

## O Bóson de Higgs: uma conjectura audaz?

### RESUMO

**Marco Antonio Moreira**

[moreira@ifufrgs.br](mailto:moreira@ifufrgs.br)

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

Inicialmente, é apresentada uma adaptação do Vê epistemológico de Gowin à construção do conhecimento científico, incluindo resultados conhecidos, conjecturas e modelos não constantes no Vê original. A seguir, é destacado o importante papel das conjecturas, em particular, conjecturas audazes, no progresso da ciência. São dados alguns exemplos de conjecturas audazes, mas o foco fica em uma feita em 1964 e confirmada quase cinquenta anos depois, a do bóson de Higgs. A detecção dessa partícula mediadora de uma nova interação fundamental, a interação de Higgs, foi um grande avanço no conhecimento físico sobre a natureza da matéria, explicando a massa das partículas e consolidando o Modelo Padrão das partículas elementares. Ao final, são destacados aspectos epistemológicos do progresso científico e implicações para o ensino de ciências da natureza, contrariando a abordagem tradicional que as trata como um conjunto de definições e leis descobertas por “gênios”. Aprender ciências não é decorar definições, leis, fórmulas, equações, taxonomias, reações, para depois aplicá-las na resolução de problemas-padrão, fechados, com “resposta correta”.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conjeturas audazes. Bóson de Higgs. Modelo Padrão. Ensino de ciências.

## INTRODUÇÃO

O conhecimento científico é produzido, sendo uma construção do ser humano. A Epistemologia, uma subdisciplina da Filosofia, se ocupa da natureza, abrangência e justificação do conhecimento. Nessa perspectiva, Epistemologia da Ciência é o estudo da natureza, abrangência e justificação do conhecimento científico. Contudo, no estudo do conhecimento científico é usual se falar em Filosofia da Ciência (MOREIRA; MASSONI, 2011, p. 9).

Apesar de eventuais diferenças entre Epistemologia e Filosofia da Ciência, neste trabalho será usado apenas o termo epistemologia e um diagrama conhecido como Vê epistemológico (GOWIN, 1981; GOWIN; ALVAREZ, 2005; MOREIRA, 1990, 2006) para abordar a proposição e a detecção do bóson de Higgs (RANDALL, 2013; LEDERMAN; TERESI, 2006; CASAS; RODRIGO, 2012), desde uma perspectiva epistemológica.

## O VÊ EPISTEMOLÓGICO

Também conhecido como Diagrama V ou Vê de Gowin, o Vê epistemológico é um instrumento apropriado para explicitar a estrutura do processo de produção do conhecimento científico. Na verdade, esse instrumento pode ser usado para mostrar a estrutura do processo de produção de conhecimentos nas mais diversas áreas, mas aqui estará focalizado na produção do conhecimento científico, especificamente, na área da Física de Partículas, tomando o caso do bóson de Higgs como exemplo. Para isso, o diagrama original de Gowin foi adaptado pelo autor deste trabalho acrescentando itens (resultados conhecidos, modelos, fenômeno de interesse) e definindo no próprio diagrama alguns itens originais.

Dentro de um fenômeno de interesse, dentro de uma área de conhecimento, uma pesquisa sempre começa com uma ou mais questão(ões), pergunta(s)-chave. O perguntar está na essência da pesquisa científica, a qual é, então, uma busca de resposta(s) à(s) pergunta(s) feita(s), à(s) questão(ões) formulada(s). Nessa busca, é preciso observar eventos que acontecem naturalmente, ou que se fazem acontecer, ou ter objetos de estudo, que não são propriamente eventos, mas que podem ser observados e registrados. Registros são fundamentais na pesquisa científica. São gravações, anotações, trajetórias, contagens, medições, que possam gerar dados que, por sua vez, possam ser trabalhados, transformados, metodologicamente. Essas transformações metodológicas podem ser formais, computacionais, estatísticas, qualitativas. O objetivo é chegar aos resultados que respondam à(s) questão(ões)-chave. Esses resultados, denominados asserções de conhecimento, se constituem o conhecimento produzido, o qual deve ser examinado criticamente em termos de contribuição para o progresso da ciência, para a tecnologia, para a sociedade, levando às asserções de valor. Tudo isso está diagramado na Figura 1.

No começo do parágrafo anterior foi dito que, dentro de um fenômeno de interesse, uma pesquisa científica sempre começa com uma, ou mais, pergunta(s)-chave e que para respondê-la(s) é preciso focar em eventos ou objetos que se podem observar e fazer registros e que serão transformados metodologicamente em busca de respostas para a(s) pergunta(s)-chave. No

entanto, isso não deve induzir que a parte metodológica de uma pesquisa seja independente da parte conceitual, pois há uma permanente interação entre os domínios conceitual e metodológico. O que se faz no domínio metodológico é influenciado pelo domínio conceitual e este pode ser corroborado ou modificado em função dos resultados obtidos, ou seja, do conhecimento produzido.

