



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS E DAS
TÉCNICAS E EPISTEMOLOGIA-HCTE**

LEANDRO LAGE DOS SANTOS GUEDES

**O PAPEL DAS HIPÓTESES *AD HOC* NA CONSTRUÇÃO DE TEORIAS
CIENTÍFICAS**

Rio de Janeiro

2015

Leandro Lage dos Santos Guedes

O PAPEL DAS HIPÓTESES AD HOC NA CONSTRUÇÃO DE TEORIAS CIENTÍFICAS

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia (Filosofia da Ciência), Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Benevenuto Guisard Koehler

Rio de Janeiro

2015

CIP - Catalogação na Publicação

G924p Guedes, Leandro Lage dos Santos
O papel das hipóteses AD HOC na construção de teorias científicas / Leandro Lage dos Santos Guedes. -- Rio de Janeiro, 2015.
60 f.

Orientador: Carlos Benevenuto Guisard Koehler.
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Decania do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, 2015.

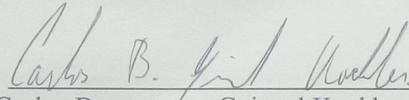
1. Hipóteses ad hoc. 2. Filosofia da ciência. 3. Epistemologia. 4. História da ciência. I. Koehler, Carlos Benevenuto Guisard, orient. II. Título.

LEANDRO LAGE DOS SANTOS GUEDES

O PAPEL DAS HIPÓTESES AD HOC NA CONSTRUÇÃO DE TEORIAS CIENTÍFICAS

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia.

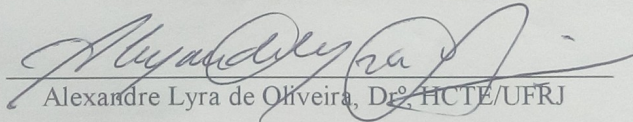
Aprovada em 30 de novembro de 2015



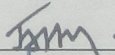
Carlos Benevenuto Guisard Koehler, Drº, HCTE/UFRJ



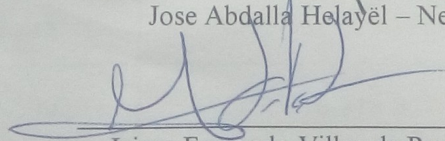
José Carlos de Oliveira, Drº, HCTE/UFRJ



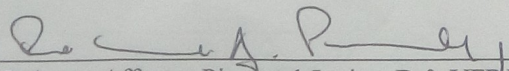
Alexandre Lyra de Oliveira, Drº, HCTE/UFRJ



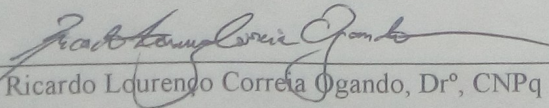
Jose Abdalla Helayel - Neto, Drº, CBPF



Jaime Fernando Villas da Rocha, Drº, UNIRIO



Roberto Affonso Pimentel Junior, Drº, UFRJ



Ricardo Lourenço Correia Ogando, Drº, CNPq

DEDICATÓRIA

À minha família e a todos aqueles que conseguem ver a ciência como uma atividade que, por ser essencialmente humana, transcende a racionalidade aparente com a qual uma visão simplista lhe busca limitar.

AGRADECIMENTOS

À minha Mãe, Glória, motivo pelo qual fiz quase tudo em minha vida; à minha irmã, Maíra, a melhor e incomparável amiga de toda a vida; ao meu sobrinho David, que me faz pensar em como mudamos na medida em que aprendemos coisas na vida; à meu cunhado, Leonardo, pelas conversas sobre ciência e sobre a vida; ao meu pai, Edemar, por todos os exemplos que me construíram; meus avós Hélio e Cecília que me mostraram o quanto carinho é fundamental na vida de uma pessoa; e aos meus antepassados que não tive a oportunidade de conhecer mas que estão dentro de mim.

Aos seletos e secreto (mas não tanto) Grupo dos Etéreos. Não escreverei todos os nomes aqui, mas saibam que há um pouco de cada um de vocês nessa tese. Ainda há muito o que discutirmos!

A meus colegas do Planetário que acreditam, como eu, que comunicação científica e pesquisa não são atividades complementares e que só fazem sentido juntas: Paulo Cesar Pereira, Jorge Marcelino dos Santos Júnior, Naelton Mendes de Araújo, Wailã de Souza Cruz, Flávia Pedroza e Guilherme Haun,

Aos meus orientadores da graduação e do mestrado que me iniciaram na ciência hard e me ensinaram a dar os primeiros passos na pesquisa científica. Vocês estão aqui nessa tese e em todos os meus trabalhos futuros.

A Anjan Chakravartty, Katherine Brading e todos os alunos e professores que me acolheram com tanto carinho no programa de História e Filosofia da Ciência da Universidade de Notre Dame. O tempo que passei com vocês e toda a experiência que tive na Universidade estarão comigo todos os dias da vida.

Por último, mas não menos importante, deixo um profundo agradecimento a meu orientador Carlos Benevenuto Guisard Koehler que me mostrou que o mundo da ciência é muito maior do que eu havia imaginado até então, e me fez encontrar uma nova e brilhante forma de enxergar que o científico não pode estar separado do humano. Tudo o que aprendi com você em sala de aula e, muito principalmente, nas conversas fora de sala, compreende grande parte da pessoa que sou hoje.

Muito obrigado a todos vocês.

RESUMO

Procuramos abordar nesse trabalho os problemas relacionados às hipóteses ad hoc. Verificamos, entre outras coisas que, apesar de serem normalmente tidas como indesejáveis, hipóteses desse tipo tiveram papel fundamental em diversos episódios da História das Ciências. Essa verificação justifica voltar o olhar para elas de uma forma mais crítica e buscar analisar e entender melhor seu papel na construção de teorias científicas. Nesse caminho, nos deparamos com os problemas filosóficos mais importantes relacionados às hipóteses ad hoc: identificar uma hipótese ad hoc e determinar se uma hipótese desse tipo é mais ou menos ad hoc que outra. Buscamos discutir e propor uma solução para esses problemas. Nossas análises foram feitas confrontando-se exemplos históricos onde hipóteses ad hoc tiveram papel importante e considerando-se trabalhos modernos relacionados ao tema. Buscamos revisitado ideias que já haviam sido propostas, identificar alguns de seus problemas, e, acrescentando nossas próprias impressões, elaborar um resultado mais satisfatório. Esperamos ter conseguido estabelecer de forma clara o significado de uma hipótese ad hoc, um método para identificá-la e uma forma de estabelecer a gradabilidade que indique o quão ad hoc é uma hipótese.

Palavras-chave: Filosofia da Ciência. Hipóteses ad hoc. Teorias científicas.

ABSTRACT

We aimed to address in this paper problems related to ad hoc hypotheses. We have verified that, among other things, although they are generally regarded as undesirable, such hypotheses played a key role in several episodes of the History of Science. That check is enough justification to look at them again in a more critical way searching for a better understanding on their role in the construction of scientific theories. On this way, we came across the most important philosophical problems related to ad hoc hypotheses: identify an ad hoc hypothesis and determine if a hypotheses of this kind is more or less ad hoc than another. We discuss and propose a solution to these problems. Our analysis were made confronting historical examples where ad hoc hypotheses played an important role and considering modern works related to the theme. We tried to revisit ideas that had been proposed, identify some of its problems, and, adding our own impressions, develop a more satisfactory result. We hope to have been able to clearly establish the meaning of an ad hoc hypothesis, a method to identify it and a way to establish a gradability that indicates how ad hoc is a hypothesis.

Keywords: Philosophy of Science. Ad hoc hypotheses. Scientific Theories.

LISTA DE SIGLAS

ME	Matéria escura
MENB	Matéria escura não bariônica
EP	Epíclis do modelo de geocêntrico de Ptolomeu
PTU	Planeta transurânico
PX	Planeta X
PIM	Planeta intramercuriano (PIM)
ET	Éter
CFL	Contração de Fitzgerald-Lorentz
BEC	Binaridade de eta-Carinae
AB	Modelo de átomo de Bohr
HN	Hipótese do neutrino

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 HIPÓTESES AD HOC	12
3 EXEMPLOS HISTÓRICOS	16
3.1 MATÉRIA ESCURA.....	17
3.2 EPICICLOS DO MODELO PTOLOMAICO.....	21
3.3 PLANETA TRANSURANIANO, PLANETA X E PLANETA INTRAMERCURIANO	24
3.4 CONSTANTE COSMOLÓGICA E ENERGIA ESCURA.....	29
3.5 O ÁTOMO DE BOHR.....	31
3.6 ÉTER.....	34
3.7 CONTRAÇÃO DE FITZGERALD-LORENTZ.....	36
3.8 BINARIDADE DE ETA-CARINA.....	38
3.9 NEUTRINOS.....	38
4 AD HOCIDADE EM RELAÇÃO À TEORIA	41
5 SUPORTE TEÓRICO E O ALCANCE DA AD HOCIDADE	43
6 NOVOS CRITÉRIOS	45
6.1 APLICANDO TEMPORALIDADE E GRADABILIDADE.....	46
7 ALGUMAS AD HOCIDADES	50
8 CONCLUSÃO	54
9 PERSPECTIVAS FUTURAS: AD HOCS HEURÍSTICAS	56
REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

Hipóteses ad hoc podem ser notadas em vários momentos cruciais da História da Ciência, e ainda hoje podemos encontrá-las dando suporte à teorias modernas. Muito já foi dito sobre esse tipo de hipóteses, mas ainda é obscuro o que exatamente quer dizer chamar uma hipótese de “ad hoc”.

A tese busca caracterizar essas hipóteses muitas vezes presente, mas quase sempre vistas como indesejáveis na ciência, e mostrar seus aspectos positivos¹. Para fazer isso, verificamos no que já foi dito sobre hipóteses ad hoc onde ainda havia questões em aberto e apontamos desdobramentos históricos diretamente ligados à hipóteses desse tipo.

Analisamos o significado das hipóteses ad hoc a forma como elas se encaixam na prática científica. Abordamos como fazer a distinção entre uma hipótese ad hoc e uma não ad hoc, e também o problema clássico de uma hipótese poder ser mais ou menos ad hoc que outra. Buscamos dar alguma contribuição para uma melhor compreensão dessas questões e oferecemos uma proposta de solução para elas.

Compreender os elementos que constituem uma teoria científica, onde, eventualmente, podemos encontrar hipóteses ad hoc, significa compreender o conhecimento científico propriamente dito. E o conhecimento científico é incompleto se não compreendemos muito bem seus fundamentos ou as maneiras como o construímos. Toda essa compreensão é fundamental tanto para abordar a delicada questão conhecida como *o problema da demarcação*², como para guiar a própria ciência em seu desenvolvimento. Questões como: a relação entre representação científica (através de modelos, gráficos, tabelas, teorias, hipóteses, etc) e realidade; a possibilidade do conhecimento; a relação entre ciência e sociedade; e até mesmo a utilidade da ciência, devem ser encaradas para sustentar e justificar o próprio saber científico. Essas questões não podem ser abordadas pela ciência porque ela própria seria seu objeto de estudo, de modo que é necessário outra área do conhecimento assumir esse papel. A tarefa é realizada pela Filosofia da Ciência, principal área de foco dessa tese.

Para elaborar nossas análises e chegarmos à algumas conclusões, foi o escolhido o caminho de comparar exemplos históricos, alguns unanimemente considerados exemplos de

¹ Ao longo do texto são mostrados alguns exemplos de como as hipóteses ad hoc são vistas na ciência. Em especial, destaco a citação de Lemeître no capítulo “Constante Cosmológica e Energia Escura”.

² O problema da demarcação foi extensivamente abordado pelo filósofo Karl Popper, que introduziu a palavra 'demarcação' em carta à revista *Erkenntnis* (apud Oliveira, M.,1982), fundada pelo também filósofo da ciência Hans Reichenbach. O problema fala sobre a importância de identificar se um determinado assunto, teoria ou objeto de estudo está dentro dos domínios da ciência. Em outras palavras, o problema da demarcação busca encontrar a linha que separa o científico do não científico, ou do pseudocientífico.

hipóteses ad hoc e outros propostos nessa tese como tais. Acreditamos que a seleção escolhida tenha sido suficiente para abranger diferentes contextos de criação científica, mostrando como hipóteses ad hoc surgiram em diferentes épocas e como estão presentes em nosso conhecimento atual: matéria escura; os epiciclos do modelo geocêntrico ptolomaico; o planeta transurânico; o planeta X; o planeta intramercuriano; a constante cosmológica de Einstein e sua relação com energia escura; a contração de FitzGerald-Lorentz; o éter; a binaridade de eta-Carinae; o átomo de Bohr; e a hipótese dos neutrinos.

É importante dizer algo sobre o aspecto historiográfico que permeia o contraste entre diferentes teorias científicas de várias épocas. Talvez não seja possível analisar de forma satisfatória qualquer ideia em Filosofia da Ciência sem passear muito pela História da Ciência. Por isso, o leitor encontrará nessa tese também muito de História, que foi explorada, principalmente, para definir os cenários científicos em que cada hipótese ad hoc utilizada como exemplo foi criada.

Como nosso objetivo foi analisar especificamente o processo de criação e adaptação à teoria de um determinado tipo de hipótese, não levamos em conta a forma como o conhecimento científico se encaixava na cultura de cada época. A forma como pensamos o papel ciência dentro do conhecimento humano mudou com o tempo, mas isso não interferiu no processo de criação de suas hipóteses.

Houve também nessa tese uma intervenção linguística. Sentimos a necessidade de definir um termo que não existia na língua portuguesa, talvez por muito pouco se ter analisado especificamente sobre hipóteses ad hoc em nossa língua. Foi necessário fazer muitas referências à qualidade ad hoc de uma hipótese, que, em inglês, traduz-se como *ad hocness*, *ad hocity*, *ad hocery* ou, ainda, *ad hockery*. Para isso, definimos o termo *ad hocracia*, que pareceu a melhor construção levando em conta as estruturas do português falado no Brasil.

Veremos que, apesar de vários filósofos da ciência terem dedicado tempo ao estudo de hipóteses ad hoc, talvez essas discussões têm se mostrado insuficientes até o momento. Acreditamos que, em parte, isso deve a dois conceitos que, talvez, não tenham sido levados propriamente em conta. Um deles é a gradabilidade, já proposta por outros filósofos mas, talvez, com a falta de um tratamento mais objetivo. A gradabilidade nos diz que existem graus de ad hocracia (ou *ad hocness*) entre as hipóteses, e nessa tese buscamos propor um sistema quantificável para determinar esses graus. O outro conceito está sendo proposto pela primeira vez nessa tese, a temporalidade, que nos diz que os graus de ad hocracia podem mudar com o tempo.

Como resultado de nossas análises, desenvolvemos um sistema baseado em seis critérios para identificação e classificação de hipóteses ad hoc. A questão da identificação já havia sido abordada por outros filósofos, mas julgamos que nunca de maneira satisfatoriamente clara. Propomos uma forma mais simples de identificação nos primeiros três critérios de nosso sistema, critérios estes que tem caráter eliminatório, ou seja, determinarão se uma hipótese é ou não ad hoc. Os últimos critérios do sistema possuem caráter classificatório, e dirão o quão ad hoc uma hipótese é.

