

Publicado em: LYCURGO, Tassos. “Ciência e razão: Gödel, Einstein e lógicas heterodoxas”.
In: FOSSA, John. (Org.). *Presenças matemáticas*. Natal (RN): Edufrn, 2004, p. 35-48.

CIÊNCIA E RAZÃO: GÖDEL, EINSTEIN E LÓGICAS HETERODOXAS

Tassos LYCURGO
Lycurgo@amb.com.br

The most beautiful experience we can have is the mysterious. It is the fundamental emotion which stands at cradle of true art and true science. Whoever does not know it and can no longer wonder, no longer marvel, is as good as dead, and his eyes are dimmed.

Albert Einstein

A idéia de que o ser humano possa ter concepções diversas a respeito de uma suposta realidade (mundo) não parece configurar problema no que concerne à aceitação dos homens. Considere-se que a história da ciência é capaz de apresentar, pelo menos em algum sentido, teorias diferentes que foram sendo substituídas no passar do tempo. Desta feita, teorias físicas seriam quadros¹ do mundo cuja ligação com este pode ser questionada. O teor de independência que se verifica em tais teorias inquirir pelo discorrimento a respeito dos critérios de qualificação das teorias físicas como tais. Parece ser esta, segundo Lokenath Debnath, a posição de Albert Einstein. Diz o primeiro:

Einstein stated that physical concepts are logically freely chosen conventions or creations of the human mind, and cannot be obtained by any logical process of deduction, induction or abstraction from sense experiences. The totality of concepts and propositions constitute a physical theory provided it satisfied two essential requirements: (i) external justification, which means the agreement between theory and experiment, and (ii) internal perfection, which implies that the theory can be inferred from the most general principles without addition concepts and assumptions. (Debnath, 1982, p. 320).

O critério de restrição dos candidatos à teoria imposto por (i) delimita o conjunto das teorias ao das que discorram sobre mundos possíveis os quais esclareçam satisfatoriamente as asseverações impostas pela experiência². É importante que se diga que tais asseverações infundidas pela experiência parecem ser satisfazíveis pragmaticamente, o que acarreta alterações na concepção tradicional de verdade científica enquanto verdade correspondencial.

O critério (ii) é mais problemático. Veja-se que a partir de Kurt Gödel, com o seu texto “Sobre sentenças formalmente indecidíveis de *Principia mathematica* e sistemas relacionados”³, publicado em 1931, pode-se afirmar que,

para uma vasta classe de sistemas formais que contivessem a aritmética, (...) [além de não haver] procedimento computacional capaz de provar a consistência da teoria dentro da teoria, (...) [provam-se] os seguintes resultados: (iii) Dada uma sentença de um destes sistemas formais, supostos consistentes, não existe nenhum procedimento computável capaz de verificar se tal sentença é ou não um teorema daquela teoria. [A isto se chamará indecidibilidade]. E (...) (iv) Se a teoria em causa é consistente, ela é incompleta, ou seja, há sentenças verdadeiras dentro da teoria que, no entanto, não são teoremas desta teoria. [A isto se chamará incompletude]. (Leão, 1987, p. 117)

Vale salientar que a inserção de (iii) e (iv) neste contexto de abordagem de (ii) somente faz sentido diante a possibilidade de se prolongar às formulações axiomáticas das teorias físicas, os resultados de incompletude, como os obtidos por Gödel. Da mesma forma, também é importante dizer que o critério de completude em (ii) tratado em (iv) diz respeito a estrutura matemática da teoria. Pois,

Uma teoria física, na acepção comum do termo, pode ser vista, em uma primeira aproximação, como uma tripla $T = \langle M, D, R \rangle$, onde M é a estrutura matemática da teoria, ou seja, M nos informa o que a teoria é, do prisma da matemática; D é o seu domínio de aplicabilidade; (...) finalmente, R constitui um conjunto de regras, (...) que permite conectar a teoria T (ou M) com D . (...) Axiomatizar uma teoria (...) consiste principalmente em definir a sua contraparte matemática, ou seja, a sua estrutura. (De Souza, 1997, p. 107).

