



# CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

[www.bassalo.com.br](http://www.bassalo.com.br)

## Físicos Paraenses Egressos da Universidade Federal do Pará (UFPA) em Grande Destaque.

A Física Paraense está de parabéns por dois de seus membros terem participado de dois eventos importantes para o desenvolvimento da Física Mundial: um experimental e outro teórico. O experimental se deve ao físico paraense José Guilherme Rocha de Lima (n.1967), por sua participação em duas descobertas importantes para o entendimento da Física das Partículas Elementares: **quark top** (t) e **bóson de Higgs** (H). Na descoberta do t, em 1995 (*Physical Review Letters* **74**, p. 2626; 2632), ele era membro da *Colaboração Internacional D0*, no acelerador *Tevatron* do FERMILAB (*Fermi National Accelerator Laboratory*), e a do H, descoberto em 2012 (*Physics Letters* **B716**, p. 1), pertencia à *Colaboração A Toroidal LHC ApparatuS* (ATLAS), do *Large Hadron Collider* (LHC) do *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* (hoje: *European Organization for Nuclear Research*) (CERN), na Europa. José Guilherme, como o chamamos, bacharelou-se em Física pela *Universidade Federal do Pará* (UFPA), em 1988, é Doutor em Física pelo *Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas* (CBPF), em 1995, e hoje pertence ao corpo de cientistas do FERMILAB, localizado em Batavia, Illinois, USA.

Vejam os a razão desse feito notável e de suas consequências. Iniciemos com o **quark top**. Segundo vimos em verbetes desta série, em 1964, os físicos norte-americanos Murray Gell-Mann (n.1929; PNF, 1969) (*Physics Letters* **8**, p. 214) e George Zweig (n.1947) (de origem russa) (*CERN Preprint* **8182/Th 401; 8419/Th 412**) propuseram um modelo para representar as partículas elementares, as quais deveriam ser constituídas por novas partículas, denominadas de **quarks** (Gell-Mann) e de **aces** (Zweig). Segundo esse modelo, o hoje famoso **Modelo de Quarks**, os **hádrons** (partículas sensíveis à força forte) seriam formados por combinações de **quarks** de carga (Q) [e de seus correspondentes **antiquarks** de carga (- Q)]. Nesse Modelo, foram previstos apenas três “sabores” de **quarks**: **up** (u; Q = +2 |e|/3), **down** (d; Q = - |e|/3) e **strange** (s; Q = - |e|/3), que seriam suficientes para formar todos os **hádrons** então conhecidos. Além disso, somente seriam válidas as combinações de carga elétrica total que fossem múltiplos inteiros da carga (e) do elétron, e assim os **hádrons** foram classificados entre **bárions** (e **antibárions**) ou **mésons**, sendo os **bárions** formados por qualquer combinação de três **quarks**, como, por exemplo: **próton** [p(uud)], **nêutron** [n(udd)], **xi-menos** [ $\Xi^-$ (dss)] e **ômega-menos** [ $\Omega^-$ (sss)], enquanto os **mésons** sendo formados por combinações **quark-antiquark** como, por exemplo: **píons**: .

Mais tarde, foram previstos mais três “sabores” de **quarks**: **charme** (c), em 1964, **bottom/bonito** (b), em 1974 e **top** (t), em 1974, e descobertos, respectivamente, em 1974, 1977 e 1995. É ainda interessante registrar que nosso José Guilherme (a quem agradeço nesta oportunidade a leitura crítica deste verbete) também participou da descoberta do **xi estranho bonito-menos** [ (dsb)], em 2007 (*Physical Review Letters* **99**, article number (a.n.) 052001/ FERMILAB/D0) e do **ômega duplo estranho bonito-menos** [ (ssb)], em 2008 (*Physical Review Letters* **101**, a.n. 232002, FERMILAB/D0) ([www.searadaciencia.ufc.br/bassalo](http://www.searadaciencia.ufc.br/bassalo)).

Vejam agora o **bóson de Higgs** (H). Ainda segundo vimos em verbetes desta série, em 1964, em trabalhos independentes dos físicos, o inglês Peter Ware Higgs (n.1929; PNF, 2013) (*Physics Letters* **12**, p. 132; *Physical Review Letters* **13**, p. 508), os belgas François Englert (n.1932; PNF, 2013) e Robert Brout (1928-2011) (*Physical Review Letters* **13**, p. 321), os norte-americanos Gerald Stanford Guralnik (n.1936) e Carl Richard Hagen (n.1937), e o indiano-inglês Thomas Walter Bannerman Kibble (n.1932) (*Physical Review Letters* **13**, p. 585), encontraram um mecanismo capaz de gerar as massas de

todas as partículas elementares. Esse mecanismo ficou conhecido como **mecanismo de Higgs**, e o bóson de spin nulo correspondente é hoje conhecido como **bóson de Higgs** (H).