Assim, buscamos mostrar que com um tratamento menos subjetivo de gradabilidade e levando em conta uma temporalidade, podemos identificar e classificar melhor as hipóteses ad hoc, e descobrir que elas não são tão inconvenientes como têm sido consideradas.

2 HIPÓTESES AD HOC

Hipóteses ad hoc estão muito presentes nos discursos que buscam dar algum embasamento lógico ou sustentação epistemológica às pseudociências. Elas são capazes de produzir justificativas que impedem a refutação sumária de qualquer ideia, evitando o falseacionismo e mantendo qualquer premissa no terreno do possível. São criadas quando um resultado inesperado surge e são hipóteses que dificilmente conseguem alguma justificativa fora do eixo teste-resultado para a qual foram produzidas.

Talvez por se tratarem de hipóteses criadas à posteriori e por essa estreita relação com as tentativas de suporte às pseudociências, as hipóteses ad hoc sejam normalmente tomadas como não pertencentes à ciência, ou como algo que jamais poderia surgir dentro da ciência. Entretanto, uma olhada na história da Astronomia e uma reflexão sobre como surgiram algumas importantes hipóteses pode nos mostrar que muitas daquelas criadas à posteriori foram extremamente úteis e não só trouxeram boas explicações como impulsionaram de maneira inesperada a Astronomia.

Um dos poucos consensos que existem sobre hipóteses ad hoc diz respeito à origem da expressão, em Latim: ad hoc significa “para isso” ou “com esse propósito específico”. Hipóteses ad hoc são aquelas criadas para uma situação específica que se apresenta quando uma teoria falha em explicar um fenômeno ou resultado experimental em particular. Essa falha poderia consistir em uma falsificação da teoria, um sinal de que ela precisa ser substituída ou ajustada. Mas se existe uma hipótese ad hoc para suplantar a falha, a teoria permanece válida, suportada por esta hipótese criada especificamente para prover tal suporte. A hipótese ad hoc salva a teoria para a qual fora criada, acaba com a falha, fazendo com que uma explicação se torne possível.

A figura abaixo esquematiza de forma simplificada a relação entre uma hipótese ad hoc, a teoria para a qual foi criada e a observação que não pôde ser explicada pela teoria.

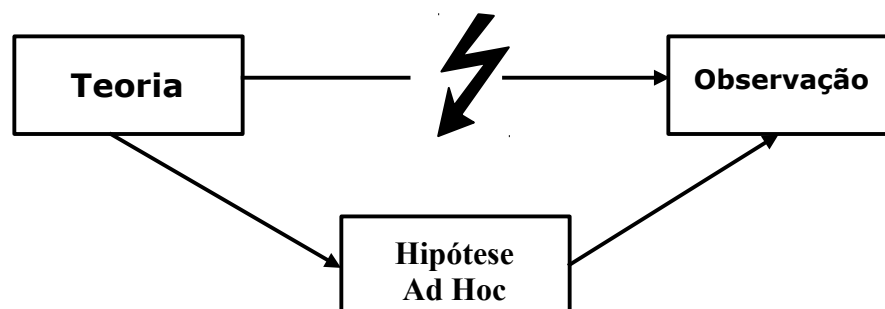


Figura 1 - Esquema ilustrativo da relação entre uma hipótese ad hoc, a teoria na qual está inserida e a observação que só pode ser compreendida com a referida hipótese.

Outro consenso sobre hipóteses ad hoc é que sua utilização é inadequada dentro do pensamento científico, e até de validade questionável, devido à escassez ou inexistência de testes independentes das teorias para as quais foram criadas. Testar uma hipótese criada para ajustar uma determinada teoria com a própria teoria que foi ajustada por ela certamente não consiste em teste válido. Uma das características das hipóteses ad hoc, como veremos adiante, é justamente o fato de não poderem ser satisfatoriamente testadas fora das teorias para as quais foram criadas.

A grande importância de se identificar uma hipótese ad hoc repousa justamente na falta de um teste independente, pois é necessário se buscar um. As hipóteses ad hoc são as que precisam mais urgentemente serem testadas independentemente, se possível. Se um teste independente é possível, mas ainda não está disponível, ele precisa ser desenvolvido. Essa ideia aparece claramente nas palavras de Grünbaum sobre a aceitação de uma hipótese ad hoc: “... a busca por um suporte empírico 'adicional' ou 'independente' é desejável ou necessária” (Grünbaum, 1976)³.

Apesar de tudo o que já foi escrito sobre o assunto não existe consenso sobre uma definição clara do que seja uma hipótese ad hoc. Isso torna ainda mais difícil identificá-las, especialmente no momento em que são propostas, quando ainda não foram observadas ou consideradas possíveis consequências de sua utilização.

A atitude negativa perante hipóteses ad hoc é evidente em várias referências, como os comentários feitos por Einstein sobre a hipótese da Contração de FitzGerald-Lorentz, que pretendia manter a teoria do éter luminífero depois dos inconclusivos resultados do interferômetro de Michelson e Morley: “Essa assunção, introduzida ad hoc, parece entretanto ser um forma artificial de resgatar a teoria” (apud Leplin, 1975)⁴.

Apesar de artificial, a teoria da contração de FitzGerald-Lorentz competiu com a teoria da relatividade especial por vários anos. É um exemplo clássico de hipótese ad hoc. Essa briga histórica entre duas teorias nos mostra que uma hipótese ad hoc não pode ser sempre facilmente substituída por outra, menos ad hoc, simplesmente porque esta é menos ad hoc. Uma hipótese ad hoc pode fornecer boa contribuição e deve ser considerada ao menos como potencialmente importante, não automaticamente relegada como algo indesejável na ciência. Alguns exemplos discutidos adiante ilustram hipóteses ad hoc de muito sucesso.

³ No original: “...the procurement of 'additional' or 'independent' empirical support for H is desirable or needed.”

⁴ No original: “This assumptin, introduced *ad hoc*, appeared however to be an artificial means to rescue the theory” (grifo do autor)

Mas identificar uma hipótese como ad hoc requer uma definição de hipótese ad hoc. Essa definição foi discutida direta ou indiretamente por vários filósofos como Karl Popper (Popper, 1959a, 1959b), Jarret Leplin (Leplin, 1975), Adolf Grünbaum (Grünbaum, 1976) e Greg Bamford (Bamford, 1999), e um artigo publicado recentemente por J. Christopher Hunt (Hunt, 2012) sugere que essas discussões foram, no final das contas, insuficientes, porque nenhum bom consenso foi alcançado. Hunt vai ainda além, e conclui que:

“... parece para mim que a queda de braços entre historiadores, filósofos, e cientistas sobre sim ou não uma hipótese ser ou ter sido ad hoc (logo 'ilegitimamente classificada') é energia perdida.” (Hunt, 2012)

A conclusão enfática de Hunt é resultado de uma longa e ineficaz discussão sobre o assunto. Sua referência à ilegitimidade de uma hipótese ter sido classificada como ad hoc e depois essa classificação se alterar será particularmente discutida adiante.

Se um assunto foi bastante discutido é porque provavelmente trata-se de algo importante. E se não se chegou a algum consenso, ou sequer clareza quanto à definição do principal objeto da discussão, então ainda há o que se discutir. E discutir algo importante para a Ciência não pode ser energia perdida para a Filosofia da Ciência.

A história, principalmente da Física e da Astronomia, nos fornece diversos exemplos de hipóteses que podem iluminar nossa discussão. Vamos ver alguns desses exemplos, propositalmente bastante distantes no tempo entre si, e que guardam a semelhança de serem baseados em conceitos criados exclusivamente para resolver o problema de uma teoria que falhou ao explicar uma observação que deveria ter sido explicada por ela. A separação temporal dos exemplos tem como objetivo ilustrar a abrangência da utilização de hipóteses ad hoc na ciência.

3 EXEMPLOS HISTÓRICOS

Alguns dos exemplos discutidos a seguir são classicamente ad hoc, ou seja, são considerados por muitos autores como tais, como a hipótese da contração de FitzGerald-Lorentz e do planeta transuraniano. Outros exemplos, como a matéria escura, estão sendo propostos aqui como ad hoc. O objetivo desse capítulo é apresentar episódios da História da Ciência que utilizaremos para nossas discussões. Não se buscou aqui entrar profundamente em detalhes históricos que não fossem pertinentes à essas discussões, que têm como objetivo se concentrar na relação entre hipóteses ad hoc e a construção de teorias científicas.

Os exemplos que destacamos e que serão utilizados nos capítulos subsequentes foram: matéria escura (ME), em particular a matéria escura não bariônica (MENB), que não aparece na literatura como exemplo de hipótese ad hoc, mas estamos propondo aqui como o melhor exemplo moderno desse tipo de hipóteses; os epiciclos do modelo de geocêntrico de Ptolomeu (EP), que deram base a um modelo de Universo que permitia cálculos precisos das efemérides planetárias e sobreviveu mesmo após a criação do modelo copernicano; o planeta transuraniano (PTU), essa uma das hipóteses astronômicas mais referenciada como ad hoc, utilizada para explicar anomalias na órbita de Urano; o Planeta X (PX), um desdobramento de PTU; o planeta intramercuriano (PIM), também relacionado ao sucesso de PTU, utilizado para explicar a precessão do periélio de Mercúrio, que hoje é compreendido através da relatividade geral; o éter (ET) um elemento postulado e perseguido desde as primeiras gerações de pensadores, e uma ideia modificada mas não totalmente abandonada nos dias de hoje; a contração de Fitzgerald-Lorentz (CFL), que competiu com a relatividade restrita para explicar o resultado do experimento de Michelson e Morley; a binaridade de eta-Carinae (BEC), que propôs um modelo físico para explicar um dos objetos estelares mais luminosos de nossas Galáxia; o modelo de átomo de Bohr (AB), que forneceu as bases para o início da mecânica quântica; e a hipótese do neutrino (HN) que explicou a aparente quebra nas leis de conservação nos decaimentos beta.

Pretendo que o leitor perceba os pontos comuns nos exemplos citados e algumas de suas diferenças também. Essas semelhanças e diferenças serão destacadas à frente, quando confrontaremos esses exemplos e analisaremos seus diferentes graus de ad hocidade⁵. Propositamente, os exemplos não estão apresentados em sequência cronológica para reforçar a ideia de que o tempo em que as hipóteses foram propostas não importa para a discussão.

⁵ Como foi colocado na Introdução dessa teste, sentimos a necessidade de criar essa expressão que não existia na língua portuguesa. Ver a Introdução para mais comentários.

3.1 MATÉRIA ESCURA

O melhor exemplo moderno de hipótese ad hoc é a matéria escura. Dois trabalhos marcam o nascimento dessa hipótese na cosmologia moderna. O primeiro foi publicado por Jan H. Oort (1900-1992) em 1932, e traz um estudo do movimento de estrelas na vizinhança solar, mostrando que a quantidade de massa no plano galáctico deveria ser bem maior que aquela observada. No ano seguinte, Fritz Zwicky (1898-1974) calculou a massa do aglomerado de galáxias de Coma utilizando diferentes métodos. Um dos métodos obtinha a massa do aglomerado através da relação massa-luminosidade, que relaciona a luminosidade recebida de um astro e sua massa. O outro método relacionava a massa do aglomerado com o movimento das galáxias através de um teorema igualmente importante, chamado teorema do virial. Este último provê uma forma de relacionar a gravidade, que mantém unidos os elementos que se movem em algum conjunto, com a energia desses movimentos. O primeiro método utiliza a luz observada, o segundo utiliza a dinâmica do conjunto.

Para surpresa de Zwicky os resultados obtidos foram bastante diferentes. A massa determinada pela luz observada era cerca de 400 vezes menor que a massa obtida pelo estudo do movimento das galáxias. De imediato, três coisas podem estar acontecendo: há uma falha em algum dos métodos utilizados, há uma falha em ambos, ou existe mais matéria naquele aglomerado do que podemos observar.

Os trabalhos de Oort e Zwicky são a pedra fundamental do estabelecimento de ME na Cosmologia. Várias outras observações, como a curva de rotação de galáxias e efeitos relativísticos de lentes gravitacionais também indicaram fenômenos que poderiam ser explicados com a existência de matéria que não pode ser detectada visivelmente. A Figura 2 mostra a comparação entre o resultado previsto e o observado nas curvas de rotação de estrelas em galáxias espirais. A Figura 3 mostra o resultado obtido em um trabalho de observação dessas curvas em diversas galáxias e a a Figura 4 um dos objetos astronômicos mais populares quando se fala de lentes gravitacionais, numa imagem que ficou conhecida como Cruz de Einstein.

É sabido que, certamente, nem toda a matéria existente no universo pode ser detectada diretamente pela luz que emite. Um exemplo disso são as anãs negras, núcleos de estrelas que passaram por seu estágio final de evolução, e não emitem mais quantidade detectável de radiação residual porque esfriaram demais.

Sabemos hoje, também, que é normal uma estrela ter planetas. A quantidade de planetas extrassolares já detectados é bastante grande para garantir que a formação planetária é uma consequência normal da formação estelar, o que nos leva a um cenário de Universo com muito mais planetas que estrelas. Em nosso atual estágio, já conseguimos detectar pequenos planetas de um sistema extrassolar, mas essa detecção depende do posicionamento do sistema em relação a nós, de modo que nem todos os planetas podem ser detectados. Além disso, nem consideramos ainda a detecção de corpos menores que provavelmente também existem nesses sistemas, como cometas e asteroides.

Além das anãs negras e dos planetas extrassolares, podemos acrescentar a poeira interestelar e poeira intergaláctica em regiões de baixa concentração aos conjuntos de massa que sabemos existir mas que não podemos detectar através da luminosidade. E podemos, ainda, acrescentar a esses os objetos massivos compactos do halo (MACHO's – do inglês *massive astrophysical compact halo object*) e a massa do neutrino como outras possibilidades de matéria comum não detectável em seu conjunto. Essa é a chamada matéria escura bariônica, que nada mais é que matéria normal, formada por átomos com prótons e nêutrons (bárions) no núcleo, mas que não podem ser detectadas eletromagneticamente.

Entretanto, não se chegou a um consenso de que a quantidade de matéria escura bariônica estimada seja suficiente para dar conta de toda a influência gravitacional observada. Mesmo considerando-se toda a matéria não luminosa proveniente do somatório das massas dos planetas extrassolares, anãs negras, poeira interestelar e intergaláctica, MACHO's, neutrinos, etc., ainda assim, parece faltar matéria. Para dar conta dessa outra matéria faltante, a cosmologia criou a hipótese de um tipo de matéria escura muito particular, que não estaria associada diretamente aos objetos não observados.

Esse tipo de matéria indetectável a não ser por seus efeitos gravitacionais é chamada na literatura de matéria escura não bariônica. Não emite radiação, não interage eletromagneticamente com a matéria convencional e não é formada pelas mesmas partículas que formam a matéria comum.

As observações que indicam a existência da matéria escura se baseiam na mecânica clássica e na mecânica relativística, duas teorias de gravitação muito bem testadas e que estão na base de nossa compreensão do Universo. As velocidades das estrelas nas galáxias espirais, as velocidades das galáxias em aglomerados e as lentes gravitacionais mostram uma inconsistência interna em ambas as teorias. A hipótese da matéria escura elimina tais inconsistências.

Isso nos mostra que ME foi criada exclusivamente com o objetivo de acabar com a incoerência entre observações astronômicas e as previsões da mecânica clássica e da relatividade geral, o que, pelo que já foi discutido, nos permite classificá-la como uma hipótese ad hoc. Vejamos outros exemplos semelhantes do ponto de vista epistemológico.

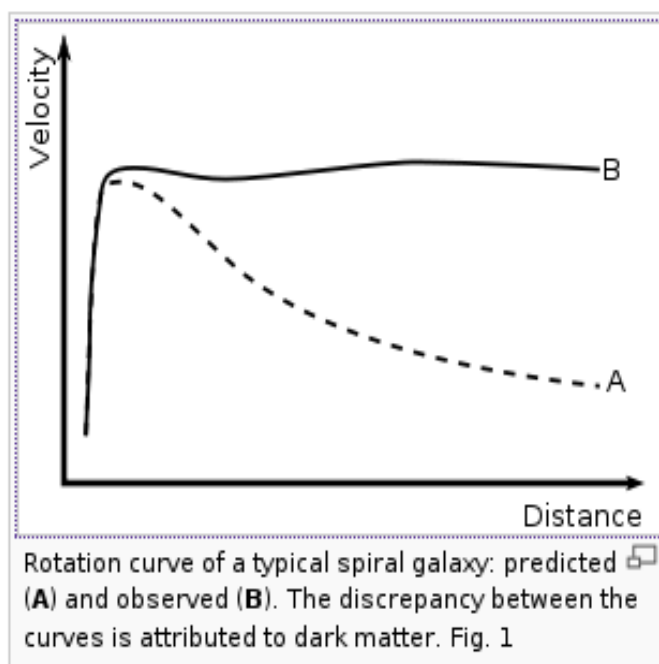


Figura 2 - Ilustração comparativa do comportamento previsto para a curva de rotação de estrelas em galáxias espirais (curva A) e o comportamento observado (curva B)

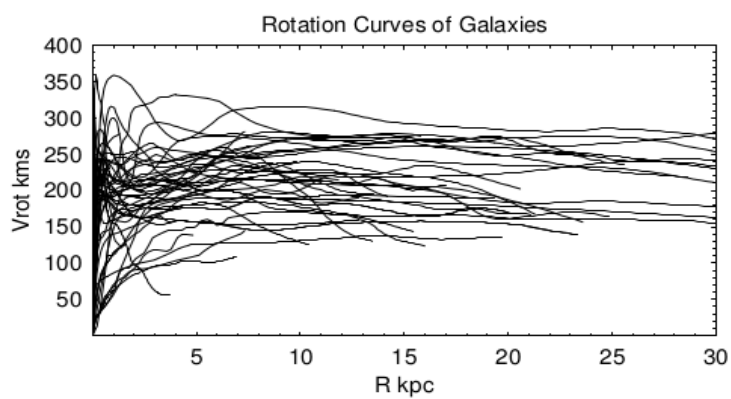


Figura 3 - Curvas de rotação de galáxias Sb e Sc obtidas com a observação das linhas de CO, Ha e HI (Sofue et al.),

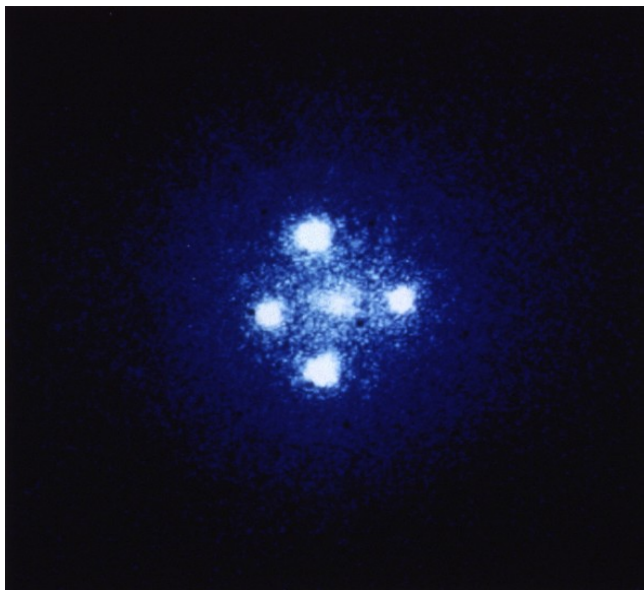


Figura 4 - Cruz de Einsteins: cinco imagens de duas galáxias (ESA/NASA)

3.2 EPICICLOS DO MODELO PTOLOMAICO

Dando um salto cronológico para o passado, podemos ver algo muito semelhante à ME, do ponto de vista epistemológico, em uma das teorias científicas de maior duração da história, o modelo geocêntrico de Ptolomeu (90-168). Sob a forte influência aristotélica que estipulava os movimentos celestes como obrigatoriamente circulares, Ptolomeu utilizou a ideia de Apollonius de Perga (262 a.C.-190 a.C.) para explicar os movimentos retrógrados dos planetas. Em vez de girarem diretamente em volta da Terra, os planetas descreveriam um círculo, o epiciclo, cujo centro orbitava ao redor da Terra, esta ligeiramente deslocada do centro geométrico exato do Universo.

O modelo de Universo de Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.) com esferas cristalinas concêntricas onde estavam fixados os planetas não dava conta de seu movimento retrógrado, ou retrogradação. Esse movimento é uma espécie de “marcha à ré” executada pelos planetas em seu movimento aparente no céu. Hoje, compreendemos o movimento retrógrado através do modelo kepleriano das órbitas, onde os planetas mais próximos do Sol deslocam-se com velocidade maior que a dos planetas mais distantes, de modo que a Terra eventualmente ultrapassa os planetas exteriores, causando a aparência de marcha à ré em seu movimento em relação às estrelas. De forma semelhante, a Terra é ultrapassada pelos planetas interiores que

também executam movimento retrógrado. A Figura 5 mostra uma sequência de imagens que evidenciam os movimentos retrógrados de Marte e Urano.

Com EP, Ptolomeu conciliou os movimentos circulares e a Terra numa posição central do modelo de Aristóteles com as observações dos movimentos retrógrados. Apesar dos epiciclos terem se mostrado falsos, o modelo ptolomaico se mostrou mais eficiente que o modelo de heliocêntrico de Copérnico (1473-1543), que só passou a funcionar efetivamente quando Kepler (1571-1630) mostrou que as órbitas planetárias não eram círculos, mas elipses. A Figura 6 retrata uma representação simples da ideia do modelo de epiciclos de Ptolomeu com seus principais elementos.

MENB conciliou as teorias de gravitação com as observações das curvas de rotação de estrelas em galáxias espirais, lentes gravitacionais e diversas outras evidências de que há mais matéria do que aquela que podemos observar. EP conciliou a teoria das órbitas circulares com os movimentos retrógrados observados.

MENB não possui ainda uma maneira de ser detectada fora da teoria para a qual foi criada, a gravitação. Os epiciclos também não puderam ser detectados ou falseados durante muito tempo. Desde a criação do modelo ptolomaico até a primeira década do século XVII, não havia sequer a possibilidade de aguardar o desenvolvimento de alguma tecnologia existente para se testar EP.

O primeiro e decisivo teste foi feito com a utilização do telescópio por Galileu (1564-1642) para demonstrar o ciclo completo das fases de Vênus. Se Vênus girasse em torno da Terra e não do Sol, não poderíamos observar suas fases da maneira que observamos. As observações dos satélites galileanos de Júpiter também foram importantes na compreensão de que nem tudo no Universo girava ao redor da Terra. A Figura 7 mostra os desenhos de Galileu das suas observações do ciclo de fases de Vênus.

Uma situação diferente envolveu PTU, a hipótese que levou à descoberta de Netuno. A hipótese de um planeta exterior a Urano, levantada no século XIX, nasceu como uma hipótese que poderia ser testada pelos telescópios existentes na época.



Figura 5 - Movimento Retrógrado de Marte e Urano em 2003 (Tezel, 2003, apod031216)

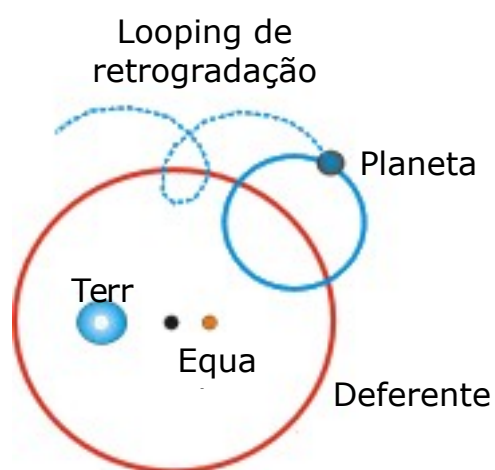


Figura 6 - Representação da explicação fornecida pela utilização dos Epiciclos

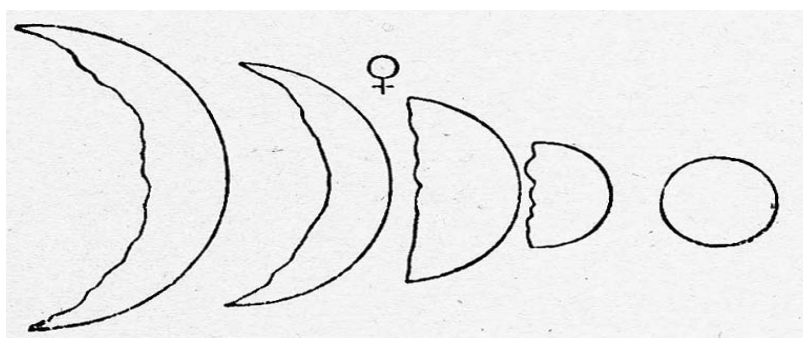


Figura 7 - Desenho do ciclo completo das fases de Vênus feito por Galileu em 1610

3.3 PLANETA TRANSURANIANO, PLANETA X E PLANETA INTRAMERCURIANO

Em 1821, Alexis Bouvard (1767-1843) publicou uma tabela astronômica com dados referentes à órbita de Urano. Entretanto, as posições previstas não estavam de acordo com as posições observadas, e Bouvard criou a hipótese da existência de um planeta que estaria perturbando a órbita de Urano. Em meados do século dezenove, uma hipótese como essa já poderia ser testada através do telescópio. A descoberta do planeta transurânico, que foi mais tarde batizado de Netuno, envolveu os cálculos de John Adams (1819-1892) e Urbain Le Verrier (1811-1877), e a efetiva observação do planeta com o telescópio refrator do Observatório de Berlim em 23 de setembro de 1846.

Mas, aparentemente, Netuno não explicava totalmente as perturbações na órbita de Urano, e ele próprio parecia sofrer alguma perturbação. E especulou-se então sobre a existência de ainda um outro planeta cuja massa estaria também contribuindo com as alterações observadas em Urano. O novo e ainda não descoberto planeta foi batizado de Planeta X, e uma busca foi empreendida com grande empenho por Percival Lowell (1855-1916), após sua frustrada tentativa de comprovar a existência de uma civilização extraterrestre inteligente em Marte.

Lowell gastou parte de sua fortuna com a construção do Lowell Observatory, onde, em 1930, Clyde Tombaugh (1906-1997) observando uma região do céu onde se esperava encontrar o Planeta X, descobriu Plutão.

Acreditou-se que realmente o Planeta X tinha sido encontrado. Mas a massa de Plutão pode ser calculada com satisfatória precisão em 1978, quando se descobriu seu primeiro satélite, Caronte. Ficou claro que Plutão não era o procurado Planeta X, pois sua massa, menor que a massa de nossa Lua, não produziria qualquer efeito perceptível em Netuno ou Urano.

Com a massa de Plutão calculada com maior precisão através da interação gravitacional com Caronte, uma nova busca pelo Planeta X se iniciou. Talvez, o personagem mais importante dessa nova fase tenha sido o astrônomo do Observatório Naval dos Estados Unidos, Robert Harrington (1942-1993). Harrington determinou a localização do Planeta X, cuja órbita deveria ter semieixo maior de 101.2 unidades astronômicas (mais de três vezes o valor correspondente a Netuno), excentricidade 0,41 (altamente excêntrica em comparação com os outros planetas) e deveria estar inclinada em 32.4 graus em relação ao plano da

eclíptica. Harrington determinou ainda que o Planeta X deveria ter 4 vezes a massa da Terra (Harrington, 1988).

Harrington iniciou um trabalho observacional para encontrar o Planeta X em 1991. Seu objetivo era fotografar a área do céu onde deveria estar o Planeta quando essa área estivesse em oposição, utilizando um telescópio de 20 cm de abertura na Nova Zelândia. As imagens seriam então comparadas com uma imagem da mesma região do céu obtida no ano anterior, utilizando um recurso chamado de *blinking* (Harrington, 1991). O planeta apareceria como um ponto que se deslocou de uma imagem para a outra, enquanto as estrelas permaneceriam fixas. Harrington faleceu em janeiro de 1993 sem ter encontrado o Planeta X⁶.

Em maio do mesmo ano, um artigo publicado por E. Myles Standish(1939-) mostrou um novo cálculo da massa de Netuno, onde foi encontrada uma correção de cerca de 0,5% para baixo do valor estabelecido na época (aproximadamente uma massa de Marte) (Standish, 1993). O trabalho de Standish utilizou dados da missão Voyager, e marca o fim da procura pelo Planeta X (Browne, 1993).

PTU foi uma hipótese correta que salvou a gravitação de 1821 até 1846 e nos levou à descoberta de Netuno. Por outro lado, PX foi uma hipótese errônea, mas também salvou a gravitação desde 1930 até a era das sondas espaciais, e nos levou à descoberta de Plutão que teve papel fundamental em uma importante ampliação de nossa compreensão das estruturas que formam o Sistema Solar.

Em 2006, após uma discussão que se iniciou no ano anterior com o anúncio da descoberta de um objeto maior que Plutão, por uma equipe liderada por Michael E. Brown (1965-) (M. E. Brown, Schaller, Roe, Rabinowitz, & Trujillo, 2006), a União Astronômica Internacional reconheceu uma nova classe de objetos no Sistema Solar, os planetas anões (IAU General Assembly, 2006).

Após o sucesso de PTU, outra hipótese da existência de um planeta ainda não descoberto no Sistema Solar surgiu, dessa vez para explicar o comportamento peculiar da órbita de Mercúrio. A elipse descrita por Mercúrio em sua órbita precessiona, ou seja, após cada revolução a nova elipse será descrita a partir de um novo ponto. Esse movimento é ilustrado na Figura 8. Hoje compreendemos muito bem a precessão da órbita de Mercúrio em termos relativísticos, mas, em meados do século XIX, um estudo cuidadoso levou o próprio Urbain Le Verrier a propor a existência de um planeta intramercuriano, ou seja, que orbitaria entre Mercúrio e o Sol. Le Verrier propôs Vulcano para o nome desse planeta a ser

⁶ Veja comentário adicional sobre a repercussão do trabalho de Harrington na cultura popular em Considerações Finais.

encontrado, inspirado no deus do panteão romano associado ao fogo. Seria um bom nome para um planeta tão próximo ao Sol.

Em 22 de dezembro de 1859, numa carta à Le Verrier, o médico e astrônomo amador francês Edmond Modeste Lescarbault (1814-1894) relatou a observação de Vulcano que teria feito em 26 de março daquele ano. Le Verrier foi ao encontro de Lescarbault e considerou satisfatória sua observação. Entretanto, pouco tempo depois do anúncio da descoberta, o astrônomo também francês Emmanuel Liais (1826-1900), que estava no Rio de Janeiro, publicou um artigo onde dizia que no mesmo momento das observações de Lescarbault, ele também observava o Sol, com melhores equipamentos, e não observou nada que chamasse sua atenção como um planeta na frente do disco Solar. O artigo de Liais intitulava-se “Sobre o novo Planeta anunciado pelo Sr. Lescarbault”⁷ e começava com as seguintes palavras “a observação de Lescarbault é falsa”(Campos, 2008)⁸. Mais tarde, Emmanuel Liais seria convidado por D. Pedro II para ser diretor do Imperial Observatório do Rio de Janeiro.

Uma pequena mancha solar pode ser facilmente confundida com um planeta em trânsito, mesmo com equipamentos simples modernos (ver imagens adiante). Provavelmente, Lescarbault se confundiu com uma pequena mancha solar que apareceu na posição onde esperava observar Vulcano. A Figura 9 permite a comparação de um trânsito do planeta Mercúrio com a imagens de manchas solares.

Outras pessoas alegaram ter encontrado o planeta. Provavelmente, muitas das supostas observações de Vulcano foram observações de manchas solares arredondadas, localizadas onde se previa encontrar o planeta. Mesmo nas modernas imagens obtidas durante o trânsito de Mercúrio ou Vênus, a diferença da mancha produzida pelos planetas sobre o disco do Sol e uma mancha solar não é grande.

A hipótese da massa perturbadora de Mercúrio ser atribuída a um planeta foi posteriormente substituída pela hipótese de um cinturão de pequenos objetos (como uma espécie de cinturão de asteroides), mas esta também se mostrou falsa.

PTU, PX e PIM foram hipóteses ad hoc criadas numa época em que testes para verificar sua consistência fora da teoria em que foram criadas eram possíveis. Esses três planetas foram especulados pela gravitação, mas a óptica permitia que sua imagem fosse observada através de um telescópio que fosse apontado para a posição correta. A possibilidade de teste é uma diferença crucial entre estas hipóteses e EP ou MENB. Essas duas hipóteses

⁷ No original: *Sur la nouvelle planète annoncée par M. Lescarbault*

⁸ Há uma interessante análise psicológica e social envolvendo a proposta de Vulcano, a suposta observação de Lescarbault e as críticas de Liais em Campos, 2008.

não possuíam possibilidade de teste quando foram criadas. Isso será analisado com cuidado nos próximos capítulos.

Além das hipóteses testáveis e não testáveis, temos pelo menos um interessante exemplo de hipótese que foi testada, abandonada, testada novamente e reabilitada: a Constante Cosmológica

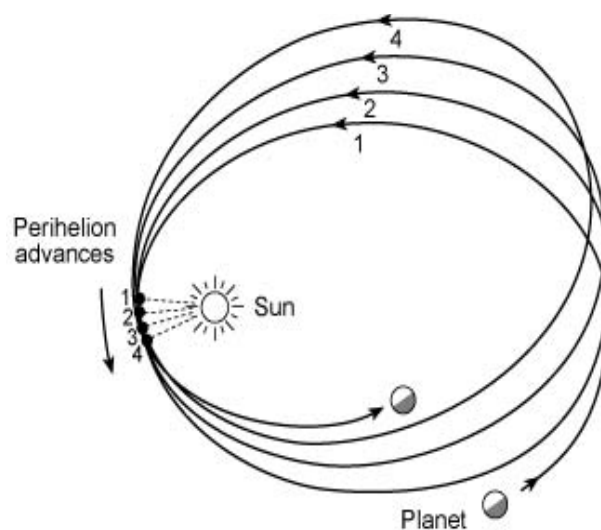


Figura 8 Ilustração da precessão do periélio de Mercúrio

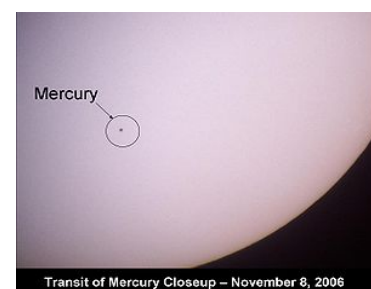
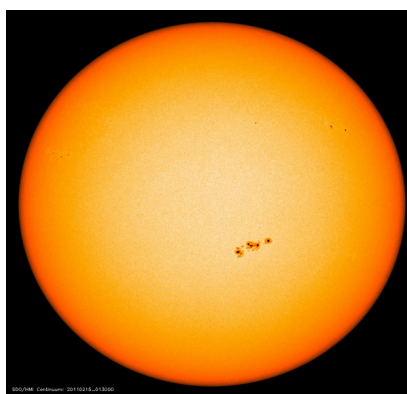
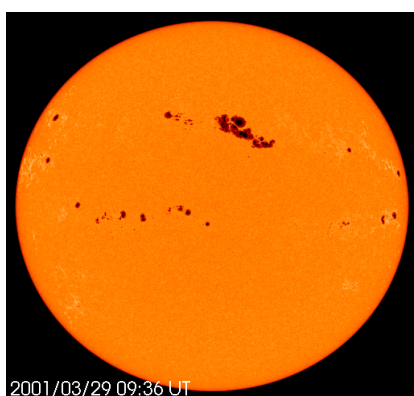


Figura 9 - Imagem da superfície do Sol em (1) período de grande atividade, (2) período de baixa atividade e (3) durante um trânsito de Mercúrio (SDO/NASA)

3.4 CONSTANTE COSMOLÓGICA E ENERGIA ESCURA

Talvez o caso mais célebre de hipótese ad hoc na física teórica seja a constante cosmológica. As equações de campo da relatividade geral mostravam um Universo dinâmico, colapsando pela ação da própria gravidade. A aparência do Universo se alteraria com o tempo. A ideia de um Universo que mudava de tamanho não tinha suporte científico teórico e tão pouco observacional, numa época em que observar o colapso ou expansão do Universo significava observar as velocidades de afastamento ou aproximação das estrelas de nossa própria Galáxia. Antes da confirmação de que existem outras galáxias, o Universo conhecido era formado pelas estrelas e alguns objetos nebulosos, cujas distâncias não podiam ser determinadas com precisão.

Para consertar a dinâmica do Universo evidente naquelas equações, seu próprio autor, Albert Einstein (1879-1955), colocou um termo que compensaria o colapso, a chamada Constante Cosmológica. Com esse novo termo, o Universo descrito tornava-se estático, como era esperado e indicado pelas observações astronômicas da época, afinal, as velocidades de dispersão das estrelas não indicavam qualquer expansão ou contração.

Entretanto, poucos anos após a relatividade geral, Edwin Hubble (1889-1953) constatou que alguns dos objetos nebulosos observados estavam muito mais distantes que as estrelas, mostrando que o Universo em grande escala é composto por galáxias. O Universo se estendia para muito além das estrelas. Depois disso, mostrou-se também que as galáxias estão se afastando umas das outras, dando evidências observacionais de uma dinâmica muito diferente daquela admitida quando a relatividade foi desenvolvida. O Universo é dinâmico e sua aparência muda, como mostravam as equações de campo da relatividade geral antes da constante cosmológica.

Einstein considerou sua constante como sendo a “maior mancada” de sua vida. Ela foi prontamente retirada das equações, diante da expansão do Universo. Seu caráter ad hoc é muito claro, e foi destacado nessa declaração de George E. Lemeître (1894-1966):

“A história da ciência provê vários exemplos de descobertas que tem sido feitas por razões **que não podem mais ser consideradas satisfatórias**. Pode ser que a

descoberta da constante cosmológica seja um caso desses.” (Lemeître, grifo meu)⁹
(apud. Straumann, 2002)

Entretanto, na década de 1990, observações astronômicas mostraram que a expansão do Universo se dá de forma acelerada, contrariando a expectativa natural de que a gravidade estivesse diminuindo a taxa de expansão.

Em minhas atividades de comunicação científica, criei uma forma de explicar o contrassenso da expansão acelerada do Universo fazendo um paralelo com uma pedra arremessada verticalmente. Quando arremessamos uma pedra para cima, ela se afasta de nós na medida em que sobe, esse seria o Universo se expandindo. Poderíamos estar em um estágio na idade do Universo em que o estivéssemos observando se expandir, assim como vemos a pedra se afastando. Mas a pedra se afasta cada vez menos, devido à ação contrária da gravidade, o que faz com que a taxa de afastamento diminua, até que ela para de se afastar e cai, voltando para onde saiu. Mas no que diz respeito ao Universo, a pedra subindo (que representa a expansão) não está se afastando cada vez menos, mas cada vez mais. É como se descobríssemos que a pedra não era uma pedra, mas um foguete que foi acionado quando o arremessamos para cima.

Foguetes tem combustível, o que gera energia. E essa energia, que faz nossa pedra-foguete se afastar com velocidade cada vez maior, ou aceleradamente, é a energia escura em nossa metáfora. O mistério da energia escura consiste em descobrirmos qual sua origem (qual o “combustível” que a produz), e isso é um dos desafios atuais da cosmologia moderna.

O cenário cosmológico teve uma mudança radical com a detecção da expansão acelerada. Apesar da origem ser desconhecida, seu comportamento pode ser estudado, e é necessário que, de alguma forma, a representemos nas equações que descrevem o espaço-tempo. E a melhor forma encontrada para fazer isso foi incluir uma constante nas equações de campo da relatividade geral: uma constante cosmológica.

Ou seja, CC foi uma hipótese ad hoc criada por Einstein, foi retirada da ciência devido à expansão do Universo e novamente incorporada devido à expansão acelerada. É um caso muito interessante de hipótese ad hoc que foi criada, abandonada e resgatada.

Penso que vale a pena ressaltar um outro tópico importante na Filosofia da Ciência que aparentemente foge das questões das hipóteses ad hoc, mas que pode nos fornecer mais uma

⁹ No original: “The history of science provides many instances of discoveries which have been made for reasons which are no longer considered satisfactory. It may be that the discovery of the cosmological constant is such a case.” (Lemeître) [1]

explicação sobre o porquê dessas hipóteses terem seu lugar na Ciência. Esse tópico pode ser muito bem exemplificado através da CC.

Apesar de, evidentemente, existir a necessidade de se determinar a natureza física da energia escura, sua manipulação nas equações da cosmologia é igualmente importante. Verificando a forma como CC é normalmente referenciada atualmente, somos levados a refletir sobre a relação, sempre presente na Ciência, entre a representação através de modelos (matemáticos ou físicos) e a realidade em si.

Podemos ver a importância da energia escura nas equações que descrevem o Universo em grande escala no seguinte trecho de Norbert Straumann (1936-)

“O candidato mais simples para essa exótica densidade de energia é um **termo** cosmológico **nas equações** de campo de Einstein (...)”¹⁰(Straumann, 2002)

Note que, mais que ressaltando a importância de manipular matematicamente os efeitos dessa energia misteriosa, a observação de Straumann está nos dizendo que o candidato mais simples¹¹ para a energia escura não é algo relativo à sua natureza, mas algo que permite sua inserção nas equações da cosmologia. Isso nos fala muito sobre a equivalência entre realidade física e representação da realidade através de um modelo, que não necessariamente precisa ser um retrato autêntico dessa realidade.

Considerando a Ciência mais uma provedora de meios de fazer previsões e controlar a natureza do que uma provedora das explicações últimas da natureza em si, temos mais conforto de aceitar algumas hipóteses ad hoc como algo válido a ser considerado. Encontramos aqui uma ligação evidente com o modelo de átomo de Bohr, que já nasceu claramente diferente do que seria a natureza real¹², mas perfeito para uma compreensão dos fenômenos observados das linhas espectrais. Muitas vezes, uma teoria ou modelo pode não estar próximo de uma representação da realidade em si, mas serve como uma escada que nos leva a outras teorias mais próximas dessa realidade¹³.

¹⁰ No original: “The simplest candidate for this exotic energy density is a cosmological term in Einstein's field equations (...)”

¹¹ Straumann invoca aqui, talvez inconscientemente, a navalha de Ockham.

¹² Me refiro ao elétron em movimento acelerado sem perder energia.

¹³Essa reflexão nos remete à uma ideia extremamente interessante de Karl Popper, segundo a qual, ao longo da história, a ciência se aproxima assintoticamente da verdade. Acho essa visão particularmente interessante por reconhecer a existência de uma realidade última e o desenvolvimento científico como um movimento em busca de alcançá-la.

3.5 O ÁTOMO DE BOHR

As distribuições das linhas espectrais foram matematicamente descritas por Johannes Rydberg (1854-1919) em 1888, numa relação conhecida como fórmula de Rydberg. Essa fórmula nos permite conhecer as posições das linhas de emissão ou absorção, em relação ao espectro contínuo, associando números inteiros ao comprimento de onda da linha espectral. Esses números inteiros são conhecidos hoje como números quânticos principais, e introduzem na fórmula de Rydberg a quantização da energia proposta por Max Plank (1858-1947).

Nenhuma explicação física dos mecanismos de emissão ou absorção que produzem as linhas espectrais pode ser obtida da fórmula de Rydberg. Esta provê tão somente uma distribuição matemática que coincide com as linhas espectrais observadas em laboratório. Um modelo que representava a física atômica da produção das linhas espectrais veio em 1913 com Niels Bohr (1885-1962).

Conhecido como modelo de Bohr, ou átomo de Bohr, representava o átomo sendo composto de um núcleo, onde localizavam-se as cargas positivas concentrando grande parte da massa atômica, e cargas negativas percorrendo órbitas circulares ao seu redor.

As linhas espectrais de emissão são produzidas quando o elétron salta de uma órbita de raio maior para outra de raio menor. As linhas de absorção aparecem quando o átomo absorve a quantidade exata de energia para fazer um elétron saltar de uma órbita de raio menor para uma órbita de raio maior.

É fácil verificar de imediato uma aparente inconsistência no modelo, relacionada à estabilidade atômica: o movimento circular é um movimento acelerado, e a carga negativa, o elétron, deveria emitir e perder energia durante seu deslocamento, espiralando em direção ao núcleo, onde encontraria cargas positivas, os prótons. As cargas positivas e negativas aniquilariam-se mutuamente e o átomo não existiria. Entretanto, a maioria dos átomos é estável e caso os elétrons emitissem energia constantemente durante suas órbitas ao redor do núcleo atômico, observaríamos um espectro contínuo de radiação e não as linhas espectrais dos diferentes elementos químicos.

Assim, sem explicação física para isso, segundo o modelo de Bohr, o elétron só emite energia em uma transição entre uma órbita de maior nível energético, ou maior raio, para outra de menor nível energético, de menor raio, e apenas nessas transições. Não há energia emitida durante o movimento circular do elétron em sua órbita.

Esse modelo teve grande sucesso e permitiu muitos dos primeiros grandes avanços da mecânica quântica. É baseado em três postulados, conhecidos como postulados de Bohr:

- O elétron pode se mover em determinadas órbitas, denominadas órbitas estacionárias ou estados estacionários, sem irradiar, ou seja, sem perder energia;
- As órbitas estacionárias são aquelas nas quais o momento angular do elétron em torno do núcleo é igual a um múltiplo inteiro de $h/2\pi$;
- O elétron irradia quando salta de um estado estacionário para outro mais interno, sendo a energia irradiada dada por $E = hf = E_{\text{inicial}} - E_{\text{final}}$;

onde h é a constante de Planck¹⁴, f é a frequência da radiação emitida e E a energia de um estado estacionário.

O modelo, ajustado com seus postulados, foi perfeitamente construído para dar conta de uma explicação física para os resultados empíricos das observações das linhas espectrais que foram descritos matematicamente com grande precisão pela fórmula de Rydberg. Foi elaborado exclusivamente com esse objetivo e não havia nenhuma explicação para o elétron não emitir energia enquanto orbitasse um estado estacionário.

A fórmula de Rydberg é a generalização de uma equação anterior, conhecida como equação de Balmer¹⁵. Em uma interessante discussão sobre a escolha da relatividade em lugar de CFL, e de suas respectivas ad hocidades, Elie Zahar comenta que:

“... enquanto Balmer meramente 'observou' que as linhas do hidrogênio obedeciam a certa fórmula, Bohr conectou essas linhas com os níveis de energia do elétron no átomo de hidrogênio” (Zahar, 1976, p. 217)¹⁶

As órbitas eletrônicas foram substituídas pelo conceito de orbitais, e o modelo atômico de Bohr não é mais a melhor descrição de átomo que temos na física. Entretanto, pela forma como esse modelo fornece uma imagem de átomo compatível com resultados empíricos e por todo o tempo em que permaneceu válido, podemos considerá-lo um modelo de muito sucesso e com caráter claramente ad hoc, por fornecer explicações específicas sem uma justificativa além dessas explicações.

¹⁴ $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s} = 4.14 \times 10^{-15} \text{ ev.s}$

¹⁵ Será especialmente comentada no capítulo “Perspectivas Futuras”.

¹⁶ No original: “... whereas Balmer merely 'observed' that the hydrogen lines obey a certain formula, Bohr connected these lines with the energy levels of the electron in the hydrogen atom”

3.6 ÉTER

Desde o início do pensamento científico, conceber o vazio, ou o nada, era algo que não parecia correto ou natural. Podemos perceber isso no famoso pensamento que diz “a natureza abomina o vácuo”¹⁷, atribuído a Aristóteles (384 a.C. – 322 a.C.).

Também podemos perceber a dificuldade intelectual de admitir o vazio na natureza pela dificuldade histórica da concepção do número zero. A forma como a álgebra passou a considerar zero um número é um tópico interessante da na História da Matemática. O zero só passou a ter o significado que possui para nós no século IX.

“Um sistema decimal, posicional plenamente desenvolvido certamente existia na Índia do século IX, ainda que suas ideias centrais tenham sido transmitidas bem antes desse tempo para a China e o mundo Islâmico. A aritmética indiana, além disso, desenvolveu regras consistentes e corretas para operar com números positivos e negativos e para o tratamento de zero como qualquer outro número, incluindo contextos problemáticos como divisão”¹⁸(Encyclopædia Britannica Online, s. v. “álgebra” 2015)

No que diz respeito a uma interpretação física do espaço, o caminho intelectual não foi diferente. Sempre buscamos conceber o espaço contendo algo, ou seja, evitando o vazio. Mesmo na física moderna, a energia do vácuo e a estrutura maleável do espaço-tempo podem ser vistos como forma de pensar o espaço como obrigatoriamente preenchido.

Assim, o espaço sempre precisou ser preenchido por algo para ser compreendido. Nos primeiros modelos, essa substância que preencheria todo o espaço recebeu o nome grego de éter¹⁹. Entre o período da Renascença até o aparecimento da gravitação clássica de Isaac Newton (1642/3-1726/7)²⁰, o éter fornecia a explicação para os movimentos planetários. A gravitação era explicada de forma mecânica, através da interação com o éter. Um importante modelo mecânico gravitacional é o de Descartes (1596-1650), segundo o qual, os objetos celestes executando rotações produziam vórtices no éter ao seu redor e esse vórtice arrastaria

¹⁷ Esse pensamento é conhecido na física e na filosofia como *Horror Vacui* ou *plenismo*.

¹⁸No Original: “A full-fledged decimal, positional system certainly existed in India by the 9th century, yet many of its central ideas had been transmitted well before that time to China and the Islamic world. Indian arithmetic, moreover, developed consistent and correct rules for operating with positive and negative numbers and for treating zero like any other number, even in problematic contexts such as division.”

¹⁹Do grego αἰθήρ, muitas vezes escrito também como *Æter*, *Aeter* ou, no inglês, *Ether*, *Æther* ou *Aether*.

²⁰Newton viveu durante um período em que dois calendários eram utilizados, o Juliano, já em desuso, e o Gregoriano, que utilizamos atualmente. Os dias do calendário Gregoriano eram adiantados em relação o Juliano, e dependendo do calendário que se considere, as datas de nascimento e falecimento de Isaac Newton caem em anos diferentes.

objetos situados ali. Isso explicava o movimento dos planetas ao redor do Sol e da Lua ao redor da Terra. A Figura 10 mostra uma ilustração do sistema de vórtices de éter de Descartes.

Uma outra concepção muito importante de éter surgiu no século XIX, o éter luminífero, que transportaria as ondas de luz pelo espaço. A identificação da luz como radiação eletromagnética caracterizada pela dualidade onda-partícula fazia com que um meio fosse necessário para transportar as ondas eletromagnéticas, antes da concepção de campo. E uma vez que a radiação transportava também energia, e isso acontecia através dos corpos, o éter deveria preencher não só o espaço mas também a matéria.

Um modelo nesses moldes foi desenvolvido por Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), que propôs um éter que permearia toda a matéria e espaço, não seria afetado pelos movimentos dos corpos, e ficou conhecido como éter de Fresnel. Esse modelo foi defendido por H. A. Lorentz para explicar a contração dos corpos na direção do movimento, como veremos na próxima sessão (Barros, Monte, Araújo, Oliveira, & Vieira, 2005).

O éter sempre foi colocado de maneira ad hoc, seja para explicar os movimentos dos corpos celestes que só podiam ser compreendidos através da interação com algum meio (a ideia de ação à distância só veio com Isaac Newton), seja para explicar o transporte das ondas de luz, que só poderia ser compreendido com um meio para transportá-las (a ideia de campo eletromagnético só veio com Maxwell [1831-1879]).

Além de explicitar seu caráter ad hoc, vale a pena comentar sobre o éter que apesar de nunca ter havido sucesso em sua comprovação, podemos dizer com total segurança que não é anticientífico pensar nele nos dias de hoje. Como já foi mencionando, a energia do vácuo relacionada ao aniquilamento de partículas e antipartículas constitui um elemento preenchedor do espaço. E o próprio espaço-tempo, postulado pela relatividade geral pode também ser visto como um éter, como foi reconhecido pelo próprio Einstein (“Einstein Relativity theory declares aether necessary!,”).

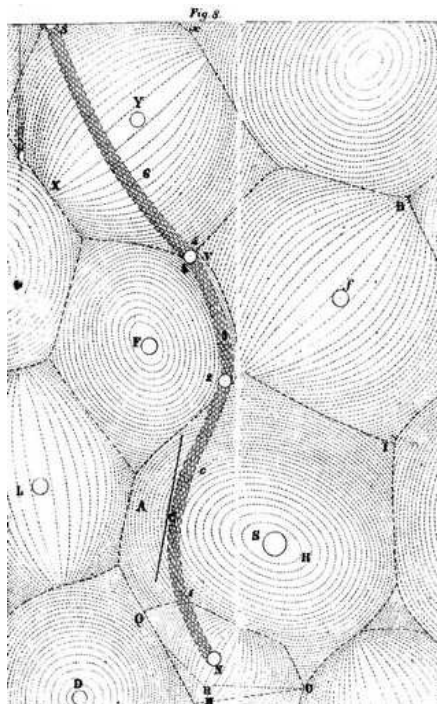


Figura 10 - Ilustração dos modelos dos vórtices de éter, de Descartes (Descartes, 1870)

3.7 CONTRAÇÃO DE FITZGERALD-LORENTZ

Uma famosa experiência foi realizada em 1887 por Michelson e Morley para verificar a existência do éter, através da detecção de seu movimento relativo em relação à Terra. O experimento buscava realizar a interferência de um raio de luz com ele mesmo em duas situações: o raio sendo emitido na direção do movimento em relação ao éter e na direção perpendicular à esse movimento. Isso foi feito tomando-se como referência o deslocamento da Terra em relação ao éter.

O resultado nulo do experimento foi erroneamente interpretado como uma prova da inexistência do éter, e ainda hoje é tido como o momento decisivo na História da Ciência em que, de uma vez por todas, o éter foi abolido. Uma análise um pouco mais profunda dos resultados do experimento mostram que essa interpretação não é correta, mas nos desviaria de nosso objetivo de pensar sobre hipóteses ad hoc.

Em 1889, na edição de 2 de maio da revista *Science*, foi publicada uma carta do físico irlandês George Francis FitzGerald (1851-1901) com o título “O Éter e a Atmosfera da Terra”(H. R. Brown, n.d.), onde ele propõe que a única forma de conciliar o resultado da experiência de Michelson e Morley com a existência do éter é uma mudança no tamanho dos

corpos na medida em que estes se movem através do éter. A mudança de tamanho dependeria do quadrado da razão de sua velocidade pela velocidade da luz. Pouco mais tarde, em 1892, sem ter tomado conhecimento da carta de FitzGerald, o alemão Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) chegou ao mesmo resultado.

A explicação para o resultado do experimento de Michelson e Morley entrou para a história da física como a hipótese da contração de FitzGerald-Lorentz. A explicação física para a contração se baseava em efeitos do movimento sobre as forças que mantêm as moléculas do corpo rígido em equilíbrio. Segue o trecho em que FitzGerald faz referência a esse efeito em sua carta à *Science* de 1889 (apud, Brown, n.d.):

“Sabemos que forças elétricas são afetadas pelo movimento de corpos eletrificados relativo ao éter e parece não ser uma suposição improvável que as forças moleculares sejam afetadas pelo movimento e que o tamanho do corpo se altere conseqüentemente.”

A explicação fornecida pela contração de FitzGerald-Lorentz foi suplantada pela teoria da relatividade especial, que mostra a contração do espaço e não supõe nenhum efeito do movimento sobre as forças intermoleculares num corpo em movimento. Ambas as teorias competiram por muito tempo, e a explicação fornecida pela relatividade saiu-se vencedora devido ao sucesso que essa teoria alcançou na explicação de outros fenômenos.

Enquanto a contração de FitzGerald-Lorentz foi proposta de modo ad hoc para explicar os resultados da experiência de Michelson e Morley, a relatividade especial explicou não apenas esses resultados mas também diversas outras questões. É importante notar aqui que o sucesso da explicação da relatividade para esse problema específico foi uma consequência de seu sucesso em outras áreas, e não de um embate teórico ou mesmo experimental relacionado especificamente ao experimento de Michelson e Morley.

A hipótese da contração de FitzGerald-Lorentz, bastante ad hoc²¹, competiu com nada mais, nada menos que a relatividade especial. Isso pode nos dar um vislumbre de que o fato

²¹ Eu concordo com o consenso a respeito da ad hocidade de CFL, mas uma outra visão, muito interessante, é dada em Zahar, 1976. Ele analisa a ad hocidade de CFL segundo uma abordagem indutivista, falseacionista e segundo o ponto de vista de Holton, que coloca CFL como ad hoc por não estar integrada com outros aspectos do sistema de Lorentz, como as equações de transformação. Mas Zahar define ad hocidade em relação à teoria e não à hipótese, o que foge do objetivo da discussão dessa tese: “Ad-hocness in research programmes is defined not as a property of an isolated hypothesis but as a relation between two consecutive theories” (p.216). Em seguida define três tipos de ad hocidades diferentes para concluir que CFL não é uma teoria ad hoc. Esse artigo merece uma discussão totalmente particular para se apontar as implicações em pensar ad hocidade em relação às hipóteses ou em relação às teorias.

de uma hipótese ser ad hoc não faz dela substituível automaticamente assim que uma outra hipótese não ad hoc surge.

3.8 BINARIDADE DE ETA-CARINA

Em 1996, Augusto Damineli publicou um artigo (Damineli, 1996) onde propôs que eta-Carinae deveria ser um sistema duplo de estrelas. Localizada na constelação da Carina e envolta por uma nebulosa de mesmo nome, eta-Carinae era classificada como uma variável do tipo *luminous blue variable* (LBV), cujo protótipo é a estrela S Doradus, na Grande Nuvem de Magalhães. São estrelas massivas que estão em um estágio de sua evolução em que passam por grande perda de material das camadas externas. Variáveis desse tipo mostram variações de brilho lentas e longas com ocasionais picos de emissão.

Damineli encontrou variações espectroscópicas nas linhas de He I associadas à curva de luz no infra vermelho próximo com uma periodicidade muito bem definida de 5.52 anos. Esse comportamento não é típico de uma S Doradus, mas pode ser compatível com um sistema duplo de estrelas. E ele propõe que um teste fosse feito em dezembro de 1997, ano seguinte à publicação do artigo, ou em janeiro de 1998. As observações foram feitas e o ciclo de 5.52 anos²² se confirmou.

Aqui podemos notar uma grande semelhança com PTU. Ambas as hipóteses foram propostas num cenário em que um teste era possível. Mas há um detalhe na diferença entre esses testes no que diz respeito à independência em relação às teorias para as quais as hipóteses foram propostas.

Enquanto o teste de PTU foi feito na óptica, uma área diferente da gravitação, o teste de BEC foi feito utilizando-se a espectroscopia, mesma área que levou à construção da hipótese. Mas, ainda assim, hoje já podemos pensar num teste para BEC completamente independente. Retornaremos a essa discussão sobre graus de ad hocidade.

3.9 NEUTRINOS

A radioatividade foi descoberta em 1896. Estudando a capacidade de produzir ionização e a penetração em materiais das emissões radioativas, em 1899, Ernest Rutherford

²² Em um outro trabalho posterior (Gull & Damineli, 2010), o período aparece como de 5.54 anos. Essa diferença de 0.02 unidades é perfeitamente desprezível e provavelmente associada a alguma precisão dos detectores utilizados.

(1791-1867) as classificou em dois tipos: alfa e beta. Estamos interessados aqui em relembrar um pouco da história do processo radioativo que produz emissões do tipo beta, o decaimento beta, que levou à proposta e posterior detecção do neutrino.

Henri Becquerel (1852-1908), o próprio descobridor da radioatividade, determinou em 1900 que a razão carga/massa das partículas emitidas no decaimento beta tinha exatamente o mesmo valor que a razão carga/massa do elétron. Becquerel propôs, assim, que as partículas emitidas eram elétrons.

Sabemos hoje que o decaimento beta produz a transformação de próton em nêutron ou de nêutron em próton no núcleo atômico. As primeiras observações que mostraram emissão de elétrons foram do que hoje chamamos de decaimento β^- . Observações posteriores mostraram também a emissão de pósitrons, no que ficou conhecido como decaimento β^+ . Os elétrons e pósitrons emitidos pelo decaimento são chamados partículas beta.

Mas medidas do espectro de energia cinética das partículas beta mostravam um contínuo, e não um valor definido. A energia esperada para a partícula emitida deveria ser igual à diferença entre a energia do estado inicial e a energia do estado final do núcleo, levando a um espectro com valores bem definidos, assim como é observado nos decaimentos alpha e gamma.

O espectro contínuo significava que as partículas beta eram emitidas com valores quaisquer de energia, diferentes da energia liberada pelo núcleo do átomo no decaimento. Além disso, havia também violação na conservação do momento (velocidade da emissão das partículas). Uma vez que o produto do decaimento beta fica dentro do núcleo, uma partícula sendo emitida violava a conservação de momento.