Figura 1 - O Diagrama V, Vê Epistemológico ou V de Gowin.



Fonte: Adaptado por M.A. Moreira, à pesquisa científica.

Na base do domínio conceitual estão conceitos, construtos e sistemas conceituais. Conceitos apontam regularidades em eventos ou objetos. Construtos são conceitos ou ideias que estão na base de teorias sem se referirem diretamente a acontecimentos ou objetos. Por exemplo, na teoria cognitiva de Piaget, esquema é um construto. Sistemas, ou estruturas, conceituais são subconjuntos de conceitos interdependentes. Princípios são proposições, que funcionam como princípios norteadores da pesquisa, que derivam de conhecimentos prévios, de resultados conhecidos, e podem fazer parte de teorias. Resultados conhecidos, já existentes, já construídos, estão publicados em revistas especializadas. Conhecimento científico já construído, mas não publicado é como se não existisse. Por isso, busca-se, por meio de uma revisão da literatura, saber o que já existe em termos de conhecimentos produzidos em certa área de pesquisa.

Como foi dito, princípios podem também fazer parte de teorias e, geralmente, o fazem, mas não são a teoria em si. Voltando ao exemplo da teoria de Piaget, um princípio básico dessa teoria é que o ser humano constrói esquemas de assimilação, mas a teoria é muito mais do que esse princípio. Na Física, as chamadas Leis de Conservação podem ser tomadas como princípios, porém há muito mais do que princípios por detrás dessas leis. Por exemplo, a cada lei de conservação está associada uma simetria<sup>1</sup> das leis físicas. Esta associação ou correspondência, entre simetria e conservação é um importante resultado matemático conhecido como Teorema de Noether (MARTINS, 1999) demonstrado por Amalie Noether (1882-1935).

No domínio conceitual do diagrama V, apresentado na Figura 1, teorias aparecem acima de conceitos e princípios, porque são mais abrangentes do que estes. De um modo geral, uma teoria é uma interpretação sistemática de uma área de conhecimentos envolvendo conceitos, princípios, formalismos. É uma maneira de ver fenômenos, de explicar observações, de resolver problemas. A teoria eletromagnética, por exemplo, é um jeito de explicar fenômenos eletromagnéticos e de resolver problemas nessa área, desde a perspectiva da Física Clássica.

No entanto, neste domínio aparecem também modelos, abaixo de teorias, e paradigmas acima delas. Modelos estão na essência da ciência. Modelos permitem organizar o que foi observado, registrado, e prever novas observações. A construção de um modelo físico, por exemplo, começa com uma esquematização e simplificação da realidade. Depois, acrescenta-se uma estrutura inicial e prossegue-se elaborando, refinando, o modelo, introduzindo novos elementos, fazendo o uso de conceitos e procedimentos matemáticos até que este explique, ou resolva, o que se quer explicar ou resolver (MOREIRA; MASSONI, 2011).

Pode-se distinguir entre modelos e teorias atribuindo a estas uma maior abrangência e, talvez, maior estabilidade. Na visão epistemológica de Mario Bunge (1960), toda teoria física encerra um aspecto idealizado de um pedaço da realidade e essa idealização é chamada de modelo.

Paradigma, em palavras de Chalmers (1999), pode ser entendido como a incorporação de um arcabouço conceitual específico através do qual o mundo é visto e no qual ele é descrito, e um conjunto de técnicas experimentais e teóricas para fazer corresponder o paradigma à natureza. No entanto, não há motivo

algum, a priori, para que essa correspondência seja perfeita, ou mesmo a melhor possível.

Para Thomas Kuhn (2001), paradigmas são realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções exemplares para uma comunidade de praticantes de uma ciência.

A adoção ou conversão a um paradigma implica compromissos teóricos, metodológicos e filosóficos (crenças profundas, visões de mundo) que determinam o fazer científico dentro dele. Esse fazer científico dentro de compromissos paradigmáticos é o que Kuhn chama de ciência normal.

Entretanto, os paradigmas não são permanentes. A mudança descontínua de um paradigma para outro é o que Kuhn chamou de revolução científica, conceito pelo qual ficou famoso, embora outros epistemólogos prefiram conceitos como programas de pesquisa (LAKATOS, 1982) ou tradições de pesquisa (LAUDAN, 1986) e vejam o progresso da ciência mais evolutivo do que revolucionário, com mais continuidades do que rupturas e não necessariamente monoparadigmático, como defendia Kuhn.

