ISSN:1984-4247
e-ISSN:1984-4255

Ricardo Sousa Silvestre*

Sobre a formalização lógica de mudança de teorias e anomalias científicas**

RESUMO

Neste trabalho, é apresentada uma investigação do que poderia ser chamado de formalização lógica do processo de mudança de teorias devido a anomalias. Por anomalia entende-se um fato observado que faz parte do escopo explanatório de uma teoria, mas que vai de encontro à previsão da mesma. Uma abordagem clássica para restaurar o poder explicativo de uma teoria ameaçada por uma anomalia é a postulação de hipóteses novas e provisórias que, em conjunto com as demais hipóteses auxiliares originais, sejam capazes de resolver a anomalia. Após chegar à algumas conclusões sobre a estrutura de tal processo, propomos um framework lógico multimodal e não-monotônico capaz de representar alguns aspectos-chave dessa faceta importante da dinâmica de teorias científicas. Devido à necessidade de acomodar hipóteses provisórias incompatíveis, esse framework incorpora uma forma fraca de paraconsistência. Como um estudo de caso, analisamos o comportamento anômalo do planeta Urano que ameaçou a mecânica celeste Newtoniana por mais de meio século e ensejou a descoberta do planeta Netuno.

Palavras-chave: Anomalia científica; lógica não monotônica; lógica paraconsistente; lógica modal; descoberta de Netuno.

ABSTRACT

An investigation of what might be called the logical formalization of the process of theory change due to anomalies is presented. By anomaly we mean an observed fact falling into the explanatory scope of a theory that does not agree with the

* Departamento de Filosofia Universidade Federal de Campina Grande Rua Aprígio Veloso 882, Campina Grande-PB, E-mail: ricardoss@ufcg.edu.br

** Artigo originalmente publicado no *Logic Journal of the IGPL*, v. 20, p. 517-533, 2012, sob o título "On the logical formalization of theory change and scientific anomalies". Pequenos ajustes bibliográficos e terminológicos foram feitos. Tradução de Matheus Gondim.

theory prevision. A classical approach to restore the explicative power of a theory faced with an anomaly is to propose new, tentative auxiliary hypotheses which, along with part of the old set of auxiliary hypotheses, are able to solve the anomaly. After laying down some conclusions about the structure of such process, we propose a multi-modal and nonmonotonic logical framework able to represent some key aspects of this important facet of the dynamics of scientific theories. Due to the necessity of accommodating incompatible tentative hypotheses, this framework incorporates a weak form of paraconsistency. As a case study, we analyze the anomalous behavior of the planet Uranus which threatened the Newtonian celestial mechanics for more than half a century and gave rise to the discovery of Neptune.

Keywords: scientific anomalies; Neptune and Uranus; dynamics of scientific theories; nonmonotonic logic.

Introdução

Nosso propósito neste artigo é fornecer uma análise lógica do processo de revisão de teorias devido a anomalias. Por "anomalia" entendemos um fato observado que recai dentro do escopo explanatório de uma teoria científica, mas que vai de encontro à provisão da mesma. Nosso foco será o que pode ser considerado como a abordagem clássica para a restauração do poder explicativo de uma teoria: propor hipóteses novas, provisórias e auxiliares que, juntamente com parte do conjunto original de hipóteses auxiliares, sejam capazes de resolver a anomalia. Como um resultado final dessa análise, propomos um *framework* lógico multimodal e não monotônico capaz de representar alguns aspectos chave dessa importante faceta da dinâmica das teorias científicas.

Como estudo de caso, examinamos o que talvez seja o caso mais famoso de anomalia científica – o comportamento anômalo de Urano que ameaçou a mecânica celestial Newtoniana por mais de meio século e ensejou a descoberta de Netuno –, a partir do qual são estabelecidas algumas conclusões básicas acerca da estrutura da mudança em teorias científicas devido a anomalias. Essa tarefa é realizada nas seções 2 e 3. Em seguida, propomos uma lógica multimodal que incorpora uma forma fraca de paraconsistência capaz de representar as várias espécies de asserções que uma teoria pode possuir, o que inclui leis estabelecidas, hipóteses auxiliares aceitas e hipóteses provisórias. Isso é feito nas seções 4 e 5. Como poderá ser visto, a paraconsistência é necessária para que se acomodem as hipóteses auxiliares provisórias incompatíveis que podem ser propostas com a finalidade de resolver a anomalia. Introduzimos então uma lógica não monotônica capaz de representar o aspecto refutável das hipóteses auxiliares; em conjunto com a mencionada lógica multimodal, essa lógica não monotônica permite uma formalização minimamente satisfatória do processo de mudança teorética devido a anomalias. Isso é realizado nas seções 6 e 7. Finalmente, na seção 8, são tecidas algumas considerações conclusivas.

O comportamento anômalo de Netuno: um pouco da história da astronomia física

Ao fim da década de 1830, tudo procedia sem atribulações no campo da astronomia física. Por várias razões, a teoria Newtoniana havia se mostrado como o melhor *framework* disponível para a descrição de fenômenos celestes. Com a ajuda de seus postulados, foi possível explicar de maneira bem-sucedida a ação exercida pela Terra sobre a Lua, a natureza do percurso dos cometas e as três leis de Kepler para o movimento planetário. Ademais, a lei da gravitação universal permitiu o desenvolvimento de uma teoria de perturbação planetária através da qual a posição dos planetas podia ser prevista com precisão extraordinária. A única exceção a essa lista de sucessos era o movimento do então recentemente descoberto planeta Urano.

Descoberto em 1781 por William Herschel, Urano foi um inesperado e sensacional acréscimo ao número de planetas solares reconhecidos, que permanecera estável por mais de dois mil anos. Entretanto, o método que havia sido aplicado com sucesso para prever a posição dos demais planetas não obtinha o mesmo êxito no caso do novo planeta. Todas as tentativas de calcular a órbita de Urano e estipular uma tabela de suas posições futuras no céu fracassaram. O mesmo sempre acontecia: Urano aderia às previsões por alguns anos até que lentamente se desviava do curso esperado.

O primeiro passo para o cálculo do movimento de um planeta consiste em determinar sua 'órbita verdadeira' ou elipse não perturbada, isto é, a órbita elíptica que seguiria caso estivesse exclusivamente sob a influência atrativa do Sol. Isso é feito com o auxílio de algumas poucas e largamente separadas observações de suas várias posições, juntamente com os efeitos gravitacionais exercidos pelos planetas interferentes nessas posições. Ao subtrair um do outro, é possível obter os elementos da 'órbita verdadeira' do planeta, por meio dos quais qualquer posição do planeta nessa órbita pode ser calculada para qualquer dado momento de tempo. Finalmente, levando novamente em consideração os efeitos dos planetas interferentes, a posição de fato do planeta pode ser facilmente calculada.

No caso do cálculo das tabelas de Urano, os dois corpos interferentes levados em consideração eram Júpiter e Saturno. Devido ao desconhecimento da existência de um terceiro corpo cujo campo gravitacional também era forte o suficiente para influenciar o movimento de Urano, as previsões dessa tabela estavam fadadas ao fracasso. Haveria sempre um erro na determinação da 'órbita verdadeira' (quando a influência das interferências era subtraída) bem como no cálculo de suas posições de fato (quando a mesma influência era adicionada).