Proposto o H, como vimos acima, os grandes aceleradores de partículas, principalmente, o **LEP (Large Electron-Positron Collider) Working Group for Higgs Boson Searches** do EP/CERN [Colaborações: *Apparatus for LEP Physics* (ALEPH), *Detector with Lepton, Photon and Hadron Identification* (DELPHI), *Terceiro Experimento do LEP* (L3), *Omni-Purpose Apparatus for LEP* (OPAL)], e os **anéis de colisão próton-antipróton** ( $\text{ppbar}$ ) do FERMILAB [**Tevatron New Phenomena & Higgs Working Group: Combined D0/CDF** (TEVNPHWG:D0/CDF)] e o do LHC/CERN [Colaborações: ATLAS e **Compact Muon Solenoid** (CMS)] começaram a busca por sua confirmação. Note-se que o LEP é um anel de 27 km e energia inicial de 91 GeV, quando construído em 1989; o **Tevatron** é um anel de 6,3 km e energia de 2 TeV, construído em 1983 e desativado em 30 de setembro de 2011; e o LHC (sucessor do LEP, a partir de 2000), mantendo 27 km e energia de 7 TeV (em 2011) e 8 TeV (em 2012), por feixe. (Lembrar que:  $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$  e que  $1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$ ; sendo  $1 \text{ eV} = 1,602176462 \times 10^{-19} \text{ J}$  e  $E = mc^2 = m$ , considerando  $c = 1$ ).

A busca de H começou nas duas últimas décadas do Século 20 e prolongou-se até 2012, com várias evidências de sua existência encontradas pelas colaborações do LEP: ALEPH, DELPHI, L3, OPAL, TEVNPHWG:D0/CDF (sendo que dessas colaborações do LEP, nenhuma evidência foi confirmada e indicavam uma massa para o H de 115 GeV, menor do que o valor realmente detectado, como veremos a seguir), e pelo ATLAS e CMS, conforme se pode ver nos artigos de G. Bernardi, Marcela Carena e T. Junk, **Higgs Bosons Theory and Searches** [*IN: Physical Review D* **86**, a.n. 010001 (2012)] e de M. Della Negra, Peter Jenni e T. S. Virdee, **Journey in the Search for the Higgs Boson: The ATLAS and CMS Experiments at the Large Hadron Collider** (*Science* **338**, p. 1560, 21 de dezembro de 2012). Contudo, a sua existência só foi considerada dentro dos padrões internacionais (com nível de precisão de  $5\sigma$ , ou seja, menos do que um em um milhão de chances de erro) em 2012, quando a colaboração TEVNPHWG:D0/CDF (*arXiv:1207.0449v1 [hep-ex]*, 02 de julho) anunciou (depois de uma informação extra-oficial do LHC) a existência de H com  $m_H \approx (114-130) \text{ GeV}$ , com um nível de precisão de apenas  $3\sigma$ , e as colaborações ATLAS (*Physics Letters B* **716**, p. 1) e CMS (*Physics Letters B* **716**, p. 30) anunciaram, por sua vez, em 04 de julho, terem realmente detectado o H com os seguintes respectivos valores de  $m_H \approx 126,5 \text{ GeV}$  e  $125,3 \pm 0,6 \text{ GeV}$ , após observaram, basicamente, o decaimento de H nos canais:  $H \rightarrow Z\gamma$  e  $H \rightarrow 2\gamma$ . Note-se que os demais canais observados pelo LHC:  $H \rightarrow \text{bb}$  não apresentava nenhuma evidência de H, o que levou alguns físicos teóricos a especular que essa partícula era “fermiofóbica” e o canal  $H \rightarrow W^+ + W^-$  também observado pelo LHC. Note-se que, o canal  $H \rightarrow \text{bb}$  era o candidato mais provável, e no final a descoberta aconteceu no canal  $H \rightarrow 2\gamma$  (e  $Z\gamma$ ), não porque era mais abundante, mas sim por ser o mais limpo, e com maior capacidade de rejeição do *background* hadrônico.