Na educação, por exemplo, usa-se muito o paradigma construtivista dentro do qual se enquadram várias teorias e metodologias de ensino, mas há também o paradigma comportamentalista, que trata apenas das relações estímulo-resposta praticamente ignorando o que ocorre entre o estímulo (variável de entrada) e a resposta (variável saída). Há, também, o paradigma humanista, aquele que vê o aprendiz como pessoa inteira que integra pensamentos, sentimentos e ações.

Voltando à ciência pode-se resumir, de modo simplificado, o domínio conceitual do Vê epistemológico para a pesquisa científica, dizendo que tudo começa com conceitos, passa por conhecimentos já produzidos, faz uso de princípios norteadores, constrói modelos que levam a teorias e estas se enquadram em paradigmas ou programas e tradições de pesquisa.

No entanto, onde ficaram as conjeturas<sup>2</sup> e refutações.

Bem! Assim se chega ao objetivo deste texto: abordar o papel das conjeturas na construção do conhecimento científico e tomar o caso do bóson de Higgs como exemplo de uma conjetura audaz.

## CONJETURAS E REFUTAÇÕES

No âmbito da epistemologia, ou filosofia da ciência, conjeturas e refutações são conceitos popperianos, ou seja, associados à epistemologia de Karl Popper (1982). Aliás, as obras de Popper e Kuhn foram tão marcantes que é comum, na epistemologia, falar-se em antes e depois de Popper e Kuhn. Na esteira das obras de Popper e Kuhn, às vezes, se discorda muito deles, mas nunca ignorando-os, surgiram vários outros epistemólogos com trabalhos importantes que, sem dúvida, consolidaram a Filosofia da Ciência (MOREIRA; MASSONI, 2011).

Na perspectiva popperiana, conjeturas são antecipações justificadas (ou não), tentativas de soluções. É por meio delas que o conhecimento científico progride, mas são controladas pelo espírito crítico, ou seja, por refutações que incluem testes cruciais (POPPER, 1982). Nessa ótica, todas as leis e teorias científicas são essencialmente tentativas, conjeturais. Podem superar testes

críticos, mas nunca são irrefutavelmente justificadas. Sempre existe a possibilidade de que venham a ser refutadas. A confirmação, e aceitação, de uma teoria é sempre provisória, ao passo que sua refutação, na perspectiva de Popper, pode ser definitiva.

Na lógica popperiana, as teorias científicas são construídas como conjeturas (suposições, especulações) provisórias criadas livremente pelo intelecto humano, inclusive independente de dados observacionais empíricos, como uma tentativa de resolver problemas enfrentados por teorias anteriores e de explicar adequadamente eventos, comportamentos do mundo, do universo. No entanto, tais conjeturas devem ser testáveis, o que significa que devem fazer afirmações, que possam ser testadas pela observação e pela experimentação. As que não superam testes observacionais e experimentais aos quais são submetidas, ou seja, que são falseadas devem ser refutadas e substituídas por outras conjeturas especulativas (MOREIRA; MASSONI, 2011).

Antes de prosseguir, cabe destacar que, assim como há diferentes paradigmas científicos e distintas teorias científicas para explicar certos fenômenos, há também outras visões de ciência. A de Popper é racionalista crítica, mas em contraponto a ela se pode citar a visão instrumentalista, segundo a qual o conhecimento científico é sempre instrumental, isto é, as teorias são apenas instrumentos para calcular e prever fenômenos ou aparências. Outra visão seria a essencialista, de acordo com a qual as teorias verdadeiramente científicas descrevem as essências das coisas, sua natureza essencial, ou seja, as realidades que existem por detrás das teorias (MOREIRA; MASSONI, 2011).

### CONJETURAS AUDAZES

Na ótica popperiana, a ciência progride graças a uma sucessão de conjeturas e refutações, mas seria ingênuo pensar que para o progresso científico o importante é confirmar conjeturas “bem comportadas” e refutar “divagações”. Confirmações de previsões resultantes de conjeturas audazes são muito importantes para o processo da ciência. Pouco se aprende da confirmação de uma conjetura muito prudente ou da refutação de uma conjetura muito audaz.

No fazer científico, conjeturas audazes são bem-vindas e não há perigo que sejam muitas, pois as que forem descrições inadequadas do mundo físico serão refutadas pela experimentação e observação.

No entanto, na comunidade científica, no lado competitivo, publicacionista, político, da ciência nem sempre é assim. Vejam-se alguns exemplos históricos.

### EXEMPLOS DE CONJETURAS AUDAZES NA FÍSICA

No início da década de sessenta do século passado, Murray Gell-Mann, um físico do Caltech, e Yuval Ne'eman, um físico do Imperial College de Londres, desenvolveram, independentemente, uma classificação que foi considerada a primeira tentativa bem-sucedida de evidenciar a conexão básica existente entre partículas elementares de diferentes famílias. Eles verificaram que muitas partículas conhecidas podiam ser agrupadas em famílias de oito partículas com

características similares. Esse agrupamento ficou conhecido como classificação octal.

Um pouco mais tarde, buscando refinar a classificação octal, Murray Gell-Mann e outro físico chamado George Zweig concluíram, também independentemente, que isso seria possível se algumas das partículas fundamentais do átomo fossem formadas por partículas ainda mais fundamentais, que ficaram conhecidas como quarks. Hoje se aceita que os quarks, assim como os elétrons, são as partículas verdadeiramente elementares da matéria. No entanto, em 1964, quando os quarks ainda eram entidades conjecturais propostas por Gell-Mann e Zweig, a conjectura era ousada e não foi levada muito a sério pela comunidade científica (MOREIRA, 2011).

Ao que parece, o próprio Gell-Mann não estava muito confiante em sua ousada conjectura, pois nem tentou publicar no periódico mais reconhecido da área o artigo que propunha a existência dos quarks. Submeteu-o a outro periódico que, talvez, não fosse tão exigente (BRENNAN, 2000).

Zweig, por sua vez, acabou desistindo de publicar um trabalho propondo os quarks e a reação da comunidade de físicos ao modelo que ele propunha, de um modo geral, não foi boa, chegando, inclusive, a considerá-lo um trabalho de charlatão (FRITSCH, 1983).

O que Zweig e Gell-Mann enfrentaram, em 1964, devido a conjectura audaz é o que o epistemólogo Stephen Toulmin (1977) chama de fórum institucional. Esse fórum é constituído pelos periódicos científicos, pelas associações científicas, pelos grupos de referência e por eminentes cientistas. O fórum institucional desempenha um papel importante na consolidação de uma disciplina, de uma área de pesquisa, mas funciona como filtro e pode bloquear, contrariar e restringir a difusão de ideias novas, de conjecturas audazes, como a de Gell-Mann e Zweig (MOREIRA, 2011).

A radiação de um corpo negro envolve outra conjectura audaz. O corpo negro era tido como um corpo que absorve, perfeitamente, toda a radiação que recai sobre ele e, a seguir, reemite essa radiação por completo. A física clássica considerava que a radiação vertia, continuamente, para dentro e para fora do corpo negro, tal como a água pode verter em uma esponja. Essa suposição parecia totalmente plausível na física clássica, mas na prática apresentava problemas nas altas frequências (ultravioleta). Contrariando a total plausibilidade clássica da radiação, que é inteiramente absorvida e completamente reemitida, Max Planck sugeriu que a radiação era emitida ou absorvida de tempos em tempos em pacotes de energia de tamanho definido e que o conteúdo energético de cada um desses quanta (plural de quantum, pacote de energia) seria proporcional à frequência da radiação. A constante de proporcionalidade, representada por  $h$ , é hoje a conhecida constante de Planck (POLKINGHORNE, 2016).

A quantização da energia, o conceito de quanta de energia foi na época, começo do século passado, uma conjectura audaz, uma hipótese ousada, mas está na base, na origem de outra física, a física quântica.

O átomo de Bohr é outro exemplo de conjectura audaz. Bohr aplicou aos átomos conjectura semelhante a que Planck aplicou à radiação do corpo negro. Classicamente, os elétrons circundando um núcleo poderiam fazer isso em

órbitas, cujos raios conseguiriam assumir qualquer valor, mas Niels Bohr propôs a substituição dessa continuidade pela exigência discreta de que os raios pudessem assumir somente uma série de valores distintos, ou seja, apenas em determinadas órbitas de um raio permitido menor. O átomo de Bohr foi um grande triunfo para a Física (POLKINGHORNE, 2016).

A dualidade onda-partícula também pode ser usada como exemplo de conjectura audaz. Foi um jovem aristocrata francês, o Príncipe Louis de Broglie quem fez a ousada sugestão de que, se a luz ondulante também mostrava propriedades corpusculares, talvez de modo correspondente, se pudesse esperar que partículas como os elétrons manifestassem propriedades ondulatórias (POLKINGHORNE, 2016). Em 1924, De Broglie esquematizou essa conjectura audaz em sua tese de doutorado. As autoridades acadêmicas da Universidade de Paris ficaram desconfiadas da validade das ideias de De Broglie. No entanto, consultaram Einstein, que reconheceu a pertinência da audaz conjectura de De Broglie e o título de doutor foi-lhe concedido (POLKINGHORNE, 2016).

Estes foram exemplos apresentados, superficialmente, sem ordem cronológica, apenas para ilustrar a importância da confirmação de conjecturas audazes no progresso da ciência, da Física no caso.

Veja-se agora, com mais detalhes, uma confirmação mais recente, a do bóson de Higgs.

## O MODELO PADRÃO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES

O chamado Modelo Padrão é a melhor teoria física até hoje construída, quer dizer, em construção, sobre a natureza da matéria, descrevendo um sistema composto de 17 partículas subatômicas, incluindo o bóson de Higgs, que constituem o Universo e três das quatro interações fundamentais atuantes em toda a matéria conhecida.

Essas quatro interações fundamentais são: a eletromagnética, a forte, a fraca e a gravitacional. A interação eletromagnética é a que age sobre as cargas elétricas deixando as partículas inalteradas. Provoca repulsão entre cargas de mesmo sinal e atração entre cargas de sinais opostos. A interação fraca se manifesta, principalmente, no decaimento beta, um processo no qual núcleos atômicos instáveis se transformam, por exemplo, através de um nêutron decaindo para próton pela emissão de um elétron e um neutrino. Age sobre quarks e léptons e é particularmente importante no estudo de neutrinos. A interação forte é a que atua entre partículas existentes nos núcleos atômicos e manifesta-se através da força forte ou força nuclear. Age entre quarks e glúons mantendo-os unidos para formar prótons, nêutrons. A interação gravitacional, ao qual estão associados o campo gravitacional e a força gravitacional, atuando entre todas as partículas e é a que governa o movimento dos corpos celestes, mas é irrelevante em domínios muito pequenos, assim como as demais podem não ser relevantes em alguns domínios. A interação gravitacional não está incorporada ao Modelo Padrão, o que é considerado um problema desta teoria (MOREIRA, 2011).

As 17 partículas do Modelo Padrão podem ser classificadas em partículas de matéria e partículas de força (ou transmissoras, mensageiras, portadoras de

força). As partículas de matéria podem ser de dois tipos – quarks e léptons – enquanto que as partículas de força são do tipo bósons.

Quarks (conjeturados por Gell-Mann e Zweig) são partículas constituintes de outras partículas (chamada hádrons) como, por exemplo, o próton e o nêutron, e não são encontradas livremente, estão sempre confinadas dentro das partículas por elas constituídas. Há seis tipos de quarks (*up, down, charm, strange, top e bottom*).

Léptons são partículas consideradas verdadeiramente elementares, ou seja, que existem por si só, sem estrutura interna, sem serem constituídas por quarks. O elétron é o lépton mais conhecido. Os demais léptons são o múon, o tau e os três neutrinos (neutrino do elétron, neutrino do múon, neutrino do tau). No total são também seis.

As partículas de força, mediadoras das interações fundamentais, são o fóton (mediador da interação eletromagnética), o glúon (mediador da interação forte) e as partículas W e Z (mediadoras da interação fraca). O gráviton faria a mediação da interação gravitacional, mas nunca foi detectado.

Mediar a interação significa que a força entre as partículas interagentes resulta de uma “troca” (emissão e absorção) de outras partículas (virtuais) entre elas.

Estas partículas mediadoras são chamadas bósons, um termo genérico para partículas de spin inteiro, que obedecem a uma estatística conhecida de Bose-Einstein, que permite que várias partículas ocupem o mesmo estado quântico, não obedecendo ao Princípio da Exclusão de Pauli. Podem ser partículas fundamentais, como as mediadoras, ou compostas. Partículas que têm spin fracionário obedecem ao Princípio da Exclusão de Pauli e seguem outra estatística, a de Fermi-Dirac, são chamadas de férmions. Podem ser partículas fundamentais, como os léptons e os quarks, ou compostas, como o próton e o nêutron.

Portanto, são 6 léptons, 6 quarks e quatro mediadoras (fótons, glúons, W e Z) totalizando 16 partículas fundamentais, mas no começo desta seção foi dito que o Modelo Padrão descreve um sistema composto de 17 partículas subatômicas.

Então, falta uma partícula! Sim, falta o bóson de Higgs partícula mediadora conjeturada pelo físico Peter Higgs, em 1964, e detectada, com “grande euforia científica”, em 2012, através do Grande Colisor de Hádrons (LHC – Large Hadron Collider), em Genebra, no CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucleaire), mais conhecido como Centro Europeu de Física de Partículas.

Veja-se um pouco mais dessa conjetura audaz.

## O BÓSON DE HIGGS: UMA CONJETURA AUDAZ

Quando foi abordado o Modelo Padrão, na seção anterior, foi mencionado que a não incorporação da interação gravitacional era um problema (conceitual) dessa teoria. Esse problema é antigo, mas persiste. Outro problema conceitual enfrentado pelo Modelo Padrão, porém resolvido, é o da massa das partículas W e Z.

O Modelo Padrão não é, simplesmente, um conjunto de 17 partículas elementares. É uma teoria consistentemente apoiada por leis, equações matemáticas e simetrias que levam à conclusão de que todas as partículas mediadoras, os quatro bósons mencionados antes (fótons, glúons, W e Z), teriam massa nula. De fato, fótons e glúons têm massa nula, mas as partículas W e Z têm massa. Aí está o problema. Por que essa quebra de simetria? Todas são mediadoras de uma interação fundamental, mas duas não têm massa e duas têm massa. Por quê?

A solução foi a conjectura da existência de outro campo, de uma outra interação fundamental, de um mecanismo que ficou conhecido como mecanismo de Higgs, porque ganhou o nome do físico Peter Higgs para o qual esse mecanismo requeria a existência de uma nova partícula, um novo bóson e um novo campo. Quer dizer, o mecanismo, em si, já havia sido proposto por outros físicos, mas foi Higgs quem fez a conjectura de que se esse mecanismo existisse implicaria a existência de um novo campo, uma nova partícula mediadora e uma nova interação.

Esse novo campo ficou conhecido como campo de Higgs implicando a existência de um bóson de Higgs que seria a partícula mediadora da interação de Higgs que daria massa às partículas, que interagissem com esse campo. Assim, a detecção do bóson de Higgs confirmaria a conjectura do campo de Higgs e do mecanismo de Higgs.

A existência desse campo permitiria entender, porque a maioria das partículas têm massa e algumas não têm. As que têm massa interagiriam, permanentemente, com o campo de Higgs e as que não têm massa não interagiriam com esse campo. A interação com o campo de Higgs, que ocuparia todo o espaço, inclusive o vácuo, faria com que partículas como os bósons, os quarks e os léptons “andassem mais devagar”, “ficassem mais lentas”. Essa “vagarosidade”, essa “lentidão” é o que corresponde à aquisição de massa, pois partículas sem massa viajam através do vácuo com a velocidade da luz (RANDALL, 2013, p. 73).

No entanto, na prática, a confirmação da existência do campo de Higgs e da interação de Higgs dependeria da detecção do bóson de Higgs, a partícula mediadora dessa interação. Então, a “conjectura audaz” acabou sendo a da existência do bóson de Higgs, proposta em 1964 e confirmada, com muita festa na Física, em 2012, no Grande Colisor de Hádrons quase cinquenta anos depois.

Essa longa e persistente busca está esquematizada no Vê epistemológico, apresentado na Figura 2. Essa figura é apenas ilustrativa da estrutura do processo de produção do conhecimento, que levou à detecção de uma partícula audazmente conjecturada e que representou um grande avanço na Física de Partículas.

Figura 2 - O Diagrama V, Vê Epistemológico ou V de Gowin.



Fonte: Adaptado por M.A. Moreira, e aplicado à busca do bóson de Higgs.

Entretanto, essa história não acaba aí. Mesmo com o bóson de Higgs “bombando” continua-se sabendo muito pouco sobre o Universo, ou seja, nossas teorias, mesmo com resultados “espetaculares”, que permitem compreender apenas cerca de 5% do Universo, o resto é “matéria escura” e “energia escura”.

Certamente, novas conjeturas, audazes ou não, surgirão. Aliás, já estão surgindo. Uma teoria de Supersimetria prevê que cada partícula elementar do Modelo Padrão teria uma parceira ou “superparceira”, mais pesada. Por exemplo, a superparceira do bóson de Higgs seria o “Higgsino”, as dos quarks seriam “squarks”, dos léptons seriam “sléptons”,... A detecção dessas

superpartículas poderia dar alguma “luz” à matéria escura, mas depende da construção de “supermáquinas” como a que está sendo chamada de ILC (*International Linear Collider*) desenhada por uma equipe de físicos e engenheiros há três anos e, ainda, sem o apoio financeiro de cerca de 10 bilhões de dólares para a construção (BAER et al., 2016).

### **Á MODO DE CONCLUSÃO: ASPECTOS EPISTEMOLÓGICOS E IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO**

Como foi dito na primeira frase da Introdução deste artigo, o conhecimento científico é produzido, é uma construção do ser humano, mas a representação social da ciência, geralmente, a considera como um conjunto de definições e leis descobertas por “gênios”. Na escola também se usa essa representação no ensino. Os alunos devem decorar definições e leis, como se fossem descobertas, e aplicar as correspondentes fórmulas, equações, reações, taxonomias, na resolução de problemas-padrão, fechados, com “resposta correta”.

A história do bóson de Higgs contada neste trabalho e o diagrama V usado, nas Figuras 1 e 2, procuram deixar claro que a ciência é uma permanente construção e que o conhecimento construído depende das perguntas feitas, das questões de pesquisa.

Na busca de respostas, as conjeturas podem ter um papel fundamental. Porém, conjeturas não são simples hipóteses. São suposições feitas livremente pelo intelecto humano, mas nas ciências da natureza devem ser testadas, confirmadas, pela observação e pela experimentação, ou refutadas.