O problema da violação das leis de conservação no decaimento beta fez com que Niels Bohr propusesse uma versão estatística delas. Era como se as grandezas fossem conservadas apenas estatisticamente na natureza, e não individualmente. Mas uma outra solução foi proposta por Wolfgang Pauli (1900-1958) em 1930: o decaimento beta devia produzir uma outra partícula ainda não observada, emitida na direção oposta à partícula beta (para conservar o momento) e com a diferença de energia esperada.

Essa partícula não deveria ter carga e foi batizada por Pauli de nêutron. Mas em 1932, James Chadwick (1891-1974) descobriu uma partícula nuclear muito massiva e sem carga, que também foi chamada de nêutron. O problema foi resolvido por Enrico Fermi (1901-1954) que, no mesmo ano, referiu-se ao nêutron de Pauli como neutrino, cunhando, assim, o nome da partícula não observada no decaimento beta e que deveria dar conta da conservação de energia.

Um experimento para a detecção do neutrino só foi proposto em 1942 por Wang Ganchang (1907-1998), e a detecção foi efetivamente feita em 1956 por Frederick Reines (1918-1998), Clyde Cowan (1919-1974) e colegas. Um reconhecimento desse resultado foi feito através do prêmio nobel de física de 1958.

HN possui estágios bem definidos com relação à possibilidade de um teste. Quando foi proposta, em 1930, não havia um teste possível. A possibilidade de um teste veio em 1942 e o teste efetivamente feito em 1956. Esse detalhe será importante quando estivermos analisando a temporalidade das hipóteses ad hoc.

4 AD HOCIDADE EM RELAÇÃO À TEORIA

Em seu artigo de 1975 (Leplin, 1975), muito bem discutido por Hunt (Hunt, 2012), Leplin nos oferece um método para verificarmos se uma hipótese é ad hoc ou não. De acordo com esse método, uma hipótese H introduzida em conexão a uma teoria T como resposta a um resultado experimental E é ad hoc se, e somente se, cinco critérios forem satisfeitos.

O primeiro critério é a transcrição da mais básica e bem aceita característica de uma hipótese ad hoc: “(1) E é anômalo para T mas não para T suplementada por H”²³. Isso significa que H estabelece a adaptabilidade de T à E. Esse critério é inquestionável e necessário para uma hipótese que será classificada como ad hoc: CFL adaptou a teoria da existência do éter ao resultado nulo do experimento do interferômetro de Michelson e Morley; PTU adaptou a gravitação às observações de perturbações na órbita de Urano; CC adaptou os resultados das equações de campo da relatividade geral à ideia de Universo estático²⁴; ME adaptou a gravitação (clássica e relativística) à várias observações astronômicas em escala galáctica e extragaláctica.

O segundo critério de Leplin possui três subitens. Consideremos os dois primeiros:

“(2) E é evidência de H mas

- (a) nenhum resultado experimental diferente de E dá suporte a H;
- (b) H não tem nenhuma aplicação no domínio de T diferente de E.”²⁵

Os itens (a) e (b) desse segundo critério também são bastante populares na concepção comum de hipóteses ad hoc. Sobre eles, devo dizer que não me parece seguro afirmar que qualquer hipótese tenha apenas uma única aplicação dentro de uma teoria. Se H irá ou não encontrar no futuro outra aplicação em T além da explicação de E não está relacionado com o fato de H ter ou não ter sido proposta apenas para explicar E. Assim, isso não deve ser usado para classificar H como ad hoc ou não ad hoc.

Por exemplo, PTU deveria ser considerado por alguém que estivesse estudando órbitas cometárias. As aplicações da ME vão muito além das observações que levaram à sua

²³ Grünbaum(primeira nota de rodapé - Grunbaum, 1976) argumenta que o uso da palavra “supplemented”foi uma má escolha, porque ele vê algumas contradições na utilização do termo por Leplin.

²⁴ A relatividade geral foi desenvolvida antes da confirmação da existência de galáxias e da expansão do Universo. Voltaremos a esse assunto adiante.

²⁵ No original: “(2) E is evidence for H but (a)no available experimental results other than E support H; (b)H has no application to the domain of T apart from E;”

proposta. Hoje, a ME está nos fundamentos de nossa compreensão da formação e distribuição de galáxias.

Essa possível inabilidade de se aplicar uma hipótese ad hoc H no domínio de T, além de E, foi brilhantemente abordada por Greg Bamford (Bamford, 1999, pg. 380) e identificada por ele como “Falácia ad hoc”²⁶. Ele demonstra a popularidade desse argumento citando Grover Maxwell (Maxwell, 1974, pg. 298), que afirma que uma hipótese é “normalmente dita ser ad hoc a respeito de certo fato se e somente se explica apenas o fato em questão e nenhum outro” (apud Bamford, 1999), e W. V. Quine e J. S. Ullian (1980, 204) que afirmam que “o defeito de uma hipótese ad hoc” é que, no pior caso, ela “cobre apenas as observações para as quais foram inventadas para dar conta, de modo que são totalmente inúteis para previsões”²⁷ (apud Bamford, 1999).

Bamford termina esse capítulo de seu importante artigo de 1999 concluindo que “uma hipótese tal que, como dizem, explicou apenas o fato em questão ou cobriu apenas as observações para as quais foi criada para dar conta, não teria u nível de generalidade para explica sequer aquela fato ou mesmo aquelas observações. Mas a ideia de que pode existir tal hipótese é um produto da falácia ad hoc identificada acima.”²⁸ (apud Bamford, 1999).

Mesmo se uma aplicação além de adaptar T à E não seja clara no momento em que H se apresenta, é muito provável que outras aplicações aparecerão com o tempo.

Para ilustrar sua ideia, Bamford dá o seguinte exemplo:

“... se eu conjecturo que uma amiga está atrasada porque seu carro quebrou, eu tenho a intenção de explicar apenas porque ela ainda não chegou (como uma forma de preservar minha crença de que ela seja minimamente confiável). Mas, apesar de minhas intenções explanatórias, se essa conjectura é verdadeira e explica porque a amiga está atrasada, ela explicará também outros fatos, como como ela veio a conhecer um mecânico em outra parte da cidade ou porque ela tem manchas recentes de graxa nas mangas quando ela finalmente chegou.”²⁹(Bamford, 1999, pg. 381)

²⁶ *Ad-Hoc Fallacy* no original.

²⁷ No original: “the vice of an ad hoc hypothesis” e “covers only the observations it was invented to account for, so that it is totally useless in prediction.”.

²⁸ No original: “To conclude: a hypothesis which, so the story goes, explained only the fact in question or covered only the observations it was designed to account for would not have a sufficient leve of generality to explain even that fact or cover even those observations. But the very idea that there can be such a hypotheses is a product of the *ad hoc fallacy* identified above.”.

²⁹ No original: “... if I conjecture that a frien is running late because her car has broken down, I may intend only to explain why she has yet to arrive (in addition to preserving my belief that she is basically reliable). But whatever my explanatory intentions, if this conjecture is true and does explain why she is late, it will help to explain other facts besides, such as how she came to know a mechanic in another part of the town or why she had fresh grease stains on he sleeve when she finally did arrived.”.

5 SUPORTE TEÓRICO E O ALCANCE DA AD HOCIDADE

Outra importante e popular característica de uma hipótese ad hoc diz respeito à sua aparente carência de background científico. Isso foi apontado por Leplin ainda em seu segundo critério:

“(2) E é evidência de H mas
(c) H não possui suporte teórico independente;”³⁰

Esse subcritério (c) restringe as hipóteses ad hoc àquelas sem suporte teórico independente. Esse é uma restrição inadequada a menos que alguma gradabilidade seja considerada, como veremos adiante. Para resolver o problema da órbita de Urano, PTU foi utilizada, e não havia nenhum outro suporte para a existência PTU além das perturbações em Urano. Mas PTU veio de um terreno de conhecimento científico que poderia justificar sua plausibilidade. Uma vez que vivemos em um Sistema Solar onde planetas se formaram, e onde havia ao menos um planeta que apenas podia ser observado através de telescópios (Urano), havia, no final do século XIX, suporte científico para a hipótese da existência de um planeta ainda não observado. Isso dá suporte científico à proposta de PTU e a PIM. Um cenário completamente diferente envolve MENB, que não possuía nenhum fundamento científico que a justificasse antes de sua proposta.

Em vez de pensar em termos de suporte teórico, vamos utilizar uma variação desse critério, baseado no senso de *background* científico, no momento em que estivermos estabelecendo o grau de ad hocidade de uma hipótese.

Os terceiro e quarto critérios de Leplin são bastante básicos e apenas garantem que H se justifica em T: “(3) Não há base suficiente para sustentar que H seja verdadeira nem que H seja falsa;”, “(4) H é consistente com a teoria aceita e com as proposições essenciais de T;”.

Se, no terceiro critério, houvesse justificativa suficiente anterior para H ser tida como verdadeira, ela não seria ad hoc. Se houvesse justificativa suficiente anterior ser tida como false, H não seria uma hipótese considerável. O quarto critério garante que H salvará T da falsificação, frente à E, mas não criará outros problemas para T, independente de E.

Como levaremos em conta apenas hipóteses que não foram confirmadas ou

³⁰ No original: “(c) H has no independent theoretical support”

falsificadas, o item (3) parece redundante e pode ser deixado de fora. O item (4) é importante para garantir consistência entre H e T.

A ad hocidade é algo relacionado com a hipótese H e sua relação entre uma teoria T em particular e um resultado experimental E. Assim, devemos identificar e classificar a ad hocidade utilizando principalmente esses três elementos. Já temos a questão do suporte teórico ou background científico de H, que não leva em conta T ou E. Qualquer outra característica externa acrescentará desnecessária complicação.

Vamos dar uma olhada no quinto critério de Leplin que, como o segundo, tem três sub itens:

“(5) Existem outros problemas além de E frente à T para os quais existe boa razão para sustentar que estejam relacionados com E nos seguintes termos:

- (a) esses problemas juntos com E indicam que T é não-fundamental;
- (b) nenhum desses problemas, incluindo E, podem ser satisfatoriamente resolvidos a menos que a não-fundamentalidade seja removida;
- (c) uma solução satisfatória para qualquer um desses problemas, incluindo E, deve contribuir para a solução de outros.”³¹

Como Hunt destaca com muita sagacidade (Hunt, 2012, pg. 10), uma certa carga de ad hocidade cai sobre os ombros da não-fundamentalidade da teoria, de acordo com o quinto critério de Leplin.

Esse critério me parece inapropriado, porque coloca parte da ad hocidade em algo fora da hipótese e de sua relação com a teoria e a observação. A classificação da ad hocidade deve ser feita levando-se exclusivamente a hipótese e sua relação com a teoria e com a observação para a qual foi criada.

³¹ No original: “(5) There are problems other than E confronting it which there is good reason to hold are connected with E in the following respects : (a) these problems together with E indicate that T is non-fundamental, (b) none of these problems including E can be satisfactorily solved unless this non-fundamentality is removed, (c) a satisfactory solution to any of these problems including E must contribute to the solution of the others.”

6 NOVOS CRITÉRIOS

Revedo os critérios de Leplin (Leplin, 1975) com a análise se Hunt (Hunt, 2012), identificando a falácia ad hoc destacada por Bamford (Bamford, 1999) e mantendo a temporalidade e uma futura gradabilidade em mente, podemos reescrever esses critérios chaves que irão identificar uma hipótese como ad hoc:

Uma hipótese H, criada especificamente para adequar uma teoria T a um resultado experimental E será ad hoc se e somente se:

- [1] E não pode explicada por T, mas pode ser explicada por T+H;**
- [2] H ainda não foi independentemente verificada, falsificada, ou substituída por outra explicação falseável;**
- [3] H é consistente com todas as proposições de T.**

O primeiro dos três critérios é a definição básica de ad hocidade, como o primeiro critério de Leplin. O segundo critério garante que H seja uma hipótese plausível, não falsificada, e carente de verificabilidade fora da teoria para a qual foi proposta. Escrito dessa maneira o critério também estabelece que H permaneça válida na ausência de uma melhor alternativa para adequar T à E. Esse é similar ao terceiro critério de Leplin, mas estamos acrescentando um elemento de tempo, assumindo que H pode ser ad hoc no momento de sua proposição e deixar de sê-lo mais tarde, se qualquer caracterização de erro como foi apontado por Hunt (Hunt, 2012). O último critério garante que H resolve o problema da inadequação de T à E sem criar outros problemas para T, como no quarto critério de Leplin.

Esse três critérios são suficientes para identificar uma hipótese como ad hoc. Em vez de complicar essa identificação, qualquer outra questão deve ser usada para definir graus de ad hocidade.

Esses três simples critérios respondem à questão “Essa hipótese é ad hoc?”. Agora vamos perguntar quão ad hoc uma hipótese é ad hoc.

6.1 APLICANDO TEMPORALIDADE E GRADABILIDADE

Bamford nos fornece um exemplo de como a dificuldade em classificar uma hipótese ad-hoc está associada com a falta de desenvolvimento da noção de gradabilidade: “Popper sugere admiravelmente poucos exemplos de hipóteses ad hoc.³² Ele (1975, 83) uma vez disse que a hipótese da contração de Lorentz-FitzGerald era ad hoc, apesar de mais tarde ter aceitado que não era, ele ainda sugere que talvez essa hipótese ilustre 'graus de ad hocidade'.³³ (Bamford, 1999, p.377)

É necessário estabelecer como graduar a ad hocidade de uma hipótese ad hoc. Uma vez identificada a hipótese como ad hoc, vamos verificar o quanto ad hoc ela é. Veremos que tal gradabilidade só faz sentido levando-se em conta fatores que mudam com o tempo, de modo que nosso sistema de gradabilidade deve ter englobado em si uma temporalidade.

Leplin nos fornece um vislumbre da importância do contexto temporal na classificação de uma hipótese quando escreve(Leplin, 1975, I):

“A aceitação da relatividade em preferência à teoria de Lorentz [i.e. CFL] é prontamente compreensível a partir de uma perspectiva contemporânea. Mas com que argumentos poderia um físico defender esse decisão durante o período da disputa?”³⁴

A pergunta de Leplin expõe não apenas a necessidade por uma forma de classificar uma hipótese como ad hoc ou não ad hoc, mas também destaca a dificuldade de classificação, especialmente por cientistas envolvidos com a hipótese no momento em que ela aparece. Ele toca nesse ponto novamente em outro artigo(Leplin, 1982). Essa dificuldade pode ser ultrapassada assumindo que o grau de ad hocidade atribuída a uma hipótese pode mudar com o tempo.

³² Bamford chama de *ad hoc_p* a definição de Popper (1974, p.986), de acordo com a qual uma conjectura é ad hoc “se é introduzida... para explicar uma dificuldade em particular, mas... não pode ser testada independentemente”. No original: “if it is introduced... to explain a particular difficulty, but... *cannot be tested independently*”(apud Bamford, 1999, p.375)

³³ No original: “Popper suggests surprisingly few examples of ad hoc_p hypotheses. He (1975, 83) once claimed the Lorentz-Fitzgerald contraction hypothesis was ad hoc_p, and although he later accepted that it was not, he still suggested that perhaps this hypothesis illustrates 'degrees of ad hocness'”

³⁴ No original: “The acceptance of relativity in preference to the Lorentz theory [i.e. FLC] is readily understandable from a contemporary perspective. But with what arguments could a physicist defend this decision during their period of rivalry?”

