



SEARA DA CIÊNCIA CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Bassalo



Uma Breve História dos Relógios.

Neste verbete, apresentaremos uma breve história da evolução dos relógios. Para isso, usaremos os seguintes textos: W. T. Sedgwick, H. W. Tyler e R. P. Bigelow, **A História da Ciência** (Editora Globo, 1950); Edward de Bono (Editor), **Eureka!** (Editorial Labor do Brasil, 1975); Derek de Solla Price, **A Ciência desde a Babilônia** (Editora Itatatiaia Limitada e EDUSP, 1976); Jean Gimpel, **A Revolução Industrial da Idade Média** (Zahar Editores, 1977); C. A. Ronan, **História Ilustrada da Ciência I** (Jorge Zahar Editor, 1987); James Reston, Jr., **Galileu: Uma Vida** (Editora José Olympio, 1995); Tom Philbin, **As 100 Maiores Invenções da História** (DIFEL, 2006). Também usaremos os sites: www.geocities.com/conatempo/historia.html?2000917 e pcdsh01.on.br/histrellog1.htm, e os da wikipédia dos temas que serão tratados neste verbete.

Desde os tempos mais remotos a **Horologia** (do grego: *hora* – tempo; *logos* – contar) – a arte de medir o tempo – sempre foi realizada por intermédio de relógios. Naturalmente, o primeiro **relógio** foi o próprio Sol, uma vez que ele se “levanta” e se “deita” com certa regularidade. Assim, o homem primitivo trabalhava com a luz do Sol e parava de trabalhar com o escurecer. Os egípcios, por exemplo, dividiam o dia em 24 horas, sendo que a metade, isto é, 12 horas, era invariavelmente contada do nascer ao por do Sol, independentemente da variação da luz solar que ocorre nos diferentes dias do ano. Contudo, por volta de 3.500 a.C., ainda no Egito e também na Mesopotâmia, apareceram pessoas que começaram a estudar de modo mais detalhado o movimento do Sol e, em consequência, construíram os primeiros **relógios de Sol** – **Gnômons** – constituídos, basicamente, de uma haste (*gnômon*, em grego) fincada na vertical, em pedra ou madeira. Assim, de acordo com o comprimento da sombra desta haste, se tinha uma ideia do tempo. Com o correr dos anos, **relógios de Sol** mais precisos foram fabricados. Parece haver sido Acax, Rei da Pérsia, o primeiro a possuir um **relógio de Sol**, por volta de 740 a.C. Contudo, um dos mais famosos foi o do astrônomo babilônio Berossus (c.330-250 a.C.), feito de um bloco cúbico de pedra ou madeira, no qual foi cortada uma abertura hemisférica tendo uma haste no centro da mesma, cujo caminho percorrido por sua sombra que era, aproximadamente, um arco de círculo. O comprimento e a posição do arco variavam com as estações do ano. Esse **relógio de Berossus** foi usado por muitos séculos.

No entanto, os **relógios de Sol** só poderiam ser utilizados para medir o tempo durante o dia. Durante a noite (ou mesmo quando o tempo de dia estava nublado), os egípcios, por volta de 1.500 a.C., usavam **relógios de água**, conforme indica uma inscrição funerária encontrada na tumba do faraó Amenhotep I (f.c. 16-15 Século a.C.). Estes eram, basicamente, recipientes na forma de balde com um pequeno furo na base por onde a água se escoava. Escalas uniformes de tempo eram marcadas no interior do balde, uma para cada mês, por causa da variação das noites e, também, devido às estações do ano. É claro que a variação da viscosidade da água, por causa da variação de temperatura, tornava irregular o fluxo de água, dificultando, dessa forma, a precisão da medida do tempo. No mundo clássico greco-romano os **relógios de água** foram denominados de **clepsidras** (do grego: *kleptein* – roubar; *hydor* – água). A **clepsidra** romana tinha a forma de um

cilindro no qual a água gotejava de um reservatório. As leituras temporais eram feitas em uma escala por intermédio de um flutuador (boia). Parece que a mais famosa **clepsidra** foi construída por Ctesíbio de Alexandria (285-247). Ela continha um mecanismo movido à água que operava um cilindro rotativo, no qual estavam dispostas as horas desiguais do dia e da noite. Ele foi, também, o precursor do *relógio de cuco*, pois algumas de suas **clepsidras** eram dotadas de um fluxo constantes de água que operava toda espécie de alavancas e peças automáticas, assim como sinos, bonecos movediços e pássaros canoros. Registre-se que Scipio de Násica levou para Roma, em 157 d.C., um exemplar de uma **clepsidra**. Em 721 d.C., o astrônomo chinês Y. Hang construiu uma **clepsidra mecânica** que indicava o movimento dos astros. Em 885 d.C., o Rei de Wessex, Alfredo o Grande (849-899) usou velas para medir o tempo.