Há outras maneiras de se definir critério da completude de uma teoria que não concirna ao aspecto matemático, como por exemplo dizer que “a physical theory is complete if every element of the physical reality has a counterpart in the physical theory”. (Debnath, 1982, p. 324) Entretanto, formulações como esta são incapazes de serem manipuladas com maior rigor, ao passo que uma axiomatização de uma teoria física é significativamente susceptível ao uso de ferramentas lógico-matemáticas.

Viu-se que a axiomatização de teorias físicas é de grande valia, pois

dispondo-se [de tais axiomatizações], é possível estender a elas teoremas da incompletude como o de Gödel, de tal maneira que, no campo de física, a proposição indecidível possui significado físico; de modo mais amplo, torna-se possível provar teoremas sobre essas

teorias, constituindo-se uma “metateoria” das teorias. (Da Costa, 1997, p. 269)

À parte isto, Newton da Costa apresenta outras vantagens das formulações axiomáticas das teorias. Segundo o filósofo, a axiomatização esclarece a teoria, trazendo à tona o que Einstein chamou de “our notions of physical reality” (Einstein, 1954, p. 266), ou melhor, as noções da realidade física que expõe ou reza a teoria em questão.

Contudo, para o processo de axiomatização de uma teoria, há de mister que se identifiquem as idéias básicas, os alicerces ou conceitos que devem ser tomados como axiomas na contraparte formal, da teoria. No que diz respeito a relatividade restrita, Abraham Pais diz:

A nova teoria [a relatividade restrita] baseia-se inteiramente em dois postulados⁴: (v) As leis da física assumem a mesma forma em todos os referenciais inerciais; (vi) Em qualquer referencial inercial a velocidade da luz, c , é sempre a mesma, seja emitida por um corpo em repouso ou por um corpo em movimento uniforme. (Pais, 1995, p. 160).

A assunção de (v) é fundamentada, como mostra Goldberg, no artigo einsteiniano “Sobre a electrodinâmica dos corpos em movimento”. Neste texto, escreve Einstein:

Em todos os sistemas de coordenadas em que são válidas as equações da mecânica, também são igualmente válidas leis ópticas e electrodinâmicas da mesma forma — o que, até à primeira ordem de aproximação, já está demonstrado. Vamos erguer à categoria de postulado esta nossa suposição (a cujo conteúdo chamaremos daqui em diante ‘Princípio da relatividade’); e, além disso, vamos introduzir o postulado — só aparentemente incompatível com o primeiro — de que a luz, no espaço vazio, se propaga sempre com uma velocidade determinada, independente do estado de movimento da fonte luminosa. (Einstein, 1958, p. 48).

É importante notar que, no intuito de que (v) e (vi) sejam tomados como axiomas, faz-se necessário que um não seja dedutível a partir do outro. Pois, se assim for, basta que se tome por axioma, o mais abrangente, e deste, se deduza o segundo. Tal consideração talvez leve a constatação de que o (vi) pode ser dedutível de (v). O que não é de todo absurdo, já que

according to the first postulate [postulado (v)], the laws of physics have the same form in all frames of reference. That the speed of light is constant [postulado (vi)] is a law of physics. Therefore, the speed of

light is a constant in all inertial frames of reference. (Goldberg, 1984, p. 106)

Entretanto, para que se considerasse que (vi) é dedutível a (v), e portanto, que somente se deveria tomar (v) por postulado, o argumento exposto na citação anterior haveria de ter uma correspondência com a experiência, o que pede (i). Não obstante, “no experiment measures the speed of light in one direction. Since nothing can keep up with light, all measurements of its speed are round trip averages”(Goldberg, 1984, p. 106). E esta parece ser uma razão suficiente para manter (vi) como axioma.

Através dos axiomas (v) e (vi), muitas proposições podem ser lógico-matematicamente demonstradas, como por exemplo a de que “no signal of any kind can propagate at a greater speed than that of light” (Debnath, 1982, p. 317). Entretanto, ao que parece pode-se provar a incompletude (no sentido do Teorema de Gödel) para teorias físicas. E a relatividade é uma delas. Assim sendo, a questão consiste na análise das provas de incompletude de teorias físicas enquanto filosofia positiva, e não apenas uma maneira de se demonstrar a fragilidade destas teorias.