Nesse ponto, já sabemos se uma hipótese é ad hoc ou não, então, não buscamos mais critérios eliminatórios. O que procuramos agora é uma forma de medir até que grau uma hipótese ad hoc é ad hoc.

Uma boa maneira de fazer isso é estabelecermos questões booleanas, cujas respostas nos fornecerão uma gradação de ad hocidade. Peguemos como ponto de partida os critérios de Leplin que deixamos de lado no momento de identificar se uma hipótese é ad hoc.

O primeiro item do segundo critério de Leplin se relaciona com a extensão da aplicabilidade de H. Com o conceito da falácia ad hoc em mente, somos levados a considerar que provavelmente haverá outras aplicações para H além de adequar T à E. Uma vez que uma nova aplicação pode não aparecer imediatamente, novamente, a noção de temporalidade aparece claramente. Dessa forma, se queremos questionar a extensão da aplicabilidade de H em T, isso deve ser feito em um tempo bem específico.

Levando em conta a extensão de H em T, podemos produzir o primeiro critério de gradabilidade considerando que se apenas uma aplicabilidade existe no momento para H em T (a explicação de E), então H é mais ad hoc que H', se H' possui outras implicações em T. O primeiro critério de gradabilidade pode ser escrito como:

[4] Existe alguma outra aplicação imediata de H em T além de E

Utilizaremos uma adaptação do terceiro item do segundo critério de Leplin para verificar se H possui alguma justificativa de existência for a de T. Aqui, é mais conveniente usarmos uma expressão mais subjetiva que “suporte independente” porque nos referimos ao suporte de H em T, não à plausibilidade de H. Não encontraremos nenhum suporte para a relação entre H e T for a (independentemente) de T se H não foi independentemente testada.

Mas podemos pensar na plausibilidade de H independente de T. Como vimos, PTU era perfeitamente plausível, considerando a possibilidade de mais planetas no Sistema Solar. Da mesma forma, uma vez que a energia emitida pelo decaimento nuclear já era compreendida como sendo transportada por partículas subatômicas, HN encontrou justificativa for a da explicação do espectro contínuo de elétrons emitidos no decaimento beta.

Entretanto, não havia qualquer suporte para a ideia de que forças intermoleculares da matéria tinham alguma interação com o éter no momento d proposição da CFL. Da mesma forma, a muito importante MENB, essência para para nossa cosmologia moderna, não encontra qualquer justificativa for a da cosmologia.

Assim, como segundo critério de gradabilidade, testamos o seguinte:

[5] H possui alguma justificativa independentemente de T

Finalmente, precisamos levar em conta a testabilidade de T. O critério [2] garante que H não foi testada independentemente, então o que precisa ser analisado agora é a testabilidade, e duas possibilidades aparecem: um teste é possível com a tecnologia existente ou com o desenvolvimento de alguma tecnologia existente, ou nenhum teste pode ser concebido, nem mesmo com o desenvolvimento de alguma tecnologia existente.

Exemplos de consequências de desenvolvimentos tecnológicos que permitem testar novas hipóteses são as energias alcançadas nos aceleradores de partículas e a definição de imagens astronômicas obtidas por telescópios.

PTU é um exemplo onde um teste independente³⁵ era possível com a tecnologia existente no momento de sua proposição. O tempo entre a proposta de PTU e sua verificação foi o tempo necessário para calcular a posição do novo planeta, apontar o telescópio e comparar a imagem com uma imagem previamente desenhada da mesma área do céu. Da mesma forma, BEC foi uma hipótese que nasceu com a habilidade de ser testada. Do outro lado do espectro, temos MENB, onde um teste para detectar matéria não bariônica que não interage eletromagneticamente com a matéria ordinária não pode ser concebido nem mesmo com o avanço de qualquer tecnologia existente. Dessa forma, o último critério de gradabilidade pode ser escrito como:

[6] Existe uma proposta de teste independente para H com alguma tecnologia existente ou com a melhoria de alguma tecnologia existente

Em outras palavras, a ausência de um teste independente pode existir porque um teste pode ser concebido mas não realizado, porque existe a necessidade do desenvolvimento de alguma tecnologia existente para realizar o teste, ou porque um teste não pode ser sequer concebido.

Se Netuno não pudesse ser visto com os telescópios de 1846, ainda seria possível constantemente melhorar a tecnologia existente dos telescópios até sermos capazes de observá-lo, e PTU permaneceria como uma hipótese com a promessa de uma testabilidade independente. Por outro lado, no que diz respeito à MENB, não temos qualquer tecnologia hoje que possa ser melhorada para realizar um teste não gravitacional para detectar um tipo

³⁵ Por favor, verifique nas *Considerações Finais* uma discussão mais detalhada sobre o teste independente de PTU.

peculiar de matéria que apenas interage com a matéria comum através da gravidade. Deve ser levado em conta para se determinar o grau de ad hocidade se um teste pode ser concebido mas não realizado, ou se o teste não pode sequer ser concebido.

Utilizando esses seis critérios, podemos ter uma visualização clara da ad hocidade ou da não ad hocidade de uma hipótese em particular. Vamos ver como podemos aplicá-los a alguns dos exemplos de hipóteses com os quais estamos trabalhando.

7 ALGUMAS AD HOCIDADES

Todas as teorias mencionadas e discutidas nessa tese atendem aos três primeiros critérios eliminatórios de ad hocidade. Vamos ver como elas se relacionam com os outros critérios classificatórios.

Para obter um resultado quantificado, podemos associar valor 0 para respostas positivas e 1 para negativas, estabelecendo uma escala simples de ad hocidade.

CFL não tem nenhuma aplicação além de explicar a contração de um corpo na direção do movimento, não existia nenhuma justificativa para uma interação eletromagnética entre éter e matéria, e não era possível testar independentemente tal interação nem no tempo da proposição da hipótese, nem com o desenvolvimento de qualquer tecnologia existente na época. Seu índice de ad hocidade, quando foi proposta, seria 3. A hipótese foi abandonada com o tempo, devido ao sucesso da relatividade geral, então, ela não mais atende ao critério [2] da fase de eliminação. Ao contrário de outros exemplos de hipóteses ad hoc, CFL não foi falsificada, foi abandonada em favor de uma teoria melhor.

HN não tinha nenhuma aplicação além da explicação para o desbalanço energético dos decaimentos beta. A constituição do átomo e as emissões atômicas já eram entendidas em termos de energia sendo transportadas por partículas. Era, dessa forma, justificável utilizar uma partícula ainda não detectada como a transportadora da energia perdida. Um teste foi proposto apenas 12 anos após o aparecimento da hipótese e a detecção do neutrino foi feita 14 anos após. Então, o índice de ad hocidade de HN seria 2 quando foi proposta, 1 quando o primeiro teste foi proposto e zero (deixa de ser ad hoc) quando o neutrino foi detectado.

PTU não teve nenhuma implicação para a gravitação newtoniana aplicada ao Sistema Solar além de explicar as perturbações na órbita de Urano. Evidentemente, as implicações de PTU mudam quando a influência gravitacional de Netuno é considerada na interação com outros objetos, como cometas. Mas na época de sua proposição, PTU responde negativamente ao critério [4].

Como foi discutido, era justificável imaginar a existência de outro planeta mais distante que Urano, baseando-se no fato de que planetas se formaram e que ao menos um estava distante o suficiente para ser observado apenas com telescópios. A resposta ao último critério é positiva porque um teste era perfeitamente possível usando um telescópio, que já existia por mais de 200 anos antes de PTU. Temos então índice 1 para PTU no momento de

sua criação. Depois da observação de Netuno através de um telescópio, PTU não atende mais ao critério [2] e deixa de ser uma hipótese ad hoc.

PIM é semelhante a PTU em vários aspectos, exceto em que a hipótese não foi confirmada e abandonada em favor de uma melhor explicação, como aconteceu com CFL. A precessão do periélio de Mercúrio é entendida hoje em termos da relatividade geral. Assim, o grau de ad hocidade de PIM era 1 quando foi proposta, e o consequente abandono devido a uma melhor explicação pela relatividade geral eliminou sua utilização.

CC é um caso interessante de hipótese ad hoc na física teórica. É também particularmente notável porque foi abandonada e recentemente reabilitada como uma descrição dos efeitos da energia escura. Quando Einstein introduziu CC, era possível testar a dinâmica do Universo, através da velocidade de recessão das estrelas. Como a velocidade de recessão das estrelas é suplantada por seu movimento próprio, nenhuma expansão ou contração do Universo foi detectada. O aparecimento de constantes em equações é normal, o que pode ser tido como uma justificativa externa para a existência de CC.

Assim, CC teria índice 2 quando foi proposta e índice 0 quando a expansão do Universo foi detectada. Recentemente, a expansão acelerada fez de CC novamente uma hipótese ad hoc considerável e, novamente, com índice 2. A presença e importância de CC no cenário da cosmologia moderna pode ser vista nesse trecho de Norbert Straumann já citado no capítulo 3.4 (Straumann, 2002, p.2):

“O mais simples candidato para essa exótica densidade de energia é um termo cosmológico nas equações de campo de Einstein, uma possibilidade que vem sendo considerada durante toda a história da cosmologia relativística”

MENB, quando foi proposta, não tinha nenhuma aplicação além de conciliar a gravitação com observações astronômicas, não tinha qualquer razão para existir fora da teoria para a qual foi proposta e não havia nenhum teste direto independente. Isso nos dá um índice de ad hocidade 3 no tempo de sua proposta. Entretanto, o sucesso dessa hipótese e o desenvolvimento da cosmologia forneceu aplicações para MENB além da explicação para observações atuais.

BEC foi proposta em 1996 com um possível teste para os próximos anos. Havia justificativas para sua existência porque existem estrelas variáveis binárias no Universo. Essa hipótese tem um índice inicial de ad hocidade 1 e continua com índice 1, porque o teste não foi feito independentemente, mas através de fotometria e espectroscopia, as mesmas teorias

que levaram à sua proposta. Talvez, um teste envolvendo ondas gravitacionais possa derrubar seu índice para zero no futuro.

O exemplo histórico de EE é difícil de classificar devido às bases científicas da época. Se considerarmos a ideia aristotélica dos movimentos celestes como obrigatoriamente circulares como justificativa para a proposta de EE, então essa hipótese tem um índice de ad hocidade 2. Por outro lado, o modelo aristotélico colocava a terra no centro do Universo, o que não era o caso no modelo ptolomaico. Então, talvez a influência aristotélica não é uma boa justificção para EE, o que nos daria um índice 3. Essa hipótese foi definitivamente refutada pelas observações telescópicas, um tecnologia impensável na época da proposta de EE³⁶.

Esses critérios de ad hocidade podem ser expandidos e aplicados a quaisquer outras hipóteses da história ou novas que possam surgir. Acredito que um refinamento seja possível nos três critérios classificatórios, enquanto os outros três primeiros, eliminatórios, devem permanecer como estão, simples e diretos.

³⁶ Considerei EE aqui como a robusta matematização do modelo de Ptolomeu, mas deve ser notado que a ideia original veio de Apollonius de Perga, na Grécia antiga. Isso não afeta seu grau de ad hocidade.

Aqui está uma tabela que resume as análises feitas nesse capítulo.

	[1] E não pode explicada por T, mas pode ser explicada por T+H	[2] H ainda não foi independentemente verificada, falsificada, ou substituída por outra explicação falseável;	[3] H é consistente com todas as proposições de T.	[4] Existe alguma outra aplicação imediata de H em T além de E	[5] H possui alguma justificativa independentemente de T	[6] Existe uma proposta de teste independente para H com alguma tecnologia existente ou com a melhoria de alguma tecnologia existente	Índice de Ad hocidade
CFL (Durante debate com relatividade)	S	S	S	1	1	1	3
CFL (após a substituição pela relatividade)	S	N	-	-	-	-	-
PTU (Antes da observação de Netuno)	S	S	S	1	0	0	1
PTU (Após a observação de Netuno)	S	N	-	-	-	-	-
PIM	S	S	S	1	0	0	1
CC (Em sua proposta por Einstein e em seu retorno na cosmologia moderna)	S	S	S	1	0	1	2
MENB (Quando foi proposta)	S	S	S	1	1	1	3
MENB (Atualmente)	S	S	S	0	1	1	2
BEC	S	S	S	1	0	0	1
EP	S	S	S	1	0/1	1	02/03/16

8 CONCLUSÃO

A maneira como vemos todos os elementos da Ciência – hipóteses, teoria e modelos – muda com o tempo. Não faz nenhum sentido atribuir um valor atemporal a qualquer desses elementos porque, examinando a História da Ciência, sempre veremos as flutuações que podem ocorrer desde o tempo de sua proposta até a refutação verificação ou substituição por algo melhor. E, mais que isso, não podemos impedir que uma hipótese abandonada seja considerada novamente num tempo futuro.

Acredito que muito da complicação em se definir uma hipótese ad hoc venha da noção que tais hipóteses são artificiais ou inapropriadas. O impulso de classificar o menor número possível de hipóteses científicas como ad hoc apenas traz mais complicação para o problema. Parece mais apropriado substituir essa noção por considerar as hipóteses ad hoc como as que precisam ser testadas mais urgentemente. Essa urgência não sugere uma indesejabilidade da hipótese ou qualquer característica anticientífica nela.

O sistema de classificação proposto sugere que qualquer hipótese criada exclusivamente para adequar a uma teoria a um resultado experimental e onde um teste independente não foi realizado, terá algum grau de ad hocidade.

Todas as discussões sobre hipóteses ad hoc na literatura nos mostram nas entrelinhas que não é possível considerar o assunto de uma perspectiva estritamente objetiva. Algumas das respostas para os três critérios classificatórios podem ser objetos de discussão, ainda assim, eu acredito que o modelo de classificação possa servir como uma base para jogar mais luz sobre a questão.

A busca por um ranqueamento absoluto e independente do tempo para as hipóteses, evidente da frase Hunt quando ele diz que se uma hipótese “foi” ad hoc e não é mais, ela foi “ilegitimamente classificada”(Hunt, 2012, p.13), também é um fator complexificante. Sua conclusão sobre a segurança e falta de sentido em se procurar uma definição de hipótese ad hoc parece ter sido resultado de não se levar em conta a natureza temporal da classificação. Introduzir explicitamente a natureza temporal da mudança de classificação no tempo, e um sistema de classificação, permite uma nova perspectiva para se olhar a questão da identificação e classificação de hipóteses ad hoc.

É importante fazer uma nota especial com relação à PTU. Considerado uma hipótese ad hoc clássica, PTU é visto na literatura como exemplo de uma hipótese que não é independentemente testável. É importante notar que o teste de Netuno não foi realizado pelos

cálculos de Urbain Le Verrier ou John Couch Adams, aqueles que, independentemente, encontraram a posição do planeta invisível. Ambos realizaram cálculos que estavam mostrando a localização de um hipotético planeta. O teste não foi feito, ainda, apontando-se o telescópio, o que levou em conta tais cálculos, mas pela aquisição da imagem. Quando foi feita a comparação entre a imagem mostrada pelo telescópio e um desenho previamente feito daquela mesma região do céu, tivemos um teste.