Um outro dispositivo muito usado na Antiguidade para medir o tempo foi a **ampulheta** (do vocábulo romano *ampulla*, que significa redoma), constituída de dois globos, inicialmente de cerâmica e depois de vidro, juntos por um pequeno disco de metal com um furo no centro. A contagem do tempo era feita pelo escoamento de certa quantidade da areia de um globo para o outro. As primeiras referências a esse tipo de “relógio” apareceram no ano 250 d.C. Na Era Cristã, no decorrer do Século 14 a **ampulheta** foi bastante utilizada no mar, e durante os Séculos 16 e 17, nas Igrejas para medir o tempo dos sermões. Ainda no Século 17, relógios tipo **candeeiro** foram bastante usados. Nestes, o tempo era medido pela queima de um pavio imerso em óleo e a escala do tempo era dada pelo abaixamento de seu nível no interior do recipiente no qual estava contido.

Paralelamente a esses dispositivos para medir o tempo, outros puramente mecânicos foram desenvolvidos a partir da segunda metade do Século 13. Para isso, foi importante o desenho do mecanismo do “escapo” feito pelo arquiteto Villard, em 1251. Esse mecanismo faz “tique-taque” em intervalos regulares e move as engrenagens em uma série de intervalos iguais. Esses **relógios mecânicos** “sonoros” eram colocados em Igrejas ou em pequenas torres públicas em várias cidades da Europa. Assim, parece que o exemplar mais antigo desse tipo de relógio foi construído pelo relojoeiro Barthélemy, e instalado na Catedral de São Paulo, em Londres, na Inglaterra, por volta de 1286. Relógio semelhante a esse foi instalado na Catedral de Canterbury, em 1292, ainda na Inglaterra. Em Paris, o primeiro relógio público foi construído por Pierre Pipelart, em 1300. Mais tarde, em 1309, um outro relógio análogo foi o da Igreja de Santo Eustórgio, em Milão, na Itália. Ainda nesse país europeu, porém em Pádua, Giovanni di Dondi (1318-1389) construiu em 1364, um relógio complexo contendo sete mostradores. Cada um desses mostradores simbolizava um planeta com toda a sorte de dados astronômicos, e apresentava, também, um outro mostrador extra para marcar o tempo. Esse relógio foi instalado na Biblioteca do Castelo Visconti. É oportuno registrar que esse relógio de di Dondi era muito semelhante ao construído por Su-Song, na China, em 1090. [Uma boa descrição desse relógio de di Dondi é feita por Gimpel (op. cit.).] A Inglaterra voltou a instalar um outro relógio público, em 1386, desta vez na Catedral de Salisbury, assim como fez a França, em 1389, desta vez na cidade de Rouen. Nesses relógios, basicamente, o tempo era medido pelo movimento mecânico periódico de uma pesada barra que era empurrada, ora num sentido, ora noutro por uma roda dentada que avançava por um espaço de um dente em cada oscilação dupla da barra. A roda, por sua vez, era movida por um peso suspenso em um tambor. Registre-se que, provavelmente, esse **mecanismo pendular** foi inventado entre 1277 e 1300.

Sobre o **relógio mecânico**, é interessante registrar que o mesmo foi motivo de o poeta e escritor italiano Dante Alighieri (1265-1321) falar de suas engrenagens e toques, conforme nos fala Gimpel (op. cit.). Assim, no “Canto do Quarto Céu”, do *Canto X do Paraíso* de sua famosa **Divina Comédia**, publicada antes de 1321, Dante escreveu: *Como um relógio quando nos chama à hora em que a esposa de Deus se levanta para cantar as matinas em honra de seu esposo, a fim de obter seu amor, e cujas rodinhas puxam e empurram outras, fazendo soar tim-tim numa nota tão doce que o espírito bem disposto se enche de amor.*

Diferentemente dos relógios mais antigos, nos quais o tempo era marcado por uma campainha, os relógios dessa época de Dante possuíam apenas um ponteiro e o mostrador se dividia apenas em horas e quartos de hora e, portanto, não marcavam o tempo com precisão. Essa deficiência permaneceu ainda por muito tempo, até o Século 16, conforme veremos mais adiante. Antes, porém, é oportuno comentar que o matemático inglês Richard de Wallingford (1292-1336), como abade da Igreja de Saint-Albans, em Hertfordshire, apresentou em seu livro **Tractatus Horologii Astronomici**, publicado em 1327, o projeto de um **relógio astronômico** que, no entanto, apesar de ele haver iniciado a sua construção, a mesma só foi concluída 20 anos após sua morte, pelo mecânico William de Walsham. Observe-se que Richard concebeu novos métodos de trigonometria, que lhe valeram o título de “pai da trigonometria inglesa”, e inventou dois instrumentos: o *Albion* e o *Rectangulus*. O primeiro, descrito por ele no livro **Tractatus Albionis**, semelhante ao equatário planetário, era usado em cálculos astronômicos tais como: o lunar, o solar e o planetário e, também, fazia previsão de eclipses. O segundo, era destinado à confecção de plantas de edificações.

Muito embora a fita de aço haja sido aplicada nos relógios como elemento motor, como fizera o arquiteto florentino Filippo Brunelleschi (1377-1446), por volta de 1410, ao usar uma mola em espiral que funcionava como *corda*, foi somente, em 1510, que o serralheiro alemão Peter Henlein (1480-1542) a usou e, com isso, construiu o primeiro **relógio mecânico portátil**. A importância dessa inovação decorre do fato de que os mecanismos dos relógios em uso eram acionados por pesos e, portanto, tornava impraticável o transporte pessoal. Apesar de essa inovação (*corda*) aumentar a precisão dos relógios, havia um problema, pois quando ela deixava de enrolar a “mola principal”, ocorria um atraso na leitura do relógio. Em virtude disso, em 1525, o mecânico suíço Jacob Zech, em Praga, inventou o *caracol*, uma “mola em espiral” que equalizava o movimento da “mola principal”. Note-se que o primeiro **relógio portátil ovóide** surgiu em Nuremberg, na Alemanha, em 1542, e que, somente em 1575, a Inglaterra e a Suíça passaram a construir relógios portáteis.

Apesar das melhorias introduzidas nos **relógios mecânicos**, conforme vimos acima, até meados do Século 16, eles ainda tinham apenas o ponteiro das horas e, portanto, sua precisão continuava bastante precária. Em vista dessa dificuldade, em 1577, o inventor suíço Jost Bürgi (1552-1632) idealizou o ponteiro dos minutos. E, em 1585, ele próprio construiu um relógio que não atrasava durante três meses. No entanto, apesar de todas essas inovações, permanecia o problema da precisão; esta só começou a ser melhorada com a descoberta das oscilações pendulares das quais falaremos a seguir.

Parece haver sido o matemático e físico Galileu Galilei (1564-1642) o primeiro a observar regularmente as oscilações pendulares. Segundo a lenda, por volta de 1582, assistindo à Missa na Catedral de Pisa, ele observou que as oscilações consecutivas de um candelabro, que fora, provavelmente, posto em movimento por um sacristão que acendera suas velas, elas (as oscilações) se tornavam cada vez menores na medida em que o candelabro diminuía seu ritmo de movimento. Nessa ocasião, e como não dispunha de um medidor de tempo, Galileu mediu o tempo dessas oscilações por intermédio de sua pulsação e verificou que ele permanecia o mesmo quando as amplitudes de oscilação diminuía. Registre-se que, conforme foi visto posteriormente, esse resultado só vale para pequenas oscilações.

De posse dessa observação e em seu laboratório, Galileu realizou experiências com uma esfera atada à extremidade de um fio, encontrando o mesmo resultado que observara na Catedral de Pisa. Observou mais ainda que, independentemente do peso da esfera, o período de oscilação seria o mesmo desde que fosse mantido o comprimento do fio. Desse modo, em carta escrita, em 29 de novembro de 1602, ao Marquês Guiobaldo del Monte (1545-1607) - autor de um importante livro sobre Mecânica, intitulado **Liber mechanicorum** e publicado em 1577 – Galileu afirmou claramente ser o tempo de oscilação do pêndulo independente de sua amplitude. Tais afirmações ficaram então conhecidas como as famosas **leis do pêndulo Galilenianas** (vide

verbete nesta série). Uma consequência imediata dessa sua observação foi a seguinte. Em 1641, ao recordar os aborrecimentos de sua filha, a sóror Maria Celeste, com o relógio do convento onde vivia, que era incapaz de dar as badaladas na hora certa e que se encontrava sempre atrasado, ditou a seu filho Vincenzo [conforme registro de seu aluno, o físico italiano Vincenzo Viviani (1622-1703)], o projeto de um relógio, baseado em suas leis pendulares, e que esperava que corrigisse aqueles defeitos. Porém, como Galileu morreu logo depois, em 1642, foi seu filho Vincenzo quem construiu, em 1649, o relógio projetado por Galileu, provido de um pêndulo e de um escapamento livre. Registre-se que seu amigo, o médico italiano Sanctorius Sanctorius (1561-1636), que clinicava em Veneza, utilizou o pêndulo para inventar o *pulsilogium* (“pulsômetro”) e o usava para medir a pulsação de seus pacientes. No entanto, alguns historiadores da Ciência atribuem essa invenção a Galileu.

Como a medida do tempo com bastante precisão era muito importante para o estudo da Astronomia, o astrônomo, físico e matemático holandês Christian Huygens (1629-1695), em 1657/1658, utilizou o mecanismo do pêndulo para regular os relógios, depois de descobrir, em 1656, que o período de um pêndulo era independente de sua amplitude. Aliás, esse fato já havia sido observado experimentalmente pelo matemático francês Marin Mersenne (1588-1648), em 1644. Por outro lado, em 1659, Huygens demonstrou que a trajetória cicloidal tornava o período de um pêndulo independente de sua amplitude. Em consequência desse resultado, Huygens passou a construir relógios cada vez mais precisos, relógios esses que media inclusive o segundo. Suas pesquisas sobre pêndulo foram reunidas no livro intitulado **Horologium Oscillatorium sive le Motu Pendulorum**, publicado em 1673, no qual há um tratamento teórico sobre pêndulos simples e composto, bem como uma descrição ilustrada de seu **relógio de pêndulo**. Nesse relógio, o mecanismo de pêndulo regulava um **escape** substitutivo da travessa nos relógios de Igreja. Note-se que, antes, em 1670, o relojoeiro inglês William Clement reduziu a oscilação do pêndulo a um pequeno arco, conseguindo, desse modo, construir um relógio bastante preciso, com um pêndulo de cerca de um metro de comprimento, e oscilações em torno de três a quatro graus. Mais tarde, em 1675, o relojoeiro francês Isaac Thuret (c.1630-1706) incorporou ao **relógio de pêndulo** a **mola de balanço** (espiral de aço, conhecido depois como “cabelo”) que havia sido inventada, nesse mesmo ano, pelo próprio Huygens e, independentemente, pelo físico inglês Robert Hooke (1635-1703) para ser usada nos relógios portáteis. Desse modo, os relógios passaram a ter uma precisão de dois minutos por dia. Foi ainda em 1675 que o **relógio portátil** ganhou a denominação de **relógio de bolso** graças ao Rei Charles II (1630-1685), na Inglaterra, que introduziu as jaquetas no vestuário e, desse modo, os relógios portáteis passaram a ser usados nos bolsos das jaquetas. Antes, eles eram usados como colar. Em 1680, o ponteiro dos minutos foi definitivamente incorporado ao mecanismo dos relógios e, em 1700, surgem os primeiros relógios de azeite.

No Século 18, novas melhorias foram incorporadas aos relógios mecânicos. Por volta de 1701, o matemático suíço Nicolas Fatio de Duillier (1664-1753) e Pierre de Baufre começaram a usar pedras de rubi perfuradas como mancais nos relógios mecânicos e, em 1705, eles receberam patentes por essa inovação. Mais tarde, em 1726, o inventor inglês George Graham (1674-1751) introduziu um **mecanismo de compensação a mercúrio** para os pêndulos, com o qual conseguiu controlar a variação de temperatura, aumentando com isso, a precisão dos relógios. Por sua vez, o **escapamento livre** é apresentado à *Academia de Ciências de Paris*, em 1748, pelo relojoeiro francês Pierre Le Roy (1686-1759). Em 1759, o relojoeiro inglês Thomas Mudge (1717-1794) inventou uma variante do **mecanismo de escape**, o conhecido **escape de alavanca**.

