

Teorias, modelos e o Big Bang

**E suas aplicações na investigação da
natureza e do Universo**

Miguel Angelo Sousa Silva

A stylized illustration of a solar system on a dark blue background. It features several planets of different colors (white, orange, red, blue, green, and brown) and a central Earth-like planet with blue oceans and green landmasses. The planets are arranged along concentric, light blue elliptical orbits that curve across the frame. Some planets have thin, light-colored rings. The overall style is minimalist and modern.

Teorias e Modelos em Física: como entendê-las?¹

Existe uma ambiguidade na terminologia moderna para tratar da Ciência, em particular da Física, que dificulta a compreensão de pessoas leigas sobre os avanços mais modernos. Esta ambiguidade se refere ao significado das palavras **hipótese**, **modelo** e **teoria** e assume diversos níveis de complexidade.

Primeiramente é necessário entender que o conhecimento científico é uma estrutura complexa feita de conceitos, definições e consequências, acumulada de modo gradual e recursivo. Do ponto de vista **lógico** esta estrutura deve ter tanta coerência interna quanto possível. Do ponto de vista **empírico** ela deve ser constantemente testada em relação a seu objeto, a natureza. O processo de aquisição do conhecimento pela ciência consiste de uma interação entre o pensamento lógico formal e a experimentação.

A descrição de um fenômeno, ou conjunto de fenômenos, assume a forma de um modelo, geralmente expresso sob forma matemática. Um modelo é, portanto, uma descrição ou um mapa, uma representação esquemática de algo que ocorre na

natureza. O modelo proposto deve ser consistente e não possuir incongruências lógicas internas, tanto quanto possível. Em seguida ele deve ser capaz de fazer previsões observáveis — sem as quais ele não seria científico — e estas previsões devem ser testadas por meio da experimentação ou da observação — quando a experimentação não é acessível, como é o caso da observação astrofísica.

Modelos são normalmente apresentados como **hipóteses**, algo a ser verificado. A comunidade científica atual possui uma dinâmica própria de atuação que envolve grande volume de publicações, mensagens e postagens eletrônicas que circulam entre os interessados que, ao receber uma nova proposta, passam a trabalhar nela buscando por falhas ou inconsistências ou, não encontrando estas falhas, procurando explorar suas consequências. Os grupos voltados para o desenvolvimento teórico agem primeiro e os modelos considerados sólidos e promissores são passados para laboratórios e observatórios que procurarão verificar se estão corretas as previsões daquela proposta.

¹ Os argumentos deste texto foram extraídos dos livros de Marcelo Gleiser cujas referências estão indicadas por números na forma de links (clikando neles o leitor é direcionado para as referências).

Hipóteses verificadas e embasadas por uma formulação teórica sólida se agregam como novo bloco ao **edifício científico**, passando a serem consideradas uma teoria.

Infelizmente existe também o uso consagrado da palavra **teoria** para uma outra classe de modelos que ainda estão em fase especulativa e não foram verificados sob o escrutínio da experimentação.



Fonte:

<http://profvladimir.blogspot.com/2016/03/charge-o-que-e-uma-teoria-cientifica.html>

Na linguagem cotidiana é frequente ouvirmos: “eu tenho uma teoria para explicar tal fato”, significando que o autor da expressão tem uma hipótese ou, até mesmo, uma suposição que muitas vezes nem tem um bom fundamento. Este uso causa problemas. Por exemplo, entre os críticos da visão de Darwin da evolução das espécies é comum dizer-se que a **Teoria da Evolução** é “apenas uma teoria”. Em sua interpretação científica mais rigorosa uma teoria nunca

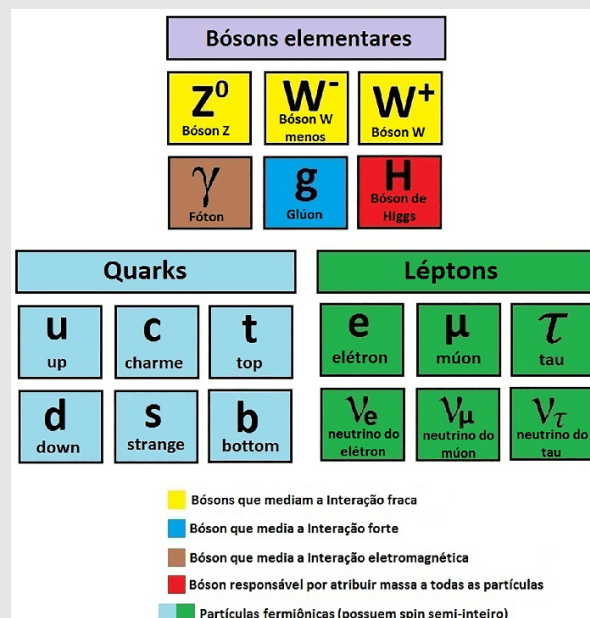
é apenas uma teoria, pois já passou pela peneira da consistência lógica e da experimentação (neste caso, mais da observação de fósseis e outras evidências). Seria algo tentador alterar estas definições, talvez usando **teoria** como algo que superou o teste da verificação e **conjectura** ou **hipótese** para os demais casos. Um complicador está no fato de que modelos hipotéticos e conjecturais, quando bem-sucedidos, passam a ser considerados teoria de forma contínua, na medida em que são verificados, não havendo uma delimitação muito clara entre estas categorias.