A previsão foi feita pela gravitação, mas o teste pela óptica, então, um teste completamente independente. Um cenário totalmente diferente é evidente em BEC, onde houve uma previsão, mas um teste independente da fotometria e espectroscopia não é possível.

Durante toda a pesquisa para esse tese, não pude evitar ter minha atenção alertada por alguns detalhes que acho importantes para a **Comunicação Científica**, principal trabalho que exerço no Planetário do Rio de Janeiro. Pesquisando sobre os desdobramentos de PX, achei notável a quantidade de textos sensacionalistas disponíveis propondo uma relação entre a morte de R. S. Harrington e sua suposta descoberta do Planeta X, algo que deveria ser escondido da população pelo governo americano, pelos cientistas e por mais outros grupos que estariam evitando consequências socioeconômicas em escala mundial³⁷.

Em minha opinião, isso retrata uma falda de compreensão por parte das pessoas que atuam fora do ambiente científico à cerca do funcionamento da ciência. Esses textos mostram que ainda existe uma predominância de uma visão renascentista do fazer científico, onde uma única pessoa pode fazer uma experiência ou observação que resultará em algo revolucionário. Mostrar que esse não é mais o funcionamento da ciência é uma das tarefas mais importantes da Comunicação Científica, e deve ser observada com cuidado por cientistas que trabalhem em centros de ciência, Planetários, etc.

Por fim, quando a ciência precisa de uma hipótese ad hoc, ela deve ser identificada e classificada, não relegada como algo indesejável *a priori*. O sistema de classificação proposto aqui pode ser melhorado e refinado. Seu propósito é oferecer uma tradução mais tangível de *hipótese ad hoc*, uma antiga, constantemente utilizada e, até agora, controversa expressão da ciência e da filosofia da ciência.

³⁷ Não colocarei aqui o exemplo de alguma referência para não fazer divulgação de textos anticientíficos e porque esses exemplos são realmente muito fáceis de se encontrar, ao menos em português e em inglês.

9 PERSPECTIVAS FUTURAS: AD HOCS HEURÍSTICAS

Durante as últimas etapas da pesquisa para essa tese, verificamos que algumas das hipóteses que consideramos para estudo também deveriam estar no grupo das hipóteses ad hoc, apesar de possuírem uma característica (e apenas uma) que torna sua classificação e determinação de ad hocidade algo que necessita um método bastante diferente. Seguem alguns exemplos dessas hipóteses com as quais trabalharemos após a defesa dessa tese, e que chamamos de *hipóteses ad hocs heurísticas*³⁸.

Em 1885, o matemático suíço Johann Jakob Balmer (1825-1898) desenvolveu uma equação que previa a posição das linhas visíveis do espectro de hidrogênio. Sua equação, conhecida como equação de Balmer, previa a posição das linhas correspondentes às transições eletrônicas entre órbitas de número quântico principal maior ou igual a três e a órbita de número quântico principal igual a dois.

As transições são nomeadas sequencialmente utilizando-se o símbolo do hidrogênio atômico alfabeto grego: a transição entre a órbita de número quântico principal 2 e a órbita de número quântico principal 3 chama-se H- α ³⁹, entre a órbita de número quântico principal 4 chama-se H- β , entre a órbita 5, H- γ , etc.

Três anos depois, em 1888, o físico Johannes Robert Rydberg (1854-1919) trabalhando com o inverso do comprimento de onda, uma grandeza denominada número de onda, desenvolveu um trabalho que acabou sendo uma generalização da equação de Balmer. A equação de Balmer era um caso especial da equação de Rydberg, que dava conta de um espectro muito maior de transições eletrônicas.

A equação de Balmer foi uma hipótese matemática empírica, sem uma teoria por trás. Mesmo sua generalização fornecida por Rydberg é também um trabalho matemático que teve por base resultados experimentais, não possuem um teoria em que se basearam.

De forma muito semelhante, em 1766, Johann Daniel Titius (1729-1796) percebeu que havia uma progressão geométrica que resultava na posição dos planetas conhecidos na época (Urano e Netuno não haviam sido descobertos). A ideia foi reformulada em 1772 por Johann Elert Bode (1747-1826) ficando conhecida como a Lei de Titius-Bode (Graner & Dubrulle, 1994)

³⁸ Esse nome, que considero excelente e resume toda a principal ideias sobre esse tipo de hipóteses, foi dado pelo meu orientador Prof. Dr. Carlos B. G. Koehler.

³⁹ A linha correspondente à transição H- α é particularmente importante para a Astronomia, e fundamental para se mapear a distribuição de hidrogênio em uma determinada região.

A lei, extremamente simples, pode ser enunciada como $a' = 4 + n$, onde a' é igual a dez vezes a extensão do semieixo maior da órbita de um objeto em unidades astronômicas e $n = 0, 3, 6, 12, 24, 48, \dots$. Uma outra forma de enunciar a lei, que utiliza uma sequência direta e permite obtermos o valor do semieixo diretamente em unidades astronômicas, é $a = 0.4 + 0.3 \cdot m$, onde $m = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ e a é o valor do semieixo da órbita correspondente em unidades astronômicas.

Na época de sua criação, a progressão apontava ainda para um planeta não encontrado entre Marte e Júpiter, na região onde hoje reconhecemos o Cinturão de Asteroides. Após descoberta de Urano por William Herschel em 1781, a uma distância satisfatoriamente predita pela Lei de Titus-Bode estendendo-se a sequência para além do último planeta conhecido, Saturno, a atenção da comunidade científica foi despertada com especial interesse para aquela lei empírica. Um grupo de 24 astrônomos foi montado para se buscar o planeta que deveria existir entre Marte e Júpiter. Antes de receber o convite para participar da pesquisa, Giuseppe Piazzi(1746-18826) descobriu Ceres em 1801, atualmente, planeta anão.

Abaixo está uma tabela com os resultados modernos

Objeto	m	Semi-eixo maior por Titius Bode (UA)	Semi-eixo aceito atualmente (UA)
Mercúrio	0	0.4	0.39
Vênus	1	0.7	0.72
Terra	2	1.0	1.00
Marte	3	1.6	1.52
Ceres	4	2.8	2.77
Júpiter	5	5.2	5.22
Saturno	6	10.0	9.54
Urano	7	19.6	19.2
Netuno	8	38.8	30.06

Esses foram exemplos de leis empíricas criadas exclusivamente para dar conta muito especificamente de uma observação, por tanto, ad hocs, mas que possuem uma diferença crucial para todas as outras hipóteses tratadas nessa tese: não possuem uma teoria para a qual foram criadas.

Ainda que possamos ver na busca por um série que explique as linhas espectrais ou a posição dos planetas no Sistema Solar uma clara busca por alguma harmonia inerente à natureza, essas hipóteses não foram criadas para salvar uma teoria preexistente. A busca (ou crença) em uma harmonia ou em simetrias por trás de todas as leis da natureza foi um grande

motivador de diversas pesquisas científicas, mas me parece que não podem ser colocadas para essas leis empíricas assim como teorias são colocadas para suas possíveis hipóteses ad hoc.

Dessa forma, todo o trabalho de identificação e classificação deve seguir um outro caminho para tratar dessas hipóteses que, por seu caráter independente, decidimos chamá-las de hipóteses ad hoc eurísticas. Certamente encontraremos também a necessidade de estabelecer critérios que nos indiquem diferentes graus de ad hocidade.

Essa breve introdução histórica já nos mostra que, as ad hocs heurísticas também possuíram desdobramentos importantes e promoveram o aumento do conhecimento. Titius-Bode incentivou um programa de pesquisa que resultou na descoberta do primeiro objeto do Cinturão de Asteroides, e as séries das linhas espectrais e a fórmula de Rydberg foram fundamentais no primeiro formalismo da mecânica quântica. As leis de Kepler, que também surgiram motivadas pela busca por uma estética universal, talvez se enquadre nas hipóteses ad hoc eurísticas, ou, pelo menos tenha algum grau de ad hocidade.

As ideias apresentadas nessa tese se estenderão para criar uma outra análise das ad hocs heurísticas, formando, certamente, um outro grupo bastante característico de hipóteses ad hoc.

REFERÊNCIAS

- ARIEW, R. The Duhem Thesis. **The British Journal for the Philosophy of Science**, Aberdeen, v. 35, n. 4, p. 313-325, 1984.
- AUSTIN, J. L. **Philosophical Papers**. 3 ed. Oxford: Oxford University Press, 1979.
- BAMFORD, G. What is the problem of Ad Hoc Hypotheses? **Science & Education**, Dordrecht, v. 8, n. 4, p. 375-386, 1999.
- BARROS, A. et al. Sobre a contração de Lorentz-Fitzgerald. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 621-623, 2005.
- BROWN, H. R. The origins of length contraction: I. The FitzGerald-Lorentz deformation hypothesis. **American Journal of Physics**, New York, v. 69, n. 10, 2001.
- BROWN, M. E. et al. Direct Measurement of the Size of 2003 UB313 from the Hubble Space Telescope. **The Astrophysical Journal Letters**, Bristol, v. 643, n. 1, p. L61-L63, 2006.
- BROWNE, M. W. **Evidence for Planet X Evaporates in Spotlight of New Research**. 1993. Disponível em: <<http://www.nytimes.com/1993/06/01/science/evidence-for-planet-x-evaporates-in-spotlight-of-new-research.html>>. Acesso em: 17 fev. 2015.
- BROGAARD, B. Adhocery in Epistemology. **Philosophical Papers**, [S.l.], v. 32, n. 1, p. 65-82, 2003.
- CAMPOS, J. A. S. de. Vulcano: desejo ou realidade. In: CONGRESSO DE HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS E DAS TÉCNICAS E EPISTEMOLOGIA, 1., 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** [S.l.: s. n.], 2008.
- CORRY, Leo. **Algebra**. Disponível em: <<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/14885/algebra/230960/Diophantus#toc231064>>. Acesso em: 18 fev. 2015.
- DAMINELI, A. The 5.52 Year Cycle of Eta Carinae. **The Astrophysical Journal Letters**, Bristol, v. 460, n. 1, p. 49-52, 1996.
- DESCARTES, R. **Volltext Philosophie: René Descartes' philosophische Werke**. 1870. Disponível em: <<http://www.zeno.org/nid/20009161244>>. Acesso em: 18 fev. 2015.
- EINSTEIN RELATIVITY THEORY DECLARES AETHER NECESSARY! 2006. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=yH9vAIdMqng>>. Acesso em: 19 fev. 2015.
- GLASS, D. J.; HALL, N. A brief history of the hypothesis. **Cell**, Cambridge, v. 134, n. 3, p. 378-381, 2008.
- GRANER, F.; DUBRULLE, B. Titius-Bode laws in the solar system: I. Scale invariance explains everything. **Astronomy and Astrophysics**, Les Ulis, v. 282, n. 1, p. 262-268, 1994.

GRUNBAUM, A. Ad Hoc auxiliary hypotheses and falsificationism. **The British Journal for the Philosophy of Science**, Aberdeen, v. 27, n. 4, p. 329-362, 1976.

GULL, T. R.; DAMINELI, A. **Eta Carinae in the context of the most massive stars**. 2009. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/0910.3158.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2015.

HARRINGTON, R. S. The location of Planet X. **The Astronomical Journal**, Woodbury, v. 96, n. 4, p. 1476-1478, 1988.

HARRINGTON, R. S. **Search for planet X**. Washington: [s.n], 1991.

HOLTON, G. Einstein, Michelson, and the “Crucial” Experiment. **Isis**, Chicago, v. 60, n. 2, p. 132-197, 1969.

HUNT, J. C. On Ad Hoc Hypotheses. **Philosophy of Science**, Baltimore, v. 79, n. 1, p. 1-14. 2012.

INTERNATIONAL ASTRONOMICAL UNION. **IAU 2006 General Assembly: Result of the IAU Resolution votes**. 2006. Disponível em: <<https://www.iau.org/news/pressreleases/detail/iau0603/>>. Acesso em: 13 fev. 2015.

KLEE, R. In defense of the quine-duhem thesis: a reply to greenwood. **Philosophy of Science**, Baltimore, v. 59, n. 3, p. 487-491, 1992.

KOTLIAROV, I. **The titius-bode law revisited but not revived**. Disponível em: <<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0806/0806.3532.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2018.

KUIJKEN, K.; GILMORE, G. The mass distribution in the galactic disc - part III: the local volume mass density. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Oxford, v. 239, n. 3, p. 651-664, 1989.

LEPLIN, J. The concept of an ad hoc hypothesis. **Studies in History and Philosophy of Science Part A**, Elmsford, v. 5, n. 4, p. 309-345, 1975.

_____. The assessment of auxiliary hypotheses. **The British Journal for the Philosophy of Science**, Aberdeen, v. 33, n. 3, p. 235-249, 1982.

MAXWELL, G. C. Corroboration without demarcation. In: SCHILPP, P. A. (Ed.). **The Philosophy of Karl Popper**. La Salle: Open Court, 1974. p. 292-321.

OLIVEIRA, M. B. de. Sobre o problema da demarcação. **Transformação**, São Paulo, v. 5, p. 85-101, 1982.

OORT, J. H. The force exerted by the stellar system in the direction perpendicular to the galactic plane and some related problems. **Bulletin of the Astronomical Institutes of Netherlands**, Amsterdam, v. 6, n. 238, p. 249-287, 1932.

PIGLIUCCI, M. Hypotheses? Forget About It! **Philosophy Now**, London, v. 74, p. 47, 2009.

POPPER, K. R. Testability and ‘ad-hocness’ of the contraction hypothesis. **The British Journal for the Philosophy of Science**, Aberdeen, v. 10, n. 37, p. 50, 1959a.

POPPER, K. R. **The logic of scientific discovery**. New York: Routledge, 1959b.

SOFUE, Y. et al. Central rotation curves of spiral galaxies. **The Astrophysical Journal**, Chicago, v. 523, n. 1, p. 136-146, 1999.

STANDISH, E. M. Planet X: no dynamical evidence in the optical observations. **The Astronomical Journal**, Woodbury, v. 105, n. 5, p. 2000-2006, 1993.

STRAUMANN, N. **The history of the cosmological constant problem**. 2002. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/gr-qc/0208027>>. Acesso em: 13 fev. 2015.

QUINE, W. V. Two dogmas of empiricism. **The Philosophical Review**, Ithaca, v. 60, n. 1, p. 20-43, 1951.

TEZEL, T. **Retrograde Mars**. 2003. Disponível em: <<http://apod.nasa.gov/apod/ap031216.html>>. Acesso em: 13 fev. 2015.

URTIZBEREA, A. A. ‘Neptune’ between ‘Hesperus’ and ‘Vulcan’: on descriptive names and non-existence. **Acta Analytica**, [S.l.], v. 20, n. 3, p. 48-58, 2005.

ZAHAR, E. Why did Einstein’s programme supersede Lorentz's. **The British Journal for the Philosophy of Science**, Aberdeen, v. 24, n. 2, p. 95-123, 1973.

ZWICKY, F. Republication of: the redshift of extragalactic nebulae. **General Relativity and Gravitation**, New York, v. 41, n. 1, p. 207-224, 2008.

_____. Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln. **Helvetica Physica Acta**, Basel, v. 6, p. 110-127, 1933.

_____. On the Masses of Nebulae and of Clusters of Nebulae. **The Astrophysical Journal**, Chicago, v. 86, n. 3, p. 217-246, 1937.