Muito embora Le Roy haja cunhado o termo **cronômetro** somente em 1761, uma sua modalidade, o **cronômetro marítimo**, foi objeto de estudo por parte do carpinteiro e relojoeiro inglês John Harrison (1693-1776), desde 1735, para orientar a navegação marítima que apresentava dificuldades, pois não se conseguia determinar com certa precisão a longitude, que é uma das coordenadas geográficas (a outra, é a latitude) usadas naquela navegação. A dificuldade em encontrar a longitude decorria do fato de que ela é medida pelo tempo gasto no deslocamento

marítimo, entre meridianos e ao longo de um *paralelo* (plano paralelo ao equador terrestre e que é perpendicular ao *meridiano*, que é um plano que passa pelos polos terrestres). Assim, naquele ano de 1735, com auxílio de seu irmão mais novo James, Harrison construiu o primeiro **relógio marítimo**, conhecido como H1, que não possuía pêndulo e utilizava um **balancim** com dois pesos com pouco mais de dois quilos e conectados por intermédio de arcos de metal. Com o objetivo de melhorar a precisão do H1, ele construiu o H2, em 1739, e que apresentava uma inovação em seu mecanismo – o **remontoire** – que assegurava que a força do **escapo** fosse constante. Ainda objetivando melhorar seu invento, Harrison, agora sem a ajuda de seu irmão James, passou a construir o H3. Desta vez, ele usou balancins circulares e um “retentor” bimetálico para controle da temperatura. Porém, como o H3 era muito parecido com o H2, Harrison partiu para um projeto de **relógio marítimo** completamente diferente. O H4 só ficou pronto em 1561, agora conhecido como **cronômetro marítimo**, graças a denominação de Le Roy, conforme vimos acima. Ele tinha um pouco mais de 13 centímetros de diâmetro e apresentava um erro de meio minuto por ano, pois a sua **mola de balanço** se adaptava a diferentes temperaturas, enquanto a **mola principal** reenrolava-se a cada sete segundos e meio. É oportuno salientar que Harrison construiu, em 1772, o H5 muito similar ao H4. Para maiores detalhes sobre os H, ver Philbin, op. cit. Por fim, é interessante registrar que, ainda durante o Século 18, tivemos outras inovações na construção dos relógios: em 1765, o ponteiro dos segundos; em 1787, o relojoeiro franco-suíço Abraham Louis Breguet (1747-1823) produziu relógios de bolso com escapamento tipo alavanca e um sistema a prova de choque; e em 1800, o **cronômetro de bolso** de boa precisão foi construído.

No Século 19, outras inovações foram adicionadas aos relógios mecânicos. Em 1840, o advogado e relojoeiro inglês Edmund Beckett, Lord Grimthorpe (1816-1905) inventou o **escape à gravidade** e o incorporou ao famoso **Big-Ben** de Londres. Em 1848, o físico inglês Sir Charles Wheatstone (1802-1875) inventou um **relógio polar** para determinar a posição do Sol, por intermédio do ângulo de polarização da luz solar. O neto de Abraham, o físico e construtor de relógios francês Louis François Clement Breguet (1804-1883) idealizou, em 1856, um dispositivo eletromagnético para carregar a **corda** dos relógios. Observe-se que ele obteve várias patentes de suas invenções, como, por exemplo, a do **diapasão**, em 26 de outubro de 1866. No ano anterior, em 1865, o inventor germano-suíço George Frederic Roskopf (1813-1889) apresentou o **escapamento alavanca por pinos**. Três anos depois, em 1868, o primeiro **relógio de pulso** foi construído pela firma Patek Phillipe & Cie., formada da associação dos relojoeiros, o conde polonês Antoni Norbert Patek (1811-1877) e o francês Jean Adrien Phillipe (1815-1894). Mais tarde, em 1889, o físico alemão Sigmund Riefler (1847-1912) construiu um **relógio de pêndulo** com a precisão de um 0,01 s. Registre-se que a produção da liga de ferro (Fe), níquel (Ni) e cromo (Cr) – o **invar** (que se dilata 10 vezes menos que o Fe) - pelo físico franco-suíço Charles Édouard Guillaume (1861-1938; PNF, 1920), em 1896, foi importante na construção de relógios mecânicos mais precisos. É oportuno notar que, na continuação de suas pesquisas sobre novas ligas ferro-níquel, Guillaume produziu a liga **elinvar** [contendo Fe, Ni, Cr e pequenas partes de tungstênio (W) e manganês (Mn)], com coeficiente termoelástico praticamente nulo.