Em 1841, após ler o livro de George Airy acerca do progresso na astronomia, o estudante de matemática britânico John Couch Adams tomou conhecimento dos problemas acerca do movimento de Urano. Embora não possuísse qualquer treinamento profissional em astronomia, ele acreditou possuir as habilidades necessárias para resolver o mistério. Apesar de que seu conhecimento da matemática estivesse indubitavelmente em meio a tais habilidades, uma suposição absolutamente fundamental o tornou capaz de solucionar o problema: a hipótese de que havia um planeta desconhecido além de Urano orbitando o Sol cujo efeito gravitacional sobre Urano impedia que suas posições calculadas coincidissem com as posições observadas. Ao considerar essa nova hipótese, Adams buscou deduzir através dos dados disponíveis acerca de Urano os elementos da 'órbita verdadeira' deste, bem como os elementos da 'órbita verdadeira' e a massa do planeta desconhecido.[1]

No caso de um planeta atuar sobre outro e interferir em seu movimento, a teoria da perturbação permite expressar a correção às posições calculadas (ou coordenadas) do planeta perturbado em termos das massas e dos elementos das órbitas dos dois planetas (Note que a correção às coordenadas do planeta perturbado equivale ao quanto este se distância da órbita que seguiria caso a influência do corpo interferente não existisse). No caso de Urano e do planeta desconhecido, que sabemos ser Netuno, dado que a massa de Urano era conhecida, essas correções seriam expressas em termos de uma quantidade conhecida e três incógnitas: os elementos da órbita de Urano, os elementos da órbita de Netuno e a massa de Netuno. Se a hipótese de Adams fosse verdadeira, essas correções deveriam dar conta das diferenças entre as posições observadas de Urano e as posições computadas através das tabelas antigas. Isso é o mesmo que dizer que a perturbação causada por Netuno à órbita de Urano em um dado momento deveria ser igual à diferença entre as posições calculadas e observadas naquele instante. Ao comparar as fórmulas para as correções às coordenadas de Urano com a diferença entre as posições previstas pela tabela e as observadas em vários momentos de tempo, uma série de equações poderia ser formada; o mistério original de Adams poderia então ser reduzido à eliminação das incógnitas nessas equações.

O esquema inferencial original com o qual Adams trabalhou possuía como premissas os elementos das 'órbitas verdadeiras' de Urano e Netuno (que chamaremos de E_U e E_N, respectivamente) e as massas desses dois planetas (que chamaremos de M_U e M_N). Além das leis da mecânica clássica e da lei da gravitação universal (que representaremos por T_{CM}), também eram parte das premissas a hipótese de que a órbita do planeta não visto era elíptica[2] e que sua distância média do Sol era o dobro da de Urano. Representaremos essas duas hipóteses por O. A conclusão dessas premissas, i.e. o 'montante de perturbação' exercido por Netuno sobre Urano, deveria ser idêntica às correções às coordenadas das tabelas de Urano, i.e. $|OP_1–CP_1|$, $|OP_2–CP_2|$, ..., $|OP_n–CP_n|$, onde OP_i e CP_i são, respectivamente, as posições observada e calculada de Urano no instante t_i. Ao colocar tudo de maneira organizada, temos o seguinte conjunto de inferências:

$$\text{em } t_1\text{:}\ \frac{\begin{array}{c}T_{CM}, M_U, O\\ E_U, E_N, M_N\end{array}}{OP_1–CP_1} \quad \text{em } t_2\text{:}\ \frac{\begin{array}{c}T_{CM}, M_U, O\\ E_U, E_N, M_N\end{array}}{OP_2–CP_2} \quad \dots \quad \text{em } t_n\text{:}\ \frac{\begin{array}{c}T_{CM}, M_U, O\\ E_U, E_N, M_N\end{array}}{OP_n–CP_n}$$

Ou:

[1] Os mesmos resultados relativos à explicação do movimento anômalo de Urano e às posições de Netuno foram obtidos pelo matemático francês Jean-Joseph Le Verrier. De fato, foi o resultado de Le Verrier que levou à descoberta efetiva de Netuno em 1846. Entretanto, por o método de Adams ser mais geral e se encaixar melhor aos propósitos deste artigo, não nos debruçaremos sobre o trabalho de Le Verrier. Para uma descrição bastante acessível da descoberta de Netuno, veja Standage (2000). Para uma descrição detalhada dos cálculos de Adams e Le Verrier, conferir [7], capítulo XII.

[2] Por questão de simplicidade, Adams iniciou seus cálculos com a suposição de que a órbita de Netuno era circular. Somente mais tarde ele decidiu trabalhar com a suposição da órbita elíptica.

$$\frac{\begin{array}{l} T_{CM}, M_U, O \\ E_U, E_N, M_N \end{array}}{(OP_1 - CP_1) \wedge \ldots \wedge (OP_n - CP_n)}$$

Aqui, entretanto, o verdadeiro objetivo dos cálculos de Adams (E_U, E_N, M_N) não está na conclusão, mas entre as premissas. A ponto é que, devido ao número de equações consideradas por Adams[3], o conjunto de valores de E_U, E_N e M_N que satisfazem a todas as equações simultaneamente era restrito de tal modo que poderiam ser obtidos através de raciocínio dedutivo. Portanto, o esquema que representa de fato o processo inferencial realizado por Adams é o que se segue:

$$(1) \quad \frac{\begin{array}{c} T_{CM}, M_U, O \\ OP_1 - CP_1, \ldots, OP_n - CP_n \end{array}}{E_U, E_N, M_N}$$

Ao realizar essa inferência, Adams foi capaz, de uma só vez, de explicar o movimento observado de Urano (ao descobrir os valores de E_U) e seu até então comportamento anômalo, bem como prever a posição de Netuno.

Previsão, explicação e hipóteses auxiliares

Do tempo de Adams até atualmente, muitas pessoas refletiram sobre como alguém, valendo-se apenas de ferramentas teóricas e observações passadas e sem olhar sequer uma única vez para o céu com um telescópio, foi capaz de determinar com um impressionante grau de precisão a localização de um planeta até então desconhecido. De fato, a assim chamada previsão de Netuno é ainda hoje considerada uma das maiores realizações da ciência física.

A previsão de um fato individual (como a posição e a massa de um planeta) é tradicionalmente vista como sendo um argumento dedutivo do qual a conclusão é o fato a ser previsto e as premissas são compostas por pelo menos uma lei pertencente a uma teoria científica, além de um conjunto de fatos particulares e condições iniciais, geralmente chamadas de *hipóteses auxiliares.*[4] Ao restringir a previsão a apenas uma teoria e parar no nível de detalhe da teoria (i.e. não tentando fazer distinção alguma em relação às leis que compõem a teoria) temos o que pode ser representado pelo seguinte esquema:

$$\frac{\begin{array}{l} T \\ h_1, h_2, \ldots, h_k \end{array}}{P} \qquad \begin{array}{l} \text{Teoria} \\ \text{Hipóteses auxiliares} \\ \text{Previsão} \end{array}$$

Chamaremos o par composto por uma teoria T e um conjunto de hipóteses auxiliares H um *sistema teorético* (que será representado pelo símbolo Λ).

[3] Adams considerou as posições observadas e calculadas para os anos de 1780, 1783, 1786 e assim a cada 3 anos até 1840. Desta forma, trabalhou com exatamente vinte e uma equações, uma para cada ano.

[4] Ver Hempel (1965), Merrill (1979) e Curd and Cover (1998), partes 5 e 6.

Agora, dado o argumento (1), a previsão da órbita de Netuno parece se conformar adequadamente ao nosso esquema. Entretanto, se desejamos representar devidamente a estrutura lógica da previsão de Netuno temos de considerar uma hipótese fundamental sem a qual a conclusão de (1) jamais poderia ser obtida:

(N) Existe um planeta desconhecido além de Urano cujo efeito gravitacional sobre este impede que as posições calculadas coincidam com os dados observados.

Mais especificamente, representar (1) de acordo com o nosso esquema de previsões científicas requer que N figure como uma das hipóteses auxiliares.

Ocorre um problema aqui, pois N não era parte do conjunto de hipóteses auxiliares do sistema teorético Newtoniano para a descrição do movimento planetário ao tempo dos cálculos de Adams (chamemos esse conjunto de H_U). De fato, a este conjunto de hipóteses auxiliares, que inclui a asserção

(S) O sistema solar é formado *exatamente* por Mercúrio, Vênus, Terra, Júpiter, Saturno e Urano.

, N não poderia sequer ser adicionada consistentemente. Certamente, como veremos mais adiante, algumas modificações poderiam ser realizadas em S para que a adição de N fosse permitida. Entretanto, isso não passaria de um exercício intelectual: dado que N não era uma hipótese auxiliar aceita (o que obviamente tem a ver com a inexistência de suporte empírico), conclusões alcançadas com sua ajuda não poderiam ser consideradas previsões científicas autênticas.

Parecemos então estar diante de um impasse. O cálculo da posição de Netuno é frequentemente considerado como um dos melhores e mais fascinantes exemplos do poder preditivo da ciência. Como é possível, então, que tenhamos alcançado a conclusão de que esse feito não é uma previsão científica?