Pode-se pensar que a possibilidade de se provar incompletude em teorias físicas, embora seja fruto da manipulação de (ii), tem o seu fundamento em uma reformulação sutil de (i), exposta como uma outra maneira de se ler o critério da completude. O que se quer dizer é que ao se axiomatizar teorias físicas, os resultados obtidos de manipulações formais desta axiomatização são, *stricto sensu*, resultados formais, abstratos em certo sentido. Contudo, há uma ligação entre estes resultados e o que se vê no mundo físico, do qual se quer falar. Daí a importância da análise do critério da completude segundo a definição que reza que “a physical theory is complete if every element of the physical reality has a counterpart in the physical theory” (Debnath, 1982, p. 324). Ou seja, provar a incompletude desta teorias talvez seja dizer que há sempre mais no mundo do que a teoria específica pode abranger. E, do ponto de vista de uma filosofia positiva, este é um argumento em prol da viabilidade de criação de uma teoria do campo unificado. Note-se que

According to Einstein, science is the development of prescience thought, and so the best scientific theory is a unified field theory. (...) With a view to developing a new unified foundations of physics, Einstein’s lifelong search for a Unified Field Theory. (...) [It was] undoubtedly one of the most remarkable and intellectual projects ever formulated in the history of science. (Debnath, 1982, p. 319).

Atestado o valor da pesquisa, vale perguntar sobre a maneira pela qual tal empreitada seria viável.

A maneira tradicional de se tentar unificar as quatro leis fundamentais da física, a saber: nuclear fraca e forte; eletromagnética e gravitacional, parece ter fracassado veementemente. Uma saída seria se buscar caminhos formais alternativos. Segundo da Costa:

por meios de lógicas adequadas, paraconsistentes, a unificação, em princípio, parece que é sempre possível (...). Frisemos que aqui se trata de uma unificação inteiramente diversa da tradicional, que pressupõe a lógica clássica. (Da Costa, 1997, p. 159).

O advento das lógicas não-clássicas é de grande valia para o progresso do pensamento científico. Lembre-se que, historicamente, a geometria euclidiana foi, à sua época, uma fonte de certeza inquestionável, um ilha fixa onde os matemáticos e cientistas naturais podiam ter o seu referencial imoto na correnteza fugitiva do mar das investigações a respeito das ciências naturais. Contudo, a estabilidade ou fixidez desta ilha foi violentamente aluída graças às façanhas de principalmente três matemáticos, a saber: C. F. Gauss (1777-1855), G. F. B. Riemann (1826-66) e, especialmente, N. I. Lobachevsky (1792-1856), quem dedicou a maior parte de sua obra às pesquisas em geometrias não-euclidianas. Estes matemáticos mostraram que era possível a empresa de desenvolver sistemas geométricos consistentes onde o axioma de Play-Fair — uma versão moderna do quinto postulado de Euclides — não seria considerado nesta nova geometria. Esta foi, sem dúvidas, uma das maiores revoluções intelectuais já produzidas pelo homem.

E, certa analogia feita a respeito da filosofia da lógica, lembra que da Costa identifica o aparecimento das lógicas não-clássicas como uma revolução desta natureza. Assim sendo, ao Tratar da transformação causada pelo aparecimento das lógicas heterodoxas, diz da Costa: “As novas lógicas mostraram que logicidade e racionalidade não se identificam; nas sistematizações racionais podemos utilizar lógicas distintas da clássica ou ortodoxa, caso isso nos seja conveniente”. (Da Costa, 1993, p. 13)

Em outras palavras, a lógica escolhida passa a ser conseqüência da conveniência da perquirição do investigador. Quer dizer, algo semelhante, ou pelo menos que se incline a uma concepção pragmática é que regeria a escolha do sistema formal a ser utilizado. Ou seja, “a validade ou não de qualquer lógica se julga exatamente como no caso da geometria: influem condições pragmáticas, teóricas e a experiência, esta última em sentido amplo” (Da Costa, 1997, p. 83).

Assim sendo, a questão passa a basear-se em como gerenciar a escolha das lógicas a serem utilizadas para cada tipo de fenômenos físicos. Aqui, volta-se a tentativa de unificação, e às lógicas que farão o papel de lógicas gerenciadoras. Destas, três podem ser apresentadas: A lógica universal, A teