (“Pesquisas sobre as Modificações da Atmosfera”), cerca de 60 ET diferentes. Para maiores detalhes sobre as escolhas das ET e as polêmicas delas decorrentes, ver: Roller, op. cit. e Middleton, op. cit.

Ainda na segunda metade do Século 18, começaram a ser construídos termômetros que registrassem os valores máximos e/ou mínimos da temperatura em um dado intervalo de tempo, segundo uma proposta apresentada pelo matemático suíço John (Johann, Jean) Bernoulli (1667-1748), em carta que escreveu, em 1698, ao também matemático alemão Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716). O primeiro termômetro de máxima e mínima foi inventado, em 1780, pelo físico inglês James Six (1731-1793) e descrito, em 1782 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 72, p. 72), como sendo um tubo recurvado em forma de U, contendo álcool e Hg e um índice de ferro (Fe) esmaltado para indicar a temperatura, índice esse que era colocado em contato com a coluna de Hg por intermédio de um ímã. Quando o Hg dilatava, empurrava o índice, e quando se contraía, o álcool passava pelo índice deixando-o no mesmo lugar. Assim, ficavam registradas as temperaturas máximas e mínimas.

Também em 1782 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 72, p. 305), o químico e industrial inglês Josiah Wedgwood (1730-1795) descreveu a invenção do primeiro

pirômetro (mais tarde conhecido como termômetro de radiação, em decorrência da *lei da radiação térmica de Stefan-Boltzman*, conforme veremos mais adiante), com o objetivo de medir altos graus de temperaturas (acima de 500 °C), baseado na contração de uma pastilha de argila quando aquecida. Registre-se que, em 1783 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 73, p. 247), em 1784 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 74, p. 358) e 1786 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 76, p. 390) Wedgwood descreveu novas experiências realizadas com o pirômetro de argila que havia inventado em 1782, e procurou relacionar esses resultados e os obtidos com termômetro de mercúrio. É interessante registrar que o estadista e cientista norte-americano Benjamin Franklin (1706-1790), em 1785, inventou um *termômetro especial* para medir temperaturas abaixo da superfície terrestre, numa profundidade de cerca de 100 pés (~ 30 m). Dez anos antes, em 1775, Franklin havia usado o termômetro como um instrumento de navegação, ao medir a temperatura da superfície do Oceano Atlântico, sempre que o atravessava em suas viagens marítimas para a Europa.

Mais tarde, em 1794 (*Transactions of Royal Society, Edinburgh* 3, p. 247), o químico escocês Daniel Rutherford (1749-1819) descreveu um outro tipo de termômetro de máxima e mínima. Porém, esse dispositivo era diferente do de Six, já que era composto de dois termômetros horizontais e independentes, um de Hg, para registrar as temperaturas máximas, e o outro de álcool para marcar as temperaturas mínimas. As máximas eram indicadas devido ao rompimento da coluna de Hg quando este se resfriava, e as mínimas eram marcadas por deslocamento da coluna de álcool para um pequeno cilindro de metal (que servia de índice), quando a temperatura se elevava.

No Século 19, continuaram os trabalhos sobre o desenvolvimento da Termometria. Assim, logo em 1804 [*Nuova scelta di opuscoli interessanti sulle scienze e sulle arti* – Tomo IV], o físico e químico italiano Angelo Bellani (1776-1852) descreveu um dispositivo que ele denominou de *termógrafo*, semelhante ao de Six, que servia para medir temperaturas máximas e mínimas. Como Bellani, mais tarde, em 1811 (*Giornali di fisica, chimica e storia naturale* – Tomo IV), voltou a introduzir melhoramentos em seu *termógrafo*, este ficou então conhecido como termômetro de máxima e mínima de Six-Bellani. [Giorgio Pedrocchi, *IN: Dictionary of Scientific Biography* (Charles Scribner Sons, 1981)]. Em 1813, o físico e matemático escocês Sir John Leslie (1766-1832) publicou o livro intitulado *A Short Account of Experiments and Instruments Depending on the Relations of Air to Heat and Moisture* (“Um Pequeno Relato sobre Experiências e Instrumentos Dependendo das Relações do Ar com Calor e Umidade”) no qual descreveu a invenção de um termômetro de líquido com o objetivo de medir a diferença de temperatura, conhecido como termômetro diferencial. Basicamente, ele era constituído por um tubo recurvado em U, em ângulos retos, terminados em duas ampolas, cheio com ácido sulfúrico (H₂SO₄) corado de vermelho e completado com ar. A diferença de temperatura entre dois corpos era medida pelo desnível da coluna de H₂SO₄ nos dois ramos do termômetro, quando os corpos eram colocados em contato com as ampolas.