Dissemos anteriormente que uma anomalia consiste em um fato observado que vai de encontro à ou não condiz com a *previsão* teórica. Uma definição equivalente pode tomar a seguinte forma: uma anomalia é um fato observado pertencente ao escopo explicativo de uma teoria que não pode ser explicado por esta com o auxílio das hipóteses auxiliares aceitas. Limitando a explicação a fatos singulares e novamente restringindo a análise ao nível de detalhe da teoria, uma explicação pode ser representada pelo seguinte esquema:

$$\begin{array}{ll} T & \text{Teoria} \\ h_1, h_2, \ldots, h_k & \text{Hipóteses auxiliares} \\ \hline p & \text{Fato a ser explicado} \end{array}$$

De acordo com o modelo acima, a única diferença entre uma explicação e uma previsão é que enquanto previsões se referem a eventos *desconhecidos*, explicações se referem a fenômenos conhecidos. [5]

Uma anomalia científica então surge quando há algum fenômeno observado A tal que o sistema teorético não é capaz de explicar. A incapacidade de explicar A surge não apenas da impossibilidade de que A seja deduzido do sistema teoré-

[5] Sem a intenção de negligenciar a complexidade e a controvérsia pertinentes ao campo da explicação científica, Braitwaite (1953), Salmon (1989) para os propósitos deste artigo é suficiente considerar apenas esse modelo simplificado de explicação científica, originalmente proposto por Carl Hempel (1965).

tico Λ ($T\cup H\nvdash A$), o que indicaria não mais que uma incompletude do sistema, mas de fato é causada por A ser inconsistente com Λ ($T\cup H\vdash\neg A$). No caso de Urano, considerando OP_i como sendo as posições observadas de Urano em um dos referidos instantes t_i, temos que $T_{CM}\cup H_U\nvdash OP_i$ e $T_{CM}\cup H_U\vdash\neg OP_i$ (a posição calculada em t_i – CP_i – é tal que $T_{CM}\cup H_U\vdash CP_i$ e $CP_i\rightarrow\neg OP_i$).

Para que seja recuperado o seu poder explicativo, Λ deve ser substituído por um novo sistema teorético Λ' tal que Λ' seja consistente e $\Lambda'\vdash A$. Dada nossa caracterização de Λ, isso pode ser alcançado modificando T ou modificando H. O método padrão na revisão de teorias científicas consiste em realizar todos os esforços possíveis de reparar o sistema trabalhando com alterações em H. Mudar leis da teoria é sempre visto como um "último recurso que não pode ser permitido sem que sejam exaurido o exame de outras causas, bem como tenha sido demonstrado que estas são incapazes de produzir os efeitos observados", como colocou Le Verrier. [6]

Do ponto de vista da evolução das teorias, essa estratégia implica que, embora as leis de T não possam ser questionadas, as hipóteses auxiliares H estão, até certo ponto, abertas à discussão. Portanto, por razões metodológicas, algumas partes do sistema teorético são tomadas como consolidadas, ao passo que outras são consideradas refutáveis. De um ponto de vista epistemológico, a não-irrefutabilidade se assemelha à *certeza*, enquanto a refutabilidade se relaciona com a *plausibilidade*, pois mesmo se as hipóteses auxiliares correm o risco de serem abandonadas, deve haver boas razões suportando sua presença no sistema teorético. Desse modo, podemos dizer que as leis da teoria, que constituem o que Imre Lakatos (1970) in Lakatos and Musgrave (1970), chama de núcleo interno da teoria, devem ser tomados como asserções acertadas e irrefutáveis; a maior parte das hipóteses auxiliares, que podemos dizer servirem como um cinturão protetor que defende a teoria contra refutações, são mais propensos a revisões e, portanto, não são certos, mas somente plausíveis.

Assim, com o surgimento de uma anomalia, a abordagem inicial é a de manter os princípios básicos da teoria T intocados e trabalhar com o conjunto de hipóteses auxiliares H. Isto é feito com a postulação de várias hipóteses auxiliares provisórias para sanar o problema. Contudo, em que condições podemos dizer que uma hipótese auxiliar provisória resolve uma anomalia? Quando é capaz, juntamente com a teoria e um subconjunto próprio do antigo conjunto de hipóteses, de explicar o fenômeno anômalo; em outras palavras, quando a nova hipótese provisória *h* é tal que $T\cup H'\cup\{h\}$ é um conjunto consistente tal que

(2) $T\cup H'\cup\{h\}\vdash A$.

Aqui H' é o maior subconjunto de H tal que $T\cup H'\cup\{h\}$ é consistente; ou, de maneira equivalente, o subconjunto de H tal que para qualquer $h'\in H-H'$, o conjunto $T\cup H'\cup\{h, h'\}$ é inconsistente (dado que $T\cup H\vdash\neg A$, H' deve ser um subconjunto próprio de H). A condição de que H' deve ser o maior subconjunto de H reflete a ideia de que as alterações devem ocorrer com a menor intensidade possível para que se recupere o poder explicativo da teoria. Chamaremos essas condições de *princípio das hipóteses auxiliares provisórias* (HAP).

[6] Citado em Standge (2000). Para uma boa descrição deste e de outros modos de resolver anomalias científicas, conferir Humphreys (1968).

A solução final ao problema é, obviamente, alcançada quando encontramos razões suficientes para que as hipóteses auxiliares provisórias *h* sejam aceitas, caso em que *h* se torna parte do conjunto aceito de hipóteses auxiliares. Entretanto, durante o período em que a situação anômala permanece e não há decisão em favor de alguma das hipóteses provisórias, uma vez que uma dada hipótese *h* satisfaz o princípio HAP, mesmo embora não seja uma hipótese aceita, torna-se mais do que uma mera hipótese; podemos dizer que se torna uma *hipótese auxiliar plausível*, pois, devido a (2), não é simplesmente uma hipótese arbitrária, mas uma hipótese capaz de solucionar a anomalia.

É necessário distinguir essa plausibilidade do tipo de plausibilidade que hipóteses auxiliares aceitas em momentos não anômalos possuem. Mesmo embora tais hipóteses possam ser refutadas, o fundamento a seu favor é supostamente mais forte do que o de uma hipótese auxiliar provisória. Ao passo que hipóteses auxiliares (quando tomadas em conjunto com todo o sistema teorético ao qual pertencem) devem, a princípio, possuir muitos exemplares de previsões e explicações bem-sucedidas, uma hipótese auxiliar provisória possui apenas um curto período de existência que não é suficiente para garantir sua aceitação. Ademais, existe geralmente mais de uma hipótese auxiliar provisória que satisfaz o princípio HAP e que busca dar conta da mesma anomalia, o que implica em um tipo de incompatibilidade entre essas hipóteses. Dizemos, portanto, que hipóteses auxiliares em momentos não anômalos são *fortemente plausíveis* ou *plausivelmente aceitas*, ao passo que hipóteses provisórias são *fracamente plausíveis*.

No caso de Urano, uma das hipóteses provisórias propostas foi N. Por si só, N não era capaz, no sentido expresso acima, de explicar o comportamento anômalo de Urano. Todavia, ao tomar N em conjunto com a 'órbita verdadeira' de Urano (E_U) e a massa e 'órbita verdadeira' desse planeta desconhecido (M_N e E_N, respectivamente), e modificar H_U de modo a tornar o conjunto resultante de hipóteses (que chamaremos de H_N) consistente com N e E_U (o que significa substituir o "exatamente" em S por "ao menos" e remover os dados antigos acerca da 'órbita verdadeira' de Urano), a anomalia poderia ser explicada. De um ponto de vista dedutivo, isso significa que as leis da mecânica clássica e a lei da gravitação universal (T_{CM}) associadas a esse novo conjunto de hipóteses auxiliares eram suficientes para inferir as posições observadas de Urano; ou, em símbolos,

(3) $T_{CM} \cup H_N \cup \{N, E_U, M_N, E_N\} \vdash OP_i$, para qualquer instante t_i.

Dessa forma, ao encontrar os valores de E_U, M_N e E_N, o que Adams fez foi mostrar que (3) é válido. Em outras palavras, ao trabalhar com (1), Adams mostrou que o novo conjunto de hipóteses $H_N \cup \{N, E_U, M_N, E_N\}$ era capaz de efetivamente explicar o comportamento anômalo de Urano.

Observe que (3) não era suficiente para tornar N uma hipótese auxiliar aceita. Isso somente ocorreu quando um planeta posicionado nos arredores das coordenadas dadas por Le Verrier foi empiricamente descoberto, e cuja órbita condizia com as previsões. Entretanto, (3) de algum modo mudou o *status* de N. Designando por h_N a conjunção de N, E_U, M_N and E_N, fica além de qualquer dúvida que h_N era suficiente para resolver as discrepâncias entre o movimento anômalo e o observado de Urano: satisfazia o princípio HAP. Consequentemente, mesmo embora N não fosse ainda uma hipótese aceita, poderia (ou pelo menos sua versão formal h_N) ser considerada uma hipótese auxiliar plausível, pois não possuía mais o caráter arbitrário que nos fez no início negar-lhe o caráter de uma hipótese auxiliar autêntica.

Estamos agora em condições de responder à questão posta no início desta seção acerca da natureza da previsão de Netuno. Dado que N não era uma hipótese auxiliar aceita, (1) não poderia ser considerada como uma previsão científica autêntica. Entretanto, (3) mostrou que N era uma hipótese auxiliar plausível, o que nos permite tomar (1) como uma *previsão científica plausível*.

Como forma de encerrar esta seção, lembramos que esse processo típico de consertar um sistema teorético Λ incapaz de explicar um fato observacional A funciona através da postulação de hipóteses provisórias rivais $h_1, \ldots, h_n$, de tal modo que, para cada h_i haja $H'_i \subset H$ tal que $T \cup H'_i \cup \{h_i\} \vdash A$ e $T \cup H'_i \cup \{h_i\} \nvdash \neg A$. Trivialmente, então, uma vez que uma hipótese auxiliar provisória se mostre capaz de satisfazer o princípio HAP nós devemos estar prontos para incorporá-la ao sistema teorético como uma de suas hipóteses auxiliares. Mas, como foi dito, cada uma dessas h_i's é incompatível com todas as demais, dado que consistem em soluções alternativas e mutuamente exclusivas ao mesmo problema. Além disso, se, por exemplo, a hipótese h_k possuir suporte empírico suficiente e for aceita como solução à anomalia, não resta razão para que sejam mantidas as outras hipóteses rivais como hipóteses plausíveis. Portanto, a aceitação de h_k implica necessariamente o abandono de todas as demais h_i's, $i \neq k$. Trivialmente, nesse caso, hipóteses auxiliares refutáveis de H que não pertencem a H_i também devem ser descartadas. Visto que descartar ou rejeitar uma hipótese implica em não mais considera-la plausível, após a aceitação de h_k, a hipótese auxiliar provisória rejeitada h_i, $i \neq k$, bem como o conjunto de antigas hipóteses auxiliares $H - H_k'$, devem ser tomados como *implausíveis*. Chamaremos este o *princípio das hipóteses auxiliares rejeitadas* (HAR).

Uma lógica da plausibilidade

Nesta seção iniciaremos a apresentação do formalismo através do qual pretendemos representar o processo de solução de anomalias discutido nas seções anteriores. Inicialmente, precisamos de um modo para representar os diferentes *status* que os membros de sistemas teoréticos podem assumir. Colocando de maneira mais específica, é necessário distinguir entre asserções certas e não refutáveis pertencentes a T de um lado, e hipóteses auxiliares plausíveis e refutáveis pertencentes a H de outro. Entre essas, devemos distinguir entre as hipóteses fortemente plausíveis, que são aceitas como parte do sistema teorético, e as hipóteses provisórias fracamente plausíveis propostas como solução para uma anomalia mas ainda não aceitas como parte do sistema teorético. Ademais, devemos estar preparados para lidar com asserções tais como relatos observacionais, leis matemáticas e definições, por exemplo, que desejamos que sejam tomadas não somente como certas, mas verdadeiras.

Para realizar essa tarefa, faremos uso de algumas ideias sobre plausibilidade e modalidade apresentadas em Silvestre (2010), Pequeno and Buchsbaum *et al.,* (1991) e Buchsbaum (2007), para construir um sistema semântico modal normal no qual essas sutilezas conceituais da mudança científica em contextos anômalos possam ser capturadas. Mais especificamente, usaremos uma linguagem multimodal contendo, além dos símbolos modais $\Diamond$ e $\Box$, os símbolos modais ? e !. Essas modalidades, que serão usadas de forma pós-fixada – se α é uma fórmula então α? e ! também são fórmulas – são nossa representação lógica das noções de plausibilidade forte e fraca: enquanto α? significa 'α é fracamente plausível', ou simplesmente 'α é plausível', α! significa 'α é fortemente plausível' ou 'α é plausivelmente aceita'. $\Box$ deve ser interpretado como certeza, de modo que $\Box\alpha$ é lido como 'α é certo'; $\Diamond\alpha$ significa algo como 'α é epistemicamente possível'. Ausência de modalidade representa verdade: uma fórmula não modal α é lida como 'α é verdadeiro'. Por questão de simplicidade, permaneceremos restritos ao caso proposicional. [7]

Com o objetivo de dar conta dessa interpretação epistêmica em termos de certeza e plausibilidade, devemos possuir duas relações de acessibilidade entre mundos, uma responsável pelos *mundos epistemicamente possíveis* que seja utilizada juntamente com $\Diamond$ e $\Box$, e outra responsável pelos *mundos plausíveis*, usada juntamente com ? e !. Essas duas relações serão representadas, respectivamente, por $R_\Diamond$ and $R_?$. Com $w \in W$ sendo um mundo arbitrário, $R_\Diamond(w)=\{w' \mid wR_\Diamond w'\}$ representa o conjunto de mundos epistemologicamente possíveis de (ou acessíveis a partir de) w e $R_?(w)=\{w' \mid wR_? w'\}$, por sua vez, o conjunto de mundos plausíveis de (ou acessíveis a partir de) w. A relação entre esses dois conjuntos é simples: cada mundo plausível é um mundo possível (em símbolos: $R_?(w) \subseteq R_\Diamond(w)$), mas alguns mundos possíveis não são mundos plausíveis.

Além dessa restrição, há uma idealização acerca dessas relações de acessibilidade: para qualquer mundo w, há um mundo w' tal que $wR_\Diamond w'$ e um mundo w'' tal que $wR_? w''$. Finalmente, enquanto $R_\Diamond$ é uma relação simétrica e transitiva, $R_?$ é apenas simétrica. A definição formal desse modelo semântico segue abaixo:

DEFINIÇÃO 1

Um *modelo* M é uma quádrupla $<W,R_\Diamond,R_?,\upsilon>$ tal que W é um conjunto de mundos possíveis, $R_\Diamond$ e $R_?$ são duas relações em W chamadas, respectivamente, de relação de acessibilidade de possibilidade epistêmica e relação de acessibilidade de plausibilidade, υ é uma função que atribui a cada símbolo proposicional e a cada mundo $w \in W$ um valor *verdadeiro* ou *falso*, e as seguintes condições são satisfeitas:

(i) *Idealização*: para cada $w \in W$, existe pelo menos um $w' \in W$ tal que $wR_\Diamond w'$ e pelo menos um $w'' \in W$ tal que $wR_? w''$;
(ii) *Possibilidade-Plausibilidade*: para qualquer $w,w' \in W$, se $wR_? w'$ então $wR_\Diamond w'$;
(iii) *Simetria*: para qualquer $w,w' \in W$, se $wR_\Diamond w'$ então $w'R_\Diamond w$, e se $wR_? w'$ então $w'R_? w$;
(iv) *Transitividade*: para qualquer $w,w',w'' \in W$, se $wR_\Diamond w'$ e $w'R_\Diamond w''$ então $wR_\Diamond w''$.

[7] A mudança para um caso de primeira ordem é direta no sentido em que envolve as mesmas sutilezas que encontramos na mudança de qualquer lógica proposicional multimodal para uma versão de primeira ordem. Conferir Fitting (1993) e Silvestre (2010), capítulo 5.

A condição de idealização tem o propósito de garantir que certeza gere possibilidade epistêmica (em símbolos: $\Box\alpha\Diamond\alpha$) e que plausibilidade forte enseje plausibilidade fraca (em símbolos: $\alpha!\to ?$). A condição possibilidade-plausibilidade, já mencionada, é uma restrição intuitiva que garante que da certeza se tenha plausibilidade forte ($\Box\alpha\to\alpha!$) e da plausibilidade fraca tenhamos possibilidade ($\alpha?\to\Diamond\alpha$). A condição da simetria garante que se α é verdadeira, então é certo que α é epistemologicamente possível e é fortemente plausível que α é fracamente plausível (respectivamente, $\alpha\to\Box\Diamond\alpha$ e $\alpha\to ?!$). Finalmente, a condição da transitividade garante dois princípios de introspecção: um positivo determinando que se temos certeza de α, então temos certeza de que temos certeza de α ($\Box\alpha\to\Box\Box\alpha$), e um negativo, que determina que se não temos certeza de α, então temos certeza de que não temos certeza de α ($\neg\Box\alpha\to\Box\neg\Box\alpha$).

A razão pela qual não impomos a restrição da transitividade a $R_?$ se dá em função de podermos desejar permitir diferentes graus de plausibilidade, o que seria impedido caso tivéssemos $\alpha??\to\alpha?$, um princípio derivado da 'versão plausibilidade' do princípio da introspecção ($\alpha!\to !!$). Também não impomos uma restrição de reflexividade a $R_\Diamond$ e $R_?$. A razão disso é que essa condição implica um princípio de arrogância epistemológica indesejável em ambos os casos de certeza e plausibilidade cética: da reflexividade de $R_\Diamond$ temos que se α é certo então α é verdadeiro ($\Box\alpha\to\alpha$) e da reflexividade de $R_?$ temos que se α é fortemente plausível então é verdadeiro ($\alpha!\to\alpha$).[8]

A definição das condições de verdade das fórmulas é feita como de costume. Abaixo temos a definição para os casos proposicional e modal:

DEFINIÇÃO 2

Seja $M = \langle W, R_\Diamond, R_?, \upsilon\rangle$ um modelo e $w\in W$ um mundo possível. As condições nas quais M e w satisfazem uma fórmula α (em símbolos: $M \Vdash_w \alpha$) são definidas abaixo:

(i) $M \Vdash_w p$ sse $\upsilon(p,w) =$ *verdadeiro*;
(ii) $M \Vdash_w \Diamond\alpha$ sse para pelo menos um $w'\in W'$ tal que $wR_\Diamond w'$ $M \Vdash_{w'} \alpha$;
(iii) $M \Vdash_w \Box\alpha$ sse para qualquer $w'\in W'$ tal que $wR_\Diamond w'$ $M \Vdash_{w'} \alpha$;
(iv) $M \Vdash_w \alpha?$ sse para pelo menos um $w'\in W'$ tal que $wR_? w'$ $M \Vdash_{w'} \alpha$;
(v) $M \Vdash_w \alpha!$ sse para qualquer $w'\in W'$ tal que $wR_? w'$ $M \Vdash_{w'} \alpha$;

O modo no qual $\Vdash$ é estendido de forma a se aplicar a conjuntos de fórmulas e a M isoladamente, bem como a definição da noção de consequência lógica, é usual:

DEFINIÇÃO 3

Seja $M = \langle W, W', \upsilon\rangle$ um modelo, $w\in W$ um mundo possível e Γ um conjunto de fórmulas. M e w satisfazem Γ ($M \Vdash_w \Gamma$) sse $M \Vdash_w \alpha$ para qualquer $\alpha\in\Gamma$.

[8] Para uma discussão detalhada acerca dessa lógica da certeza e da plausibilidade, incluindo uma versão axiomática para a mesma, conferir Silvestre (2010), capítulo 6. A diferença entre essa versão e a que apresentamos aqui é que a primeira incorpora uma paraconsistência e paracompletude fortes referentes a ? e !, respectivamente.

DEFINIÇÃO 4

Seja $M = <W,W',\upsilon>$ um modelo, um conjunto de fórmulas e α uma fórmula. M satisfaz α ($M \Vdash \alpha$) sse $M \Vdash_w \alpha$ para qualquer $w \in W$; e M satisfaz Γ ($M \Vdash \Gamma$) sse $M \Vdash_w \Gamma$ para qualquer $w \in W$.

DEFINIÇÃO 5

Seja Γ um conjunto de formulas e uma fórmula. α é uma *consequência lógica* de Γ ($\Gamma \vDash \alpha$) sse para todos os modelos M tais que $M \Vdash \Gamma$, $M \Vdash \alpha$.

Temos então as seguintes relações:

(4) $\{\alpha\} \vDash \Box\alpha$; $\{\Box\alpha\} \vDash \alpha!$; $\{!\} \vDash \alpha?$; $\{\alpha?\} \vDash \Diamond\alpha$.

Sobre a formalização de leis e hipóteses auxiliares

O modo como essa semântica se conecta ao nosso problema de representar sistemas teóricos científicos em contextos anômalos pode ser explicado como segue. Seja $\Lambda^* = <T,\mathfrak{H},O>$ a formalização do sistema teórico $= <T,H>$ em nossa linguagem modal; T e $\mathfrak{H}$ são as contrapartes formais de T e H, respectivamente, e O a formalização do conjunto de relatos observacionais relevantes. Seja também $M = <W,R_\Diamond,R_?,\upsilon>$ um modelo tal que M satisfaz $T \cup \mathfrak{H} \cup O$.

Em primeiro lugar, as fórmulas não modais α de $T \cup \mathfrak{H} \cup O$ são satisfeitas por todos os mundos possíveis de M e portanto são tomadas como verdadeiras. Como mostrado por (4), tais fórmulas são tanto certas ($\Box\alpha$) como plausíveis ($\alpha!$ e $\alpha?$). Em segundo lugar, as leis de T, embora talvez não verdadeiras sob um ponto de vista inquestionado, são tomadas como certas e, pelo menos do ponto de vista da dinâmica das teorias científicas com a qual trabalhamos aqui, irrefutáveis. Suas contrapartes de T devem então ser marcadas como o símbolo $\Box$. Assim, cada formula $\alpha \in T$ (bem como as consequências lógicas de T) possuem a forma $\Box\beta$, o que sob uma perspectiva semântica significa que para cada mundo wW, β é satisfeita por todos os mundos epistemicamente possíveis de w (em símbolos: $M \Vdash_{w'} \beta$ para qualquer $w' \in R_\Diamond(w)$). Considerando M como um modelo da realidade, por exemplo, as leis de T podem ser tomadas como asserções que, para cada maneira possível w que o mundo possa ser (de acordo com esse modelo), são verdadeiras em qualquer mundo epistemologicamente possível que podemos conceber de w. São, portanto, enunciados certos e irrefutáveis.

Agora, suponhamos que Λ confronte uma anomalia. De acordo com o modo para lidar com anomalias que esboçamos nas seções anteriores, os postulados de T devem permanecer inalterados, e várias hipóteses auxiliares provisórias devem ser propostas para solucionar o problema. Primeiramente, isso significa que T deve continuar sendo satisfeita por M. Em segundo lugar, cada hipótese auxiliar provisória *h* deve satisfazer o principio HAP. Desta forma, isso significa que *h*'s são compatíveis com as leis de T e algum subconjunto do antigo conjunto de hipóteses auxiliares H. Em termos semânticos, isso quer dizer que para qualquer $w \in W$, a contraparte formal de *h*, que chamaremos de β, deve ser satisfeita por ao menos um mundo epistemicamente possível de w ($M \Vdash_{w'} \beta$ para pelo menos um $w \in R_\Diamond(w)$). Em terceiro lugar, juntamente com T e um subconjunto específico de H, *h* deve ser capaz de explicar a anomalia ($T \cup H' \cup \{h\} \vdash A$). Isso, concordamos, é suficiente para tomar *h* como uma hipótese fracamente plausível. Portanto, *h* deve ser representada como β?, o que indica que estamos lidando com uma hipótese provisória plausível. Em termos semânticos, isso é o mesmo que dizer que para cada $w \in W$, β é satisfeito por ao menos um mundo plausível de w ($M \Vdash_{w'} \beta$ para pelo menos um $w' \in R_?(w)$).