Quando matemáticos encontram uma **singularidade matemática** (por exemplo, ao dividir um número por zero), exploram sua “vizinhança” para tentar encontrar uma saída. Se você não dividir um número por zero, mas por um número muito pequeno, a singularidade não é encontrada. Em outros casos, você escolhe um caminho que evita a singularidade e, mesmo assim, chega ao objetivo desejado, como quando nos desviamos de um buraco em uma estrada. Na física, uma singularidade indica um problema sério, em geral assinalando que a teoria em questão está sendo usada além do seu limite de validade. Algo de novo é necessário e este algo provavelmente envolve novos conceitos físicos, adequados a essas situações mais drásticas. Como ilustração, se usarmos a mecânica de Newton para descrever o movimento de objetos com velocidades próximas à

da luz, obteremos resultados errados. Na ausência de movimentos acelerados, devemos usar a **teoria da relatividade especial de Einstein**. O mesmo ocorre com a gravidade: a **teoria de Newton** funciona excepcionalmente bem quando a força gravitacional não é excessiva. Mas, na vizinhança do Sol, por exemplo, precisa ser modificada pela **teoria da relatividade geral**.

Nenhuma teoria é final ou completa, visto que novas situações extremas (ou imprevistas) requerem novas ideias que, com frequência, levam a novas teorias. Além disso, novas hipóteses requerem novos tipos de experimentos que, por sua vez, requerem novas tecnologias. Ter uma ideia é bem diferente de comprová-la no laboratório. Quando cientistas buscam por um efeito previsto por uma teoria, muitas vezes preferem achar algo inesperado, que os forçará a repensar suas suposições. A esperança é que esse algo leve a uma nova teoria. Por exemplo, a maioria dos físicos envolvidos na busca do famoso **bóson de Higgs**² no Grande Colisor de Hádrons em Genebra, na Suíça, preferiria encontrar uma partícula diferente daquela prevista pelo **Modelo Padrão da física de partículas elementares** (o que não parece ser o caso). Mesmo que encontrar exatamente o que foi previsto seja sempre gratificante, pois dá validade à teoria original, encontrar algo de novo pode provocar uma

revolução no conhecimento. A incerteza é a mola propulsora da criatividade.



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Modelo-Padiao-da-Fisica-de-Particulas-ondas-representados-os-leptons_fig1_328794380

[Contudo] uma coisa é confirmar as propriedades gerais de um fenômeno; outra é testar sua formulação detalhada. [Por exemplo], observações astronômicas podem eliminar alguns modelos e favorecer outros, mas não podem isolar exatamente o que ocorreu. **Podemos provar apenas que uma teoria está errada, não que está certa**, uma situação que obteria aprovação do filósofo da Ciência Karl Popper (1902-1994), que argumentou que teorias físicas não podem ser provadas corretas em um sentido final, **apenas que estão erradas [1]**.

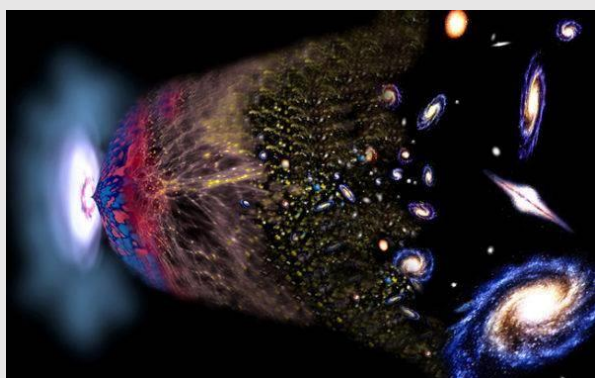
Como um zumbi que nunca morre, é possível conceber teorias que podem

² As palavras em destaque remetem ao glossário.

ser redesenhadas para escapar do teste do laboratório ou das observações astronômicas. Sempre que a evidência acumulada em experimentos vai contra a teoria, seus parâmetros são reajustados de forma que seus testes estejam além do alcance da tecnologia vigente na época. É como tentar pegar um sabão molhado. Essas teorias são como uma escada para o céu, com degraus que vão sendo adicionados durante a subida [2].

A Teoria do Big Bang

Apesar da sugestão do nome, o Big Bang não foi de fato uma **explosão**, mas sim uma grande **expansão** (por razões desconhecidas) de um ínfimo ponto do espaço, chamado de **singularidade**, com densidade e temperatura infinitamente altas.



Fonte:

<https://ahduvido.com.br/como-aconteceu-o-big-bang/>

Quando o Universo tinha uma idade de aproximadamente 10^{-35}

segundos, durante o **período inflacionário**, o seu tamanho aumentou exponencialmente, dobrando cerca de 90 vezes. Ao final dessa expansão acelerada, o Universo tornou-se mais frio e menos denso. Nesse período surgiram as forças fundamentais da natureza, bem como o tempo e o espaço.

Ela foi proposta pela primeira vez em 1920 pelo astrônomo e padre jesuíta Georges-Henri Lemaître (1894-1966), à qual ele se referia como a “hipótese do átomo primordial”. Posteriormente essa teoria foi desenvolvida pelo físico russo George Gamov (1904-1968). Uma de suas principais sugestões foi que a formação dos núcleos atômicos (**nucleossíntese**) nos primórdios do Universo deveria deixar como rastro uma radiação detectável, na faixa das micro-ondas.

Após o surgimento da teoria de Lemaître, as observações astronômicas de Edwin Hubble (1889-1953) mostraram que as galáxias se afastam umas das outras em todas as direções do espaço e em altas velocidades. Essa evidência, juntamente à descoberta acidental da **radiação cósmica de fundo**, em 1965, pelos físicos Arno Penzias (1933) e Robert Wilson (1941), reforçou a aceitação da teoria do átomo primordial. O afastamento das galáxias foi considerado uma sugestão direta de um Universo em expansão, enquanto a detecção da radiação de fundo confirmou as previsões teóricas do modelo de Gamov, sugerindo que o

Universo teve um início, no qual os núcleos atômicos foram criados em um dado momento pelo processo de nucleossíntese.

Muitos pesquisadores investiram nessa teoria, que mais tarde foi chamada de teoria do Big Bang.



A origem do termo “Big Bang” é irônica. Vejamos:

Em 1948, os matemáticos, cosmólogos e astrofísicos Thomas Gold (1920-2004) e Hermann Bondi (1919-2005), e, independentemente, Fred Hoyle (1915-2001), todos de Cambridge, publicaram dois artigos científicos descrevendo sua nova **teoria cosmológica sem um evento de Criação**. Mesmo sendo bastante diferentes, os dois artigos são frequentemente tomados como representando a “escola de pensamento” do [modelo de Universo de estado estacionário](#). Eles propõem uma extensão do **princípio cosmológico**³ originalmente sugerido por Einstein conhecida como **princípio cosmológico perfeito**. Segundo esse

princípio, o Universo não só é o mesmo em toda parte como também através dos tempos. Nesse caso, já que o Universo é infinitamente velho, o problema de sua idade desaparece [\[3\]](#).

O debate ficou acirrado. Para uns, o Universo estaria se expandindo a partir de um momento inicial e, para outros, ele era eterno e provavelmente infinito. Foi então que um dos maiores defensores da segunda hipótese, o inglês Fred Hoyle, chegou a dizer em um programa da Rádio BBC que não via “nenhuma boa razão para preferir essa ideia de Big Bang”. O intuito de Hoyle era ironizar, mas era a primeira vez que alguém usava esse termo para se referir à teoria – e o apelido pegou. Para o azar de Hoyle, “essa ideia de Big Bang” só ganhou evidências a partir daí. Uma das principais descobertas, como vimos, foi feita por Arno Penzias e Robert Wilson, dos Laboratórios Bell, em meados dos anos 1960 ao detectarem um ruído nos seus aparelhos de radioastronomia.

Bem, por enquanto é só. Encerramos por aqui essa discussão introdutória.

No texto 2 faremos uma abordagem mais ampla das teorias cosmológicas, seus teóricos e as principais evidências observacionais que as sustentam ou que as tornaram obsoletas.

³ Na cosmologia moderna, o princípio cosmológico é a hipótese de que os observadores terrestres não ocupam uma posição observacional restritiva ou distorcida dentro do Universo. Diz-se formalmente que “visto de uma escala suficientemente grande, as propriedades do Universo são as mesmas para todos os observadores”.