Agora, vejamos as inovações relojoeiras acontecidas no Século 20. Muito embora, logo no começo deste Século o **relógio de pulso** já estivesse em uso, foi o inventor brasileiro Alberto Santos Dumont (1873-1932) quem popularizou esse tipo de relógio ao pedir ao seu amigo, o relojoeiro francês Louis-François Cartier (1875-1942), que desenhasse um relógio para que ele pudesse ver as horas durante seus voos aéreos em Paris, enquanto mantinha suas mãos no comando. Assim, em março de 1904, com a ajuda do mestre relojoeiro francês Edmond Jaeger (1850-1922), Cartier criou o **Santos**, um **relógio de pulso com pulseira de couro**, que foi o primeiro **relógio de pulso** feito para homens, e colocados à venda somente em 1911. É oportuno salientar que Cartier iniciou uma geração de joalheiros franceses e que se tornou famosa no mundo inteiro: ele próprio, seu filho Alfred e seus três netos, Pierre, Jacques e Louis François.

Em 1912, John Harwood patenteou um dispositivo de **corda automática**, que foi logo adaptado ao **relógio de pulso**; em 1918, H. E. Warren construiu o primeiro motor elétrico síncrono para relógios mecânicos; e em 1921, o físico inglês William Hamilton Shortt inventou o **relógio bipependicular**.

A partir de 1927, há uma mudança de paradigma na concepção dos relógios mecânicos, quando o sistema mecânico (oscilações) de medir o tempo é substituído pela oscilação de um cristal, graças ao **efeito piezo-elétrico** (vide verbete nesta série). Inicialmente, vejamos tal efeito. Em 1880, os irmãos franceses, o físico Pierre Curie (1859-1906; PNF, 1903) e o químico Paul Jacques Curie (1855-1941), observaram que havia uma diferença de potencial elétrico toda a vez que a face de um cristal é pressionada. Logo depois, em 1881, eles encontraram o efeito inverso, isto é, o alongamento ou a contração de um cristal sob a ação de um campo elétrico, de acordo com a previsão feita pelo físico francês Gabriel Jonas Lippmann (1845-1921; PNF, 1908), também em 1881.

Pois bem, aproveitando essa propriedade do quartzo, o engenheiro de telecomunicações Warren A. Morrison construiu, em 1927, o primeiro **relógio de quartzo**, que ocupava uma pequena sala. Nesse tipo de relógio, basicamente, o cristal de quartzo, dependendo de seu corte e lapidação, ao ser acionado por um circuito elétrico de corrente alternada, muda sua estrutura molecular produzindo um sinal de frequência constante e ao ser amplificado, vai acionar um contador de tempo, um motor síncrono (este, conforme vimos já havia sido inventado, em 1918). No entanto, dificuldades com o quartzo fizeram com que novas idéias fossem desenvolvidas uma vez que, embora as oscilações desse cristal sejam menos suscetíveis a abalos que os relógios mecânicos, mas ainda dependem fortemente do seu tamanho e de sua forma (corte e clivagem). Assim, em 1957, o relojoeiro suíço Max Hetzel, da fábrica *Hamilton*, nos Estados Unidos, inventou o **relógio eletro-mecânico** que é, basicamente, um **relógio mecânico**, com escapamento convencional (visto acima), porém movido por indução magnética (por intermédio de bobinas), com energia provida por uma bateria, substituindo a energia mecânica da **corda**. Em 1959, a fábrica *Seiko*, no Japão, iniciou seu projeto para a construção do **relógio de pulso de quartzo**. Essa tecnologia do quartzo é então disseminada nas principais fábricas relojoeiras no mundo e, em 1967, esse tipo de relógio, com mostradores e ponteiros convencionais, é vendido no comércio internacional.