Por outro lado, conjeturas audazes são muito arriscadas para os pesquisadores. Neste texto foram dados alguns exemplos históricos das dificuldades enfrentadas por alguns físicos, que fizeram conjeturas audazes como, por exemplo, a do bóson de Higgs, mas que acabaram sendo altamente reconhecidas. No entanto, certamente, em um estudo histórico aprofundado seriam encontrados contra exemplos, ou seja, conjeturas audazes que “não deram certo” ou que foram bloqueadas pelo que Toulmin cunhou como “fórum institucional”.

Deixando de lado os exemplos históricos, como está hoje a questão das conjeturas audazes ou, simplesmente, das conjeturas? Na pesquisa científica? Na graduação e pós-graduação em ciências? No ensino de ciências?

Na pesquisa, conjeturas audazes continuam importantes, porque pouco se sabe sobre o Universo, sobre o mundo em que se vive e sobre nós mesmos, mas no cotidiano da pesquisa científica, a qual usualmente ocorre em universidades, os pesquisadores são avaliados mais pela quantidade de trabalhos, que publicam do que por sua qualidade. O importante é publicar, publicar, publicar. A pressão publicacionista é enorme. A quantidade de periódicos indexados e, supostamente, com fatores de impacto é cada vez maior. Com isso, os pesquisadores se dedicam, primordialmente, a estudos que seguramente vão gerar artigos a serem submetidos à publicação nesses periódicos.

É claro que publicar é importante. Resultados de pesquisa não publicados é como se não existissem, mas o publicacionismo que hoje assola a pesquisa científica está prejudicando a criatividade e, provavelmente, o progresso

científico. Pesquisadores não se arriscam a fazer pesquisas que poderão não gerar artigos, particularmente, jovens pesquisadores.

Na pós-graduação a situação é a mesma. Estudantes de mestrado e doutorado têm que produzir artigos e tê-los aceitos para publicação, ou pelo menos submetidos, como condição para poderem defender as dissertações e teses. Então, as pesquisas devem ser feitas dentro da “ciência normal”, seguindo as diretrizes de orientadores, de modo a gerar artigos em periódicos bem qualificados. Conjeturas audazes não têm espaço nesse contexto publicacionista.

Na graduação, como diz o físico Carl Wieman (2013), ganhador do Prêmio Nobel em 2001, o ensino de ciências é pior do que ineficaz, é anticientífico. Os professores são pesquisadores e o que o sistema universitário cobra deles são as publicações. O ensino não é prioritário. Então, predomina a metodologia das “aulas teóricas e listas de problemas”, ou seja, o professor repete o que está nos livros, usando o velho quadro de giz ou slides em PowerPoint e, depois, dá uma lista de problemas para os alunos resolverem.

Na Educação Básica, particularmente no Ensino Médio, predomina o ensino para testagem, a preparação dos alunos para as provas locais, nacionais e internacionais. É um ensino treinador, comportamentalista, no qual o importante é dar a resposta correta. Para cada pergunta existe uma resposta correta. Para cada problema existe uma fórmula.

As respostas e as fórmulas são aprendidas mecanicamente. Compreensão, significados, conjeturas, aproximações, modelos, são secundários, o importante é estar preparado para a testagem. Que ensino é esse? Anticientífico como diria Carl Wieman. Uma grande perda de tempo, pois pouco sobra dele após as provas.

Ensinar ciência, Física, por exemplo, não é ensinar respostas corretas que devem ser decoradas mecanicamente. Não é ensinar a aplicar fórmulas em problemas que não passam de exercícios.

Por que não ensinar aos alunos a pensar cientificamente, conjeturar, modelar, argumentar a partir de evidências, apresentar resultados? Seria um ensino muito mais científico do que o da testagem.

## The Higgs Boson: an audacious conjecture?

### ABSTRACT

Initially, an adaptation of the epistemological V to the scientific knowledge construction is presented, including already known findings, conjectures and models that do not appear in the original V. Then, the role of conjectures, specially audacious conjectures, in the progress of science is emphasized. Some examples of audacious conjectures are given but the focus stays in one made in 1964 and confirmed almost fifty years later, the one of the Higgs boson. The detection of this particle as mediator of a new fundamental interaction, the Higgs interaction, was a great advance in the physics knowledge about the nature of matter explaining the mass of particles and consolidating the Standard Model of the elementary particles. At the end, some epistemological aspects of the scientific knowledge are discussed with implications for a science teaching which is opposed to the traditional approach that presents science as a large set of definitions and laws discovered by some "genius". To learn science is not to rotely memorize definitions, laws, formulae, equations, taxonomies, reactions, to be applied later in standard, close-ended, problems with a "right answer".

**KEYWORDS:** Audacious conjectures. Higgs boson. Standard Model. Science teaching.

## NOTAS

<sup>1</sup> Simetria de uma lei física pode ser entendida como sua inabilidade em detectar, por exemplo, translações espaciais, rotacionais ou temporais. Pode também ser compreendida como invariância dessa lei frente a transformações desse tipo, ou seja, a lei continua a mesma em translações espaciais, rotacionais ou temporais.