GLOSSÁRIO

Bóson de Higgs. Partícula elementar prevista pelo Modelo Padrão de partículas, teoricamente surgida logo após ao Big Bang de escala maciça hipotética predita para validar o modelo padrão atual de partículas. Representa a chave para explicar a origem da massa das outras partículas elementares. Todas as partículas conhecidas e previstas são divididas em duas classes: férmions (partículas com spin da metade de um número ímpar) e bósons (partículas com spin inteiro).

Modelo Padrão da física de partículas elementares. Nome dado a uma teoria física de 1970 que descreve as partículas elementares e a forma como elas interagem entre si. Esse modelo incorpora todas as partículas subatômicas conhecidas e sua adição mais recente ocorreu em 2012, com a confirmação experimental da existência do Bóson de Higgs. Ao todo, o Modelo-Padrão considera a existência de 17 partículas fundamentais, divididas em três categorias: bósons, quarks e léptons. Juntas, elas dão origem à matéria e a todos os tipos de interações existentes no Universo. Além disso, os quarks e os léptons também existem na natureza em forma de antipartículas, apresentando fundamentalmente o sinal de carga elétrica invertido em relação à matéria originária.

Modelo de Universo de estado estacionário. Modelo amplamente desacreditado em Cosmologia que descreve um universo que se dilata (expande) e no qual matéria nova se cria nos intervalos crescentes entre as galáxias, mantendo a densidade de matéria no universo constante e propiciando permanentemente prótons para as estrelas produzirem seus processos de fusão, na nucleossíntese. O universo conservaria assim uma densidade idêntica a todo momento, e duraria eternamente, o que apresenta-se como uma ideia até filosoficamente "bela", como classificam-na alguns cosmólogos, físicos e pensadores diversos, mas que mostrou-se insustentável pelas evidências astronômicas.

Nucleossíntese. Processo de criação de novos núcleos atômicos a partir dos núcleos pré-existent (prótons e nêutrons) para chegar a gerar o restante dos elementos da tabela periódica. Os núcleos primogênicos pré-existent se formaram a partir do plasma de quarks-glúons do Big Bang quando o Universo se esfriou abaixo dos dez milhões de graus, este processo se pode chamar nucleogênese, a geração de núcleos no Universo. A consequente nucleossíntese dos elementos (incluindo todo o carbono, todo o oxigênio, etc.) ocorre principalmente no interior das estrelas por fusão ou fissão nuclear.

Período inflacionário. Uma teoria proposta inicialmente por Alan Guth (1981), postula que o Universo, no seu momento inicial, passou por uma fase de crescimento exponencial, um período chamado de inflacionário. De acordo com a teoria, a inflação foi produzida por uma densidade de energia do vácuo negativa ou uma espécie de força gravitacional repulsiva. Esta expansão pode ser modelada com uma constante cosmológica não nula. Consequentemente todo o Universo observável poderia ter-se originado numa pequena região.

Radiação cósmica de fundo. Forma de radiação eletromagnética que se caracteriza por apresentar um espectro térmico de corpo negro com intensidade máxima na faixa de micro-ondas. Basicamente, a radiação cósmica de fundo em micro-ondas é o "fóssil da luz", resultante de uma época em que o Universo era quente e denso, apenas 380 mil anos após o Big Bang; A radiação cósmica de fundo em micro-ondas é, ao lado do afastamento das galáxias e da abundância de elementos leves, uma das mais fortes evidências observacionais do modelo do Big Bang, que descreve a evolução do universo.

Singularidade. É, aproximadamente, um ponto do espaço-tempo no qual a massa, associada com sua densidade, e a curvatura do espaço-tempo (associado ao campo gravitacional) de um corpo são infinitas; Outro tipo de singularidade previsto pela relatividade geral seria um buraco negro: certas estrelas, após acabar o seu combustível necessário para a fusão nuclear, entram em um colapso gravitacional, desabando sua massa em direção ao seu centro, formando além de determinado ponto de densidade um buraco negro, dentro do qual existiria uma singularidade (coberto com um horizonte de eventos), para onde toda a matéria próxima fluiria. Estas singularidades são singularidades de curvatura.

REFERÊNCIAS

- [1] GLEISER, Marcelo. **A Ilha do Conhecimento:** Os limites da Ciência e a busca por sentido. 1ª ed. São Paulo: Editora Record, 2014.
- [2] GLEISER, Marcelo. **A simples beleza do inesperado:** um filósofo natural em busca de trutas e do sentido da vida. 1ª ed. Rio de Janeiro: Record, 2016.
- [3] GLEISER, Marcelo. **A dança do Universo:** dos mitos de Criação ao Big Bang. 3ª ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2006.