Na década de 1970, novas tecnologias foram acrescentadas ao **relógio de quartzo**, em virtude das descobertas dos **díodos emissores de luz** (LED – “Light-Emitting Diode”), em 1962, e do **efeito Schadt-Helfrich** (vide verbete nesta série), em 1971, segundo o qual os cristais líquidos têm a propriedade de se orientar numa mesma direção quando sob a ação de um campo elétrico e a de propagar a luz polarizada sem girar o seu plano de polarização. Essas tecnologias, associadas com a tecnologia dos circuitos integrados com semicondutores (sobre estes novos materiais, ver verbete nesta série), permitiram a invenção do **relógio digital**, com os LED substituindo as baterias, e os mostradores de cristal líquido (LCD - “Liquid-Crystal Display”) no lugar dos ponteiros. Aliás, é interessante registrar que esse **relógio sem ponteiro** tem sua incrível invenção narrada no [site: pt.wikipedia.org/wiki/Relógio-Digital](http://pt.wikipedia.org/wiki/Relógio-Digital).

Com relação à precisão do **relógio de quartzo**, é oportuno observar que ela está relacionada com a frequência de vibração desse cristal. Por exemplo, tomemos a frequência de 32.768 Hz. Ora, como $32.768 = 2^{16}$, portanto, um múltiplo de 2. Ora, como a **eletrônica digital** funciona na base 2, então, acionando o quartzo com um circuito digital e usando um conjunto de 32.768 divisores de frequência, pode-se obter a frequência de um pulso por segundo. No entanto, como as frequências de vibração do quartzo sofrem pequenas variações com a mudança de temperatura, associado ao próprio envelhecimento do cristal, uma nova tecnologia foi inventada - a **termocompensação digital**. Desse modo, novas precisões foram conseguidas com frequências mais altas, ainda na década de 1970, cujos detalhes podem ser vistos no [site: adenoma.sites.uol.com.br/Quartz.html](http://adenoma.sites.uol.com.br/Quartz.html)

Antes de concluir este verbete, é oportuno falar do **relógio atômico** cuja precisão suplantou a do **relógio de quartzo**, uma vez que ele é baseado na **ressonância atômica**. Uma primeira tentativa de construir um relógio com melhor precisão do que a do **relógio de quartzo** foi realizada, em 1949, no *National Bureau of Standards* (NBS) [hoje, *National Institute of Standards and Technology* (NIST)], nos Estados Unidos em 1948, usando as oscilações da molécula de amônia (NH₃). No entanto, os resultados não foram melhores que os fornecidos pelo **relógio de quartzo**. Mais tarde, em 1955 (*Nature* **176**, p. 280), os físicos ingleses Louis Essen (1908-1997) e Jack V. Parry descreveram a construção do primeiro **relógio atômico** usando as oscilações do átomo de céσιο-133 (⁵⁵Cs¹³³). Registre-se que, como esse elemento químico possui uma frequência de 9.192.631.770 Hz, em 1967, a *13^a Conferência Geral de Pesos e Medidas*, definiu o **segundo** como sendo: *a duração de 9.192.631.770 períodos da radiação correspondente da transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de céσιο-133*.

Na conclusão deste verbete, é interessante fazer três registros. Os dois primeiros dizem respeito ao Brasil. Em 1969, o *Observatório Nacional*, localizado no Rio de Janeiro, adquiriu o seu primeiro **relógio atômico de céσιο-133**. Hoje, ele possui dois, com as agências nacionais responsáveis pelo horário oficial brasileiro cuidando de sua manutenção para manter a precisão de 10⁻⁹ segundo por dia. O segundo registro, ainda referente ao Brasil, é sobre a construção, em 1997, do primeiro **relógio atômico brasileiro**, também de céσιο-133, realizado no *Instituto de Física da Universidade de São Paulo/São Carlo*, sob a coordenação do físico brasileiro Vanderlei Salvador Bagnato (n.1958). Para detalhes dessa construção, ver: Aparecida M. Tuboy, Débora M. B. P. Milori, Flávio T. Carvalho, Sérgio C. Zílio e Vanderlei S. Bagnato, **O Relógio Atômico Brasileiro** (*Ciência Hoje* **23**, p. 42, Dezembro de 1997). Por fim, registre-se que o NIST anunciou, em agosto de 2004, a construção do primeiro **relógio atômico miniaturizado**. Ele é feito de um único átomo de mercúrio (Hg), com a precisão de atraso/adiantamento de 1 segundo em cada 400 milhões de ano e consome apenas 75 miliwatts (mW) de potência.

[ANTERIOR](#)[SEGUINTE](#)