É oportuno registrar que, na colaboração ATLAS (que detectou o H), nosso José Guilherme, junto com Luiz Pereira Calôba (n.1944), Augusto Santiago Cerqueira (n.1974), Denis Oliveira Damazio (n.1975), Maria Aline Barros do Vale (n.1961), Marisilvia Donadelli (n.1968), Marco Aurélio Lisboa Leite (n.1966), Carmen (Lucia Lodi) Maidantchik (n.1967), Luciano Manhães de Andrade Filho (n.1978), Fernando Marroquim (Leão de Almeida Junior) (n.1948), Andre Asevedo Nepomuceno (n.1979), Marcelo Perantoni (n.1973) e José Manoel de Seixas (n.1954) foram os treze (13) cientistas (físicos e engenheiros) brasileiros dos quase três mil cientistas que participaram dessa experiência. Note-se que, na colaboração CMS, participaram mais 35 cientistas brasileiros (José Maria Filardo Bassalo, **O Prêmio Nobel de Física de 2013**, a ser publicado no site: [www.searadaciencia.ufc.br](http://www.searadaciencia.ufc.br)).

O evento teórico, também notável, se deve ao físico paraense Antônio Boulhosa Nassar (n.1953) [Engenheiro Elétrico pela UFPA, em 1977, e Doutor em Física pela *University of California* (UCLA), em 1992] ao encontrar, em janeiro de 2013 (*Annals of Physics* **331**, p. 317), a solução do problema proposto pelo físico irlandês John Stewart Bell (1928-1990) [**Speakable and Unspeakable Quantum Mechanics** (Cambridge University Press, 1987)] relacionado ao tempo que separa os regimes: clássico e quântico, em um problema de medida contínua. Nesse trabalho, no qual usou o formalismo da Mecânica

Quântica de de Broglie-Bohm (MQB-B) (que permite calcular trajetórias quânticas), ele mostrou que uma medida contínua altera as propriedades dinâmicas do sistema que está sendo medido. Assim, enquanto a largura de um pacote de onda pode atingir um regime estacionário, suas trajetórias quânticas convergem assintoticamente no tempo para trajetórias clássicas. Portanto, medidas contínuas não somente perturbam a partícula bem como a obrigam a convergir eventualmente a um regime clássico (newtoniano). Essa taxa de convergência depende do que ele denominou de **Constante Quântica de Bohm** ( $\tau_B$ ) e que caracteriza o *tempo de resolução* da medida. Se a largura inicial do pacote de onda for da ordem do tamanho de um elétron ( $2,8 \cdot 10^{-15}$  m), então teremos  $\tau_B \approx 6,8 \cdot 10^{-26}$  s. Agora, em 11 de outubro de 2013 (*Physical Review Letters* **111**, a.n. 150401), em artigo publicado em parceria com o físico espanhol Salvador Miret-Artés (n.1957), foi confirmado esse tempo e sugerido o tipo de experiência a ser realizada para determiná-lo. Toninho, como o chamamos, é graduado em Engenharia Elétrica pela UFPA, ensinou e orientou Teses de Mestrado (usando o formalismo indicado acima) no então *Departamento de Física* da UFPA e, atualmente, ensina na *Harward Westlake School* e na *University of California*, na Califórnia, USA.

É oportuno destacar que Nassar (a quem agradeço nesta oportunidade a leitura crítica deste verbete), com a colaboração dos físicos paraenses José Maria Filardo Bassalo (n.1935) e Paulo de Tarso Santos Alencar (1940-2011), e do físico paulista Mauro Sérgio Dorsa Cattani (n.1942) usou a MQB-B em vários trabalhos envolvendo **Equações de Schrödinger Lineares e Não-Lineares** e que foram reunidos no livro intitulado **Tópicos da Mecânica Quântica de de Broglie-Bohm** (EdUFPA, 2003; e-book. 2010. <http://publica-sbi.if.usp.br/PDFs/pd1655.pdf>). Por fim, em 2012 (*Journal of Advanced Mathematics and Applications* **1**, p. 89), Nassar, Bassalo, Cattani e o físico paraense Daniel Gemaque da Silva (n.1977) publicaram um artigo (*In Memoriam: Paulo de Tarso Santos Alencar*), no qual calcularam os **Propagadores de Feynman** de oito **Equações de Schrödinger Não-Lineares**, sendo que alguns deles já haviam sido pré-publicados no *arXiv* com a participação do inesquecível amigo Paulo de Tarso.



ANTERIOR

SEGUINTE