Contudo, deve haver uma fórmula β que, embora não satisfeita por todos os mundos epistemicamente possíveis de um dado $w \in W$, seja satisfeita por todos os mundos plausíveis ($M \Vdash_{w'} \beta$ para qualquer $w' \in R_?(w)$ mas $M \nVdash_{w''} \beta$ para pelo menos um $w'' \in R_\Diamond(w)$). Trivialmente, então, essas fórmulas não são certas. Todavia, são mais que fracamente plausíveis, como definimos acima: são fortemente plausíveis (β!). No contexto de sistemas teóricos científicos, isso é o mesmo que dizer que β é provavelmente a contraparte formal de uma das hipóteses auxiliares aceitas de H. Em outras palavras, dado que qualquer hipótese auxiliar aceita *h* é fortemente plausível, sua contraparte formal β é tal que é satisfeita por todos os mundos plausíveis de qualquer $w \in W$ (em símbolos: $M \Vdash_{w'} \beta$ para qualquer $w' \in R_?(w)$). Temos então sua representação formal como β!. Note que mesmo embora goze deste status forte de plausibilidade, β ainda é refutável e sujeita a revisão, pois há ainda mundos possíveis porém não plausíveis que não satisfazem β (em símbolos: para qualquer $w \in W$, há pelo menos um $w' \in R_\Diamond(w) - R_?(w)$ tal que $M \nVdash_{w'} \beta$). Seguindo o mesmo raciocínio e com o intuito de distinguir as hipóteses auxiliares provisórias das aceitas, é preciso exigir que uma hipótese auxiliar provisória β seja satisfeita por pelo menos um mundo plausível mas não por todos esses mundos (para todo $w \in W$, uma hipótese auxiliar provisória β? é tal que para pelo menos um $w' \in R_?(w)$ $M \Vdash_{w'} \beta$ – o que é implicado pela definição semântica de ? – mas também para pelo menos um $w'' \in R_?(w)$ $M \nVdash_{w''} \beta$).

Esta avaliação das hipóteses auxiliares aceitas deixa claro que o critério HAP não pode ser o único critério racional pelo qual classificamos hipóteses como plausíveis[9]. De fato, um mundo plausível pode ser tomado como uma representação do resultado de um ou mais critérios racionais de escolha de hipóteses. Dizemos então que uma hipótese que é verdadeira de acordo com todos esses critérios representa um consenso forte o suficiente para que a aceitemos (sob um ponto de vista pragmático, podemos dizer) como verdadeira. Em outras palavras, mesmo embora não estejamos certos da verdade de tal hipótese (seja de um ponto de vista metodológico ou realista), o fato de ela ser verdadeira de acordo com todos os modos plausíveis ou racionais dos quais podemos dispor para avaliá-la nos permite aceitá-la como uma verdade fortemente plausível, ou ainda, como uma verdade pragmática.

Por outro lado, uma hipótese auxiliar provisória não goza desse tipo de consenso: não é satisfeita por todos os mundos plausíveis, mas apenas por ao menos um deles. Isso é mais ou menos trivial, pois, como dissemos, as várias hipóteses auxiliares provisórias são incompatíveis umas com as outras na medida em que consistem em soluções mutuamente exclusivas e alternativas ao mesmo problema. Sejam β? e φ? duas hipóteses auxiliares provisórias. Seja também a mencionada incompatibilidade da forma $T \vDash \varphi \rightarrow \neg\beta$ (o que implica $T \vDash \beta \rightarrow \neg\varphi$). Dado que as leis

[9] Outros critérios que poderíamos mencionar aqui são a hipótese auxiliar sendo suportada por outra teoria científica ou sendo empiricamente confirmada.

de T são trivialmente satisfeitas por todos os mundos plausíveis de um dado $w \in W$ (em símbolos: para qualquer $\Box\alpha \in T$, $M \Vdash_{w'} \alpha$ para qualquer $w' \in R_?(w)$), temos que há dois mundos possíveis w' e w" tais que w' satisfaz β e w" satisfaz $\neg\beta$ (em símbolos: existem $w',w''R_?(w)$ tais que $M \Vdash_{w'} \beta$ e $M \Vdash_{w'} \neg\beta$). Portanto, temos que ambos β e $\neg\beta$ são plausíveis ($\beta?$ e $(\neg\beta)?$), representando então uma forma fraca de paraconsistência que alguns chamam de paraconsistência *heartiana* ou conceitual Silvestre (2012), Silvestre (2013), Beziau (1999). Essa paraconsistência, deve-se admitir, é uma característica que uma lógica da mudança científica deve possuir, pois o sistema deve ser capaz de tolerar contradições entre hipóteses fracamente plausíveis. No que toca hipóteses aceitas, entretanto, não pode haver esse tipo de tolerância: o sistema inteiro de leis da teoria mais as hipóteses aceitas deve ser, mesmo sob um ponto de vista da plausibilidade, consistente. Portanto, pode haver um modelo M' tal que $M' \Vdash \alpha?$ e $M' \Vdash (\neg\alpha)?$ mas não um modelo M' tal que $M' \Vdash \alpha!$ e $M' \Vdash (\alpha)!$.

Em resumo, em um sistema formalizado $\Lambda^* = \langle T,\mathfrak{H},O \rangle$ as leis da teoria são representadas como enunciados certos e irrefutáveis (em símbolos: para qualquer $\alpha \in T$, α tem a forma $\Box\varphi$) e os membros de O como fórmulas não modais. Assim, o conjunto de hipóteses auxiliares $\mathfrak{H}$ pode possuir quatro tipos de fórmula: (i) fórmulas não modais que representem enunciados verdadeiros tais como leis matemáticas e enunciados de definições; (ii) fórmulas da forma $\Box\varphi$ que representem hipóteses auxiliares que, apesar de não serem provadas, são também tomadas como certas; (iii) fórmulas da forma $\varphi!$ que representem as hipóteses auxiliares refutáveis mas aceitas; e, finalmente, no caso de que Λ^* represente um sistema teórico provisório proposto para solucionar uma anomalia, (iv) fórmulas da forma $\varphi?$, que representam hipóteses auxiliares provisórias que satisfazem o critério HAP.

Uma lógica para o raciocínio refutável

Nossa tarefa agora concerne à representação do aspecto da refutabilidade de hipóteses auxiliares. Para que esse propósito seja alcançado, faremos uso de uma versão de uma das lógicas não-monotônicas mais difundidas: a lógica *default* de Reiter (1980). [10]

Seja L a linguagem modal que usamos para construir nossa lógica da plausibilidade. Abaixo definimos a linguagem construída para representar o que chamamos de *implicações refutáveis*:

<u>DEFINIÇÃO 6</u>

A linguagem $L_{\succ}$ é definida a seguir:

(i) Se $\alpha \in L$ então $\alpha \in L_{\succ}$;
(ii) Se $\alpha,\beta,\varphi \in L$ então $\alpha \succ \beta? \lnsim \varphi \in L_{\succ}$.
(iii) Se $\alpha,\beta,\varphi \in L$ então $\alpha \succ \beta! \lnsim \varphi \in L_{\succ}$.

$\alpha \succ \beta \lnsim \varphi$ significa "α implica não-monotonicamente β exceto se φ." $\alpha \succ \beta$ é uma abreviação para $\alpha \succ \beta \lnsim (p \wedge \neg p)$ e $\beta \lnsim \varphi$ é uma abreviação para $(p \vee \neg p) \succ \beta \lnsim \varphi$, onde *p* é um símbolo proposicional arbitrário.

[10] Um relato complete desse Sistema não monotônico é dado em Silvestre (2012), capítulo 6.

$\alpha \succ \beta \precnsim \varphi$ é construída para funcionar como uma implicação refutável; que α implica β é derrotado ou refutado pela presença de ou $\neg\beta$. α, que é chamado de antecedente da implicação, representa o pré-requisito do *default* de Reiter; β, que chamamos de consequente da implicação, faz o papel do consequente do *default* de Reiter; e φ, chamado de exceção da implicação refutável, corresponde à negação da parte semi-normal do *default* de Reiter. $\alpha \succ \beta \precnsim \varphi$ corresponde, portanto, ao *default* $\alpha:\beta \wedge \varphi/\beta$.

Note que é preciso que o consequente β das implicações seja marcado com um símbolo de plausibilidade. Assim garantimos que somente fórmulas plausíveis e refutáveis sejam não-monotonicamente inferidas. Ademais, ao impor tal restrição à forma das implicações refutáveis estabelecemos uma conexão importante entre essa lógica e a lógica modal e monotônica que introduzimos na seção 4: cada implicação refutável pode ser responsável por restringir o conjunto de mundos plausíveis dos modelos capazes de satisfazer a teoria.

Uma conexão mais importante, todavia, ocorre, pois essa lógica multimodal da plausibilidade funciona como a base monotônica da nossa lógica não-monotônica. Abaixo temos a definição da nossa noção de extensão:

DEFINIÇÃO 7

Seja $\Gamma \subseteq L_{\succ}$ um conjunto de fórmulas possivelmente incluindo implicações refutáveis. Seja também $S \subseteq L$ um conjunto de formulas da linguagem modal L. $\Upsilon(S) \subseteq L$ é o menor conjunto que satisfaz as seguintes condições:

(i) $\Gamma \subseteq \Upsilon(S)$;
(ii) Se $\Upsilon(S) \vDash \alpha$ então $\alpha \in \Upsilon(S)$;
(iii) Se $\alpha \succ \beta \precnsim \varphi \Gamma$, $\alpha \in \Upsilon(S)$ e $\neg\beta \notin S$ e $\varphi \notin S$, então $\beta \in \Upsilon(S)$.

Um conjunto de fórmulas $E \subseteq L$ é uma *extensão* de Γ sse $\Upsilon(E)=E$, isto é, sse E é um ponto fixo de Υ.

Note que realizamos o teste de consistência do consequente dentro da própria definição de extensão, evitando automaticamente os chamados *default* anormais. Abaixo temos uma definição da relação inferencial da nossa lógica não-monotônica.

DEFINIÇÃO 8

Sejam $\Gamma \subseteq L_{\succ}$ um conjunto de fórmulas possivelmente incluindo implicações refutáveis e $\alpha \in L$ uma fórmula. α é *não-monotonicamente inferida* de Γ ($\Gamma \vdash$) sse, para todas as extensões E de Γ, $\alpha \in E$.

DEFINIÇÃO 9

Seja $\Gamma \subseteq L_{\succ}$ um conjunto de fórmulas possivelmente incluindo implicações refutáveis. Chamamos o conjunto $\Gamma^{\circ}=\{\alpha \mid \Gamma \vdash\}$ de *extensão não-monotônica* de Γ.

Sobre a formalização da dinâmica de teorias científicas

Na seção 5 sugerimos a formalização de hipóteses auxiliares com a ajuda das nossas modalidades de plausibilidade. Embora isso funcione bem para sistemas teóricos estáticos, é insuficiente para dar conta da dinâmica de teorias científicas em contextos anômalos. Como exemplificado no caso do movimento anômalo de Urano e da descoberta de Netuno, um relato satisfatório do desenvolvimento desencadeado pela anomalia deve levar em consideração as mudanças de *status* a que as hipóteses auxiliares estão sujeitas. De acordo com a terminologia que usamos aqui, isso significa explicitar o caráter refutável que as hipóteses podem possuir, sejam as provisórias ou as plausivelmente aceitas.

Para que isso seja realizado, usamos o formalismo não-monotônico introduzido na seção anterior. Para começar, é necessário tecer uma definição mais rigorosa de um sistema teórico formalizado.

<u>DEFINIÇÃO 10</u>

Um *sistema teórico formalizado* Λ^* é uma tríade $<\mathrm{T},\mathfrak{H},\mathrm{O}>$ tal que $\mathrm{T},\mathrm{O}\subseteq\mathrm{L}$ são conjuntos de fórmulas representado, respectivamente, a teoria e o conjunto de enunciados observacionais, e $\mathrm{H}\subseteq\mathrm{L}_{\gtrsim}$ é um conjunto de fórmulas possivelmente incluindo implicações refutáveis representando as hipóteses auxiliares.

Como concordamos na seção 5, membros de O são fórmulas não modais, e membros de T são enunciados certos e irrefutáveis da forma $\Box\varphi$. Do mesmo modo, algumas das hipóteses de $\mathfrak{H}$ são também tidas como certas e representadas como $\Box$-fórmulas. As leis matemáticas e enunciados de definições são representados como fórmulas não modais.

Sobre as hipóteses refutáveis de $\mathfrak{H}$, deve ser lembrado o princípio HAR (ao qual toda hipótese refutável está sujeita) que estabelece que a aceitação de uma hipótese auxiliar provisória *h* torna implausível todas as demais hipóteses provisórias, bem como aquelas aceitas (e refutáveis) que sejam incompatíveis com a solução a que pertence *h*.[11] Por outro lado, podemos dizer que uma hipótese auxiliar provisória permanece com as características da plausibilidade e da provisoriedade *ao menos* que se torne implausível; e que uma hipótese auxiliar refutável permanece como uma hipótese auxiliar aceita de Λ *a menos* que também se torne implausível. Portanto, essas hipóteses refutáveis podem ser representadas, respectivamente, como implicações refutáveis da forma $\alpha?\lesssim(\neg\alpha)?$ e $\beta!\lesssim(\neg\beta)?$, o que significa dizer, grosseiramente, que "α deve ser considerada uma hipótese plausível aceita a menos que se torne implausível" e "α deve ser considerada uma hipótese auxiliar aceita ao menos que se torne implausível", respectivamente. Ao fazer isso, temos em circunstâncias normais que $\alpha?$ e $\beta!$ pertencem à extensão não-monotônica de $\mathfrak{H}$ (em símbolos: $\alpha?\in\mathfrak{H}^{\circ}$ e $\beta!\in\mathfrak{H}^{\circ}$). Entretanto, ao se tornarem implausíveis suas implicações refutáveis são impedidas e, consequentemente, não pertencem mais a $\mathfrak{H}^{\circ}$.[12]

Isso, contudo, só realiza metade da tarefa; ainda é preciso formalizar o processo através do qual uma dada hipótese auxiliar se torna implausível. Sabemos que isso se inicia no momento em que uma nova hipótese auxiliar entra em jogo. O que acontece em seguida, conforme o princípio HAP, é a formação de uma ano-

[11] Para que se mantenha a simplicidade, trabalhamos com a suposição de que um sistema teórico é enfrentado por e tenta lidar com no máximo uma anomalia de cada vez.

[12] É importante notar que $\mathfrak{H}^{\circ}$ é a representação exata do sistema teórico de acordo com os moldes que estabelecemos na seção 5.

malia, isto é, (i) um relato observacional A que (ii) o sistema teórico é incapaz de explicar, e existe uma nova hipótese *h* que (iii) isoladamente não consegue explicar A mas que (iv) em conjunto com parte do sistema teórico forma um conjunto consistente capaz de realizar a explicação. Estas quatro condições, que resumem o princípio HAP, podem ser formalizadas como se segue:

<u>DEFINIÇÃO 11</u>

Seja $\Lambda^* = <T,\mathfrak{H},O>$ um sistema teórico formalizado, $\alpha \in O$ uma fórmula representando uma anomalia, $\mathfrak{H}' \subseteq \mathfrak{H}$ um subconjunto do conjunto de hipóteses auxiliares e $\varphi \in L$ uma fórmula. φ satisfaz o princípio HAP em relação a e $\mathfrak{H}'$ e pode assim ser tomada como uma hipótese auxiliar provisória sse as condições a seguir forem satisfeitas:

(i) $O \vdash \alpha$;
(ii) $T \cup \mathfrak{H} \vdash \neg\alpha$;
(iii) $\{\varphi\} \nvdash \alpha$;
(iv) $\mathfrak{H}'$ é tal que para qualquer $\beta \in \mathfrak{H} - \mathfrak{H}'$ o conjunto $T \cup \mathfrak{H}' \cup \{\varphi, \beta\}$ é inconsistente;
(v) $T \cup \mathfrak{H}' \cup \{\varphi\} \vdash \alpha$.

Quando uma formula φ satisfaz princípio HAP, então sua versão refutável $\varphi?\precsim(\neg\varphi)?$ é incluída em Λ^* como um novo membro de $\mathfrak{H}$. Ao fazer isso, contudo, colocamos como um potencial contestador de muitas das velhas hipóteses auxiliares refutáveis de $\mathfrak{H}$. Primeiramente, φ derrota todas as hipóteses ϕ que não pertencem ao subconjunto de hipóteses auxiliares $\mathfrak{H}'$ usado para explicar α. Isso pode ser tornado explícito ao se incluir a $\mathfrak{H}$ a explicação refutável $\varphi!\succ(\neg\phi)?$, pois com isso podemos, da aceitabilidade de φ, inferir não-monotonicamente $(\neg\phi)?$, que é o refutador direto da representação formal de ϕ in $\mathfrak{H}$: $\phi!\precsim(\neg\phi)?$. Posto de outra forma, se φ se torna aceita, $\phi!$ não pertence mais a $\mathfrak{H}^\circ$. Note que o fato de que φ derrota ϕ é também derrotado pela implausibilidade de φ: a aceitação de $\varphi!$ é formalizada pela inclusão de $\varphi!\precsim(\neg\varphi)?$ (a $\mathfrak{H}$), que na presença de $(\neg\varphi)?$ não infere $\varphi!$.

Em segundo lugar, φ derrota todas as demais hipóteses auxiliares provisórias β propostas como solução da anomalia α: se φ é aceita, todas essas fórmulas se tornam implausíveis. Seguindo o mesmo raciocínio, isso pode ser formalizado pela inclusão de $\varphi!\succ(\neg\beta)?$ a $\mathfrak{H}$. Ademais, todas as outras hipóteses auxiliares provisórias β também derrotam φ: a aceitação de uma delas torna φ implausível. Isso também pode ser explicitado pela inclusão de $\mathfrak{H}$ à implicação refutável $\beta!\succ(\neg\varphi)?$.

Este processo de mudança de hipóteses auxiliares pode ser representado de forma algorítmica como se segue:

<u>DEFINIÇÃO 12</u>

Seja $\Lambda^* = <T,\mathfrak{H},O>$ um sistema teórico formalizado, $\alpha \in O$ uma fórmula representando uma anomalia, $\mathfrak{H}' \subseteq \mathfrak{H}$ um subconjunto do conjunto de hipóteses auxiliares e $\varphi \in L$ uma fórmula. Se φ satisfaz o princípio HAP em relação a α e $\mathfrak{H}'$, então

(i) $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \cup \{\varphi?\precsim(\neg\varphi)?\}$;[13]

[13] Trivialmente, aqui '=' não é mais uma relação de identidade, mas um operador de atribuição.

(ii) Para cada $\phi \in \Sigma_{!}(T \cup O \cup \mathfrak{H} - \mathfrak{H}')$ tal que $T \cup \mathfrak{H} \cup O \not\models \phi \leftrightarrow \varphi$, $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \cup \{\varphi! \gtrdot (\neg\phi)?\}$;

(iii) Para cada $\beta \in \Sigma_{?}(T \cup O \cup \mathfrak{H})$ tal que $T \cup \mathfrak{H} \cup O \not\models \phi \leftrightarrow \varphi$, $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \cup \{\varphi! \gtrdot (\neg\beta)?\}$;

(iv) Para cada $\beta \in \Sigma_{?}(T \cup O \cup \mathfrak{H})$ tal que $T \cup \mathfrak{H} \cup O \not\models \phi \leftrightarrow \varphi$, $\mathfrak{H} = \mathfrak{H} \cup \{\beta! \gtrdot (\neg\varphi)?\}$;

, com $\Sigma_{!}$ e $\Sigma_{?}$ Sendo duas funções simples que extraem de $\mathfrak{H}$ suas hipóteses plausíveis e aceitas.

<u>DEFINIÇÃO 13</u>

Seja $\Gamma \in L_{\gtrdot}$ um conjunto de fórmulas que possivelmente contém implicações refutáveis. Definimos as funções $\Sigma_{!}$ e $\Sigma_{?}$ como segue:

(i) $\Sigma_{!}() = \{\alpha \mid \alpha! \not\lesssim (\neg\alpha)?$ e $\alpha! \in \Gamma^{\circ}\}$;

(ii) $\Sigma_{?}(\Gamma) = \{\alpha \mid \alpha? \not\lesssim (\neg\alpha)?$ e $\alpha? \in \Gamma^{\circ}\}$.

É importante enfatizar que demos aqui um esboço de apenas um de vários processos existentes através dos quais enunciados se tornam hipóteses auxiliares provisórias plausíveis (e, como um subproduto, oferecemos também um relato do processo pelo qual hipóteses anteriormente plausíveis se tornam implausíveis). Também devemos mencionar que nos omitimos quanto ao processo pelo qual hipóteses provisórias se tornam aceitas.

Conclusão

Oferecemos neste artigo uma análise lógica do processo de mudança de teorias devido a anomalias. Nosso foco se deu sobre um modo particular, embora bastante tradicional, de lidar com o surgimento de anomalias: a manutenção das leis da teoria e a proposta de novas hipóteses auxiliares provisórias capazes de explicar a anomalia. Após a investigação de alguns aspectos chaves do processo de mudança de teorias sofrido pela mecânica celestial newtoniana no caso do comportamento anômalo de Urano, propomos um *framework* lógico multimodal e não-monotônico capaz de representar, como tentamos demonstrar, alguns aspectos chave dessa importante faceta da dinâmica de teorias científicas. Apesar do fato de termos trabalhado com uma visão demasiadamente simplificada de várias características das teorias científicas – incluindo sua estrutura e dinâmica – acreditamos que as ideias e resultados apresentados aqui fornecem boas evidências da capacidade da abordagem lógica geral que decidimos seguir.

Financiamento: Este trabalho foi financiado pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), edital MCT/CNPq N°. 03/2009.

Referências bibliográficas

BÉZIAU, J. Y. The future of paraconsistent logic. *Logical Studies*, v. **2**, p. 1-23, 1999.

BRAITHWAITE, R. B. *Scientific Explanation*. Cambridge University Press, 1953.

BUCHSBAUM, A., T. Pequeno, and M. Pequeno. A logical expression of reasoning. *Synthese*, v. 154, p. 431–466, 2007.

CURD, M. and COVER, J. A. *Philosophy of Science: The Central Issues*. W.V. Norton&Company,1998.

FITTING, M. Basic modal logic. In D. Gabbay, C. J. Hogger, and J. A. Robinson, eds, *Handbook of Logic in Artificial Intelligence and Logic Programming*, vol. 1. Oxford University Press, 1993.

GABBAY, D. M., HOGGER, C. J., and ROBINSON, J. A. *Handbook of Logic in Artificial Intelligence and Logic Programming: Nonmonotonic Reasoning and Uncertain Reasoning*. vol. 3. Oxford University Press, Inc., 1994.

GRANT, R. *History of Physical Astronomy*. Henry G. Bohn, 1852.

HEMPEL, C. G. *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*. Free Press, 1965.

HUMPHREYS, W. C. *Anomalies and Scientific Theories*. Freeman, Cooper and Co., 1968. Disponível para download em jigpal.oxfordjournals.org (Acesso em 2 de dezembro de 2010).

LAKATOS. Falsification and the methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos ______. and MUSGRAVE (Eds.), *Criticism and the Grown of Knowledge*. Volume 1. Cambridge University Press, 1970.

MERRILL, G. H. Confirmation and prediction. *Phylosophy of Science*, v. 46, p. 98-117, 1979.

PEQUENO, T. H. C. and BUCHSBAUM, A. R. V. The logic of epistemic inconsistency. In ALLEN, J. *et al*., R. J. Brachman, E. Sandewall, H. J. Levesque, R. Reiter, and R. Fikes, eds, *Principles of Knowledge Representation and Reasoning: Proceedings of Second International Conference*, p. 453-460. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1991.

REITER, R. A logic for default reasoning. *Artificial Intelligence*, v. 13, p. 81-132, 1980.

SALMON, W. C. Four decades of scientific explanation. In KITCHER, P. and SALMON, W. C. (Eds.), *Scientific Explanation*. Vol. XII of *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, University of Minnesota Press, 1989.

SILVESTRE, R. S. *Induction and Plausibility. A Conceptual Analysis from the Standpoint of Nonmonotonicity, Paraconsistency and Modal Logic*. Lambert Academic Publishing, 2010.

SILVESTRE, R. S. Paranormal Modal Logic – Part I. The system $K_?$ and the foundations of the logic of skeptical and credulous plausibility. *Logic and Logical Philosophy*, 21, 67-101, 2012.

SILVESTRE, R. S. Paranormal Modal Logic – Part II. $K_?$, K and Classical Logic and other Paranormal Modal Systems. *Logic and Logical Philosophy*, v. 22, p. 89-130, 2013.

STANDAGE, T. *The Neptune File: A Story of Astronomical Rivalry and the Pioneers* *of Planet Hunting*. Walker Publishing Company, 2000. Disponível para download em: jigpal.oxfordjournals.org (acesso em 20 de dezembro de 2016).

Recebido em: 14 de abril 2017
Aprovado em: 26 de junho 2017