Em 1848 (*Proceedings of Cambridge Philosophical Society* 1, p. 66; *Philosophical Magazine* 33, p. 313), o físico inglês William Thomson (Lord Kelvin de Largs) (1824-1907) apresentou a proposta de uma escala absoluta de temperatura, conforme suas próprias palavras (Magie, op. cit.):

A propriedade característica da escala que ora proponho é a de que todos os graus têm o mesmo valor; isto é, a unidade de calor que desce de um corpo A na temperatura T⁰ desta escala para um corpo B na temperatura (T - 1)⁰, dará o mesmo efeito mecânico, qualquer que seja o número T. Isso pode ser justamente denominado uma escala absoluta (hoje, escala Kelvin – K), visto que sua característica é inteiramente independente das propriedades físicas de qualquer substância específica.

Um novo tipo de termômetro, o termômetro de máxima, foi inventado pelo médico escocês Sir William Aitken (1825-1892), em 1852, ao estrangular a coluna de Hg impedindo que a mesma baixasse com a diminuição de temperatura. Mais tarde, em 1864, o físico alemão Johann Heinrich Wilhelm Geissler (1814-1879) – que inventara, em 1855, a primeira bomba de vácuo sem partes móveis – construiu, em 1864, um termômetro de máxima. Usando esse tipo de termômetro,

o físico inglês Sir Thomas Clifford Allbutt (1836-1925) apresentou, em 1867, o hoje conhecido termômetro clínico (TC). Logo depois, em 1868, o médico alemão Carl Reinhold August Wunderlich (1815-1877) publicou o livro intitulado *Das Verhalten der Eigenwärme in Krankheiten* (“Sobre a Conduta da Temperatura nas Doenças”), no qual registrou suas observações do uso do TC em cerca de 25.000 doentes, do *Hospital da Universidade de Leipzig*, em que trabalhava. Dessas observações, ele chegou a dois importantes resultados para a Medicina: 1) a temperatura média normal do corpo humano é em torno de 37°C ($98,6^{\circ}\text{F}$) ($36,3 - 37,5^{\circ}\text{C}$); 2) a febre era o sintoma de uma doença, e não propriamente uma doença. Note que para o TC ser usado novamente, depois de registrar a temperatura máxima de um paciente, o mesmo é agitado, circularmente, para que a força centrípeta decorrente dessa agitação faça a coluna de Hg baixar.

A noção de temperatura absoluta proposta por Kelvin, em 1848, conforme vimos acima, foi imediatamente aceita porque era conveniente para o estudo da Engenharia Térmica, baseada na Termodinâmica (ver verbete nesta série). Em vista disso, o engenheiro e físico escocês William John Macquorn Rankine (1820-1872) apresentou em seu livro *Manual of the Steam Engine and Other Prime Movers* (“Manual da Máquina a Vapor e Outras Forças Motrizes”), impresso em 1859, uma nova *escala termométrica* – hoje a *escala Rankine* ($^{\circ}\text{R}$) –, na qual o grau tinha o mesmo tamanho do $^{\circ}\text{F}$, o que dava para o zero absoluto ($0^{\circ}\text{K} = -273,16^{\circ}\text{C}$) o valor de $-459,67^{\circ}\text{F}$. É interessante notar que, em 1967, por ocasião da *13ª Conferência Geral de Pesos e Medidas*, foi adotado o símbolo K para representar o grau Kelvin.

Até as primeiras décadas do Século 19, os termômetros apresentavam como *substância termométrica* (ST), basicamente, líquidos (como vimos acima) e gases que, normalmente, se expandem com o aumento da temperatura e, portanto, o volume ou a pressão deles era usado para medir a variação da temperatura (sobre o termômetro a gás, ver: Middleton, op. cit. e Roller, op. cit.). No entanto, no decorrer daquele Século, os sólidos também passaram a ser utilizados como termômetros e uma série de propriedades dos mesmos foi relacionada com a temperatura, constituindo-se nas propriedades termométricas necessárias para servir como ET. Dentre tais propriedades, destacam-se a força eletromotriz, a resistência elétrica e a radiação térmica. Vejamos alguns exemplos desses tipos de termômetros. Segundo vimos em verbete desta série, o físico russo-alemão Thomas Johann Seebeck (1770-1831), em trabalhos realizados em 1821, 1822 e 1823, descobriu que existia uma corrente elétrica quando dois diferentes tipos de metais são soldados nas extremidades e estas são submetidas a um gradiente de temperatura. Note que essa descoberta ficou conhecida como *efeito Seebeck* ou *efeito termoelétrico*. Mais tarde, em 1840 e 1842, o físico alemão Wilhelm Gottlieb Hankel (1814-1899) mostrou que a corrente elétrica observada por Seebeck era devido a uma *força eletromotriz termoelétrica* (ε); tal afirmação foi confirmada por Kelvin, em 1855. Em vista dessa propriedade, foram construídos termômetros formados por pares de metais – os chamados termopares – cuja temperatura absoluta T era determinada pela expressão: $\varepsilon = a T^0 + b T^1 + c T^2 + d T^3$, onde as constantes a, b, c, d dependem do material de cada termopar. Registre que o intervalo de temperatura desse tipo de termômetro decorre do par metálico utilizado. Assim, para o par platina-ródio [Pt (90%)-Rh (10%)], o intervalo é de -50°C a $+1.600^{\circ}\text{C}$. É oportuno observar que uma das vantagens do termopar é a de que ele atinge rapidamente o equilíbrio térmico com o sistema cuja temperatura se deseja determinar, por ser sua massa muito pequena. [Mark W. Zemansky, *Heat and Thermodynamics* (McGraw-Hill Book Company, Inc., 1957)].

Muito embora o químico inglês Sir Humphry Davy (1778-1829), em 1821 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 91, p. 431) haja observado que a resistência elétrica (R) dos metais variava com a temperatura [R(t)], foi somente, em 1871 (*Proceedings of the Royal Society of London* 19, p. 443), que o inventor germano-inglês Sir William (Karl Wilhelm) Siemens (1823-1883) construiu o termômetro metálico de resistência elétrica, usando a Pt como ST. O uso desse metal decorreu do fato de que ele apresentava grande estabilidade e precisão na medida da temperatura, conforme o físico inglês Hugh Longbourne Callender (1863-1930), mostrou no

termômetro desse mesmo tipo que construiu em 1886 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 178A, p. 161). Registre que o termômetro de platina de resistência elétrica pode ser usado no intervalo de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo sua calibração realizada por intermédio da fórmula: $R_{Pt}(t) = R_0(1 + A t + B t^2)$, onde R_0 é a resistência do fio de platina em contato com o gelo fundente, A e B são constantes determinadas em dadas temperaturas fixas [p.e.: ebulição da água (H_2O) ou do oxigênio (O); fusão do zinco (Zn), prata (Ag), ouro (Au) etc.]. No entanto, como a Pt é muito cara, outros metais também foram utilizados como termômetro metálico de resistência elétrica, principalmente o cobre (Cu) e o níquel (Ni). Porém, com os respectivos limites máximos de temperatura, menores do que $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Zemansky, op. cit.).

Voltemos a Pt como ST e aos termômetros de radiação térmica. Em 1851, o físico sueco Adolf Ferdinand Svanberg (1806-1857) inventou o bolômetro, um tipo de termômetro para medir a radiação térmica. Ele se constitui, basicamente, em um fio de Pt colocado em um dos braços de uma *ponte de Wheastone* [dispositivo prático para medir a resistência elétrica de um condutor, inventado pelo físico inglês Sir Charles Wheastone (1802-1875), em 1843 (vide verbete nesta série)]. Quando uma dada radiação térmica atinge o fio de Pt, havia uma mudança no valor de sua resistência e a intensidade da radiação (I) (energia por unidade de área e por unidade de tempo) era então calculada. Em 1859, o físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) enunciou que I depende do comprimento de onda (λ) da radiação e da temperatura absoluta (T), ou seja: $I(\lambda, T)$. Conforme vimos em verbete desta série, em 1879 e em 1884, respectivamente, os físicos austríacos, Josef Stefan (1835-1893) e Ludwig Edward Boltzmann (1844-1906), demonstraram que: $I(\lambda, T) = \sigma T^4$, sendo σ a *constante de Stefan-Boltzmann*. Assim, de posse dessa *lei de Stefan-Boltzmann* foi possível explicar os pirômetros inventados por Wedgwood, em 1782, conforme dissemos acima. Além disso, essa lei permitiu determinar a temperatura de estrelas, como, por exemplo, a temperatura da coroa do Sol como sendo em torno de 6.000 K. Note que essa lei foi usada, em 1964, para determinar a temperatura residual ($\sim 3,5\text{ K}$) do *big-bang* (vide verbete nesta série).