<sup>2</sup> Conjeturas e refutações, assim como modelos e resultados conhecidos são termos que não constam no Diagrama V original de Gowin; fazem parte da adaptação do Vê feita pelo autor deste trabalho para aplicá-lo à estrutura do processo de produção do conhecimento científico.

<sup>3</sup> Spin é uma propriedade básica das partículas elementares que descreve seu estado de rotação em torno de seu próprio eixo. De acordo com as regras da Mecânica Quântica, o spin das partículas elementares pode ser apenas um número inteiro (0,1,2,3 ...) ou meio inteiro (1/2, 3/2, 5/2, ...).

<sup>4</sup> De acordo com esse princípio, duas partículas do mesmo tipo e com spins inteiros não podem ocupar o mesmo estado quântico.

<sup>5</sup> Levando em conta que há oito tipos de glúons, que para cada lépton há um antilépton e para cada quark existe um antiquark e que as partículas W podem ser W<sup>+</sup> ou W<sup>-</sup> o número total de partículas elementares seria bem maior do que 17.

## REFERÊNCIAS

BAER, H.; BARGER, V.D.; LIST, J. The Collider that could save physics. **Scientific American mind**, v. 314, n. 6, p.7, June 2016.

BRENNAN, R. **Gigantes da Física** - Uma história da Física Moderna através de oito biografias. Rio de Janeiro, RJ: Jorge Zahar, 2000.

BUNGE, M. **La ciencia su método y su filosofía**. Buenos Aires, AR: Ediciones Siglo Veinte, 1960.

CASAS, A.; RODRIGO, T. **El Bosón de Higgs**. Madrid, ES: CSIC/Catarata, 2012.

CHALMERS, A.F. O que é essa coisa chamada ciência afinal? São Paulo, SP: Editora Brasiliense, 1999.

FRITZCH, H. **Quarks: The stuff of matter**. New York, NY: Basic Books/Harper Collins Publishers, 1983.

GOWIN, D.B.; ALVAREZ, M.C. **The art of educating with V Diagrams**. New York, NY: Cambridge University Press, 2005.

GOWIN, D.B. **Educating**. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1981.

KUHN, T. **A estrutura das resoluções científicas**. São Paulo, SP: Perspectiva, 2001.

LAKATOS, I. **La metodología de los programas de investigación científica**. Madrid, ES: Alianza Universidad, 1982.

LAUDAN, L. **El progreso y sus problemas**. Hacia una teoría del crecimiento científico. Madrid, ES: Encuentro Ediciones, 1986.

LEDERMANN, L.; TERESI, D. **The God Particle**. If the Universe is the Answer. What's the Question? Boston, MA: Houghton Mifflin, 2006.

MARTINS, A.S. Simetrias e leis de conservação na Mecânica Clássica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 1, p. 33-39, 1999.

MOREIRA, M.A.; MASSONI, N.T. **Epistemologias do Século XX**. São Paulo, SP: E.P.U., 2011.

MOREIRA, M.A. **Física de Partículas: uma abordagem conceitual e epistemológica**. São Paulo, SP: Editora Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M.A. **Mapas Conceituais & Diagramas V**. Porto Alegre, RS: Ed. do Autor, 2006.

MOREIRA, M.A. **Pesquisa em Ensino: o Vê Epistemológico de Gowin**. São Paulo, SP: E.P.U., 1990.

NOVAK, J.D.; GOWIN, D.B. **Aprender a Aprender**. Lisboa, PT: Plátano Edições Técnicas, 1995.

POLKINGHORNE, J. **Teoria Quântica: uma breve introdução**. Porto Alegre, RS: L & PM Editores, 2016.

POPPER, K. **Conjecturas e refutações**. Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília, 1982.

RANDALL, L. **Higgs Discovery**: The Power of Empty Space. New York, N.Y.: Harper Collins Publisher, 2013.

TOULMIN. S. La comprensión humana – Volumen 1: El uso colectivo y la evolución de los conceptos. Madrid, ES: Alianza Editorial, 1977.

WIEMAN, C. Transformation is possible if a university really cares. **Science**, v. 340, n. 6130, p. 292-296, apr. 2013.

**Recebido:** 26 jun. 2017.

**Aprovado:** 13 nov. 2017.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.3895/etr.v1n2.7330>.

**Como citar:**

MOREIRA, M. A. Bóson de Higgs: uma conjectura audaz? **Ens. Tecnol. R.**, Londrina, v. 1, n. 2, p. 141-157, jul./dez. 2017. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/etr/article/view/7330>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Marco Antônio Moreira

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15051, Campus do Vale, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

**Direito autoral:**

Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