É oportuno observar que o físico e astrônomo norte-americano Samuel Pierpont Langley (1834-1906) aperfeiçoou, em 1878, o bolômetro de Svanberg, cujos detalhes foram por ele apresentados somente em 1881 (*Proceedings of the American Academy* 16, p. 187). Com tal dispositivo, Langley, em 1886 (*Annales de Chimie et Physique* 9, p. 433), estudou o espectro solar na região infravermelha [que havia sido descoberta pelo astrônomo alemão Sir William (Frederick Wilhelm) Herschel (1738-1822), em 1800], bem como mediu a intensidade da radiação solar em outros comprimentos de onda ópticos. Muito embora o bolômetro haja, sobretudo, sido usado para medir a intensidade da radiação solar, posteriormente, ele foi também utilizado para medir a temperatura de corpos quentes, até o limite de $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Registre-se, também, que ainda em 1886 (*Königliche Porzellanmanufaktur, Berlin*), o ceramista alemão Hermann August Seger (1839-1893) inventou uma série de cones de argila de ponto de fusão conhecido ($600\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $2.000\text{ }^{\circ}\text{C}$) – o famoso pirômetro de cones normais de Seger. Com eles, era possível determinar a temperatura de um alto-forno pela observação de quais cones fundiam ou não, quando inseridos no mesmo. Ainda tendo como base a *lei de Stefan-Boltzmann* [acrescida da hipótese do *quantum* proposto pelo físico alemão Max Karl Ernst Planck (1858-1947; PNF, 1918), em 1900], foi inventado o pirômetro óptico ou pirômetro de filamento desaparecido constituído por uma luneta, na qual são montados um filtro de vidro vermelho e uma lâmpada incandescente, sendo esta ligada a um circuito elétrico; esse dispositivo é usado para medir temperaturas altas. Por exemplo, para medir a temperatura de um alto-forno, dirige-se a luneta para sua fornalha e varia-se a resistência (reostato) do circuito elétrico até que o brilho do filamento incandescente da lâmpada se iguale ao da fornalha, sendo então a temperatura desta lida diretamente no amperímetro daquele circuito, que foi devidamente calibrado: brilho *versus* corrente. Para temperatura acima de $1.500\text{ }^{\circ}\text{C}$ o brilho da fonte é primeiro atenuado por um filtro neutro. [Para maiores detalhes sobre termômetros ver, por exemplo, os textos: Enrico Perucca, *Física General y Experimental I* (Editorial Labor S. A., 1955); R. E. Bedford,

Thermometry; J. H. Wernick and R. Wolfe, *Termoelétrico Devices*, IN: *Encyclopaedia Britannica, Macropaedia* 18 (Chicago University, 1978); Denise Prazeres Lopes Pires, Júlio Carlos Afonso e Francisco Artur Braun Chaves, Do termoscópio ao termômetro digital: quatro séculos de termometria (*Química Nova* 29, Novembro-Dezembro, 2006); Gibert, op. cit.; Middleton, op. cit.; Roller, op. cit.].

Conforme vimos até aqui, de um modo geral, um termômetro é construído tomando-se como base qualquer propriedade física das substâncias que varie com a temperatura. Assim, descrevemos os termômetros de líquido, de gás, de resistência elétrica e de radiação térmica. Contudo, outros termômetros também foram inventados tendo em vista outras propriedades físicas. Assim, tivemos os termômetros bimetálicos baseados na dilatação térmica dos metais; os termômetros acústicos que se baseiam no fato de que a velocidade de propagação de uma onda sonora através de um meio é função de sua temperatura; os termômetros magnéticos que decorrem da dependência da temperatura apresentada pela suscetibilidade magnética; os termômetros de ruídos térmicos que usam o princípio de que em qualquer condutor elétrico, o movimento dos elétrons no mesmo é randômico e a extensão de seu movimento é função da temperatura; os termômetros de viscosidade que usam a resistência oferecida por um tubo capilar ao fluxo de um gás através dele quando há uma variação de temperatura; os termômetros piroelétricos baseado no fenômeno da *piroeletricidade*, que é o fenômeno pelo qual cargas elétricas são criadas em cristais esquentados; esse fenômeno foi observado pela primeira vez pelo físico escocês Sir David Brewster (1781-1868), em 1824 (vide verbete nesta série); etc. Todos esses termômetros, é claro, têm aplicabilidade em intervalos de temperatura bem definidos, podendo alguns deles medir temperaturas extremamente baixas (10^{-5} 0C), como ocorre no caso dos termômetros piroelétricos. (Bedford, op. cit.; Wernick and Wolfe, op. cit.).

Na conclusão deste verbete, é interessante destacar que, no Século 20, os termômetros vistos acima foram melhorados na medida em que a Física foi se desenvolvendo. Por exemplo, com a explicação do *efeito fotoelétrico* (elétron arrancado por incidência de luz), em 1905 (vide verbete nesta série), P. H. Geiger, em 1926, inventou a *célula fotoelétrica*, que foi usada para substituir o olho humano no pirômetro óptico. Por sua vez, os *transistores*, inventados em 1947 e 1948 (vide verbete nesta série), substituíram a Pt nos bolômetros. A descoberta do *efeito Schadt-Helfrich* (orientação de cristais em uma mesma direção sob a ação de um campo elétrico e com a capacidade de propagar a luz polarizada sem girar seu plano de polarização), em 1971, permitiu a invenção, em 1979, dos mostradores (*displays*) de cristais líquidos - os LCD (*Liquid-Crystal Displays*) (vide verbete nesta série). Tais mostradores foram então usados nos termômetros digitais. Dentre eles, destaca-se o termômetro auricular infravermelho, inventado pelo médico inglês David R. Phillips, em 1984. Ele permite determinar rapidamente a temperatura. Observe que desse tipo de termômetro, o mais famoso é o *Thermoscan*, inventado pelo engenheiro eletrônico e biomédico norte-americano Jacob Fraden, e colocado em uso em hospitais e consultórios médicos, em 1990, e continua sendo usado até hoje. É oportuno destacar que o primeiro termômetro auricular foi inventado pelo médico alemão Theodore Hannes Benzinger (1905-1999), por ocasião em que era piloto de teste da *Luftwaffe*, durante a *Segunda Guerra Mundial* (1939-1945). [Tom Philbin, *As 100 Maiores Invenções da História* (DIFEL, 2006)]. É ainda interessante ressaltar que, em 2009, físicos da *Universidade de Tecnologia de Helsinque*, inventaram um termômetro eletrônico, formado de camadas finas de isolantes, prensadas entre eletrodos, cuja variação da condutância elétrica é diretamente proporcional à energia térmica kT , onde k é a *constante de Boltzmann* e T a temperatura absoluta. Desse modo, esse tipo de termômetro permite determinar a temperatura de um corpo (até 15×10^{-4} K), em função apenas da constante k . [Charles Q. Choi, *Scientific American Brasil* 82, p. 25 (março de 2009)].

Por fim, façamos um comentário sobre a escolha do ponto fixo característico de uma ET. Muito embora Kelvin, em 1854, haja apresentado a ideia de definir uma ET por intermédio de apenas um ponto fixo, foi somente em 1939 que o físico e químico norte-americano William

Francis Giauque (1895-1982; PNQ, 1949) (nascido no Canadá) escolheu esse ponto como sendo o ponto triplo da água (temperatura na qual subsistem suas três fases: sólida, líquida e gasosa), para o qual lhe atribuiu a temperatura de $-273,16$ K. Desse modo, segundo Giauque, a temperatura de qualquer corpo pode ser calculada pela expressão: $T(K) = 273,16 X/X_{tr}$, onde X e X_{tr} representam, respectivamente, as propriedades termométricas da *substância termométrica* usada no termômetro nas temperaturas T e $273,16$ K. Note que essa proposta de Giauque foi aceita na *10ª Conferência Geral de Pesos e Medidas*, realizada em 1954. (Zemansky, op. cit.). É interessante destacar que, embora até o presente momento, o 0 K seja o limite inferior de temperatura de qualquer corpo, em 1951 (*Physical Review* 81, p. 279), os físicos norte-americanos Robert Vivian Pound (n.1919) e Edward Mills Purcell (1912-1997; PNF, 1952) realizaram uma experiência, na qual criaram um estado de “temperatura negativa” para spins nucleares em fluoreto de lítio (LiF). Esse estado, contudo, foi conseguido sem passar por 0 K. Note que, em certas situações, essas “temperaturas negativas” são mais quentes que as positivas. [Ryogo Kubo, *Statistical Mechanics* (North-Holland Publishing Company, 1971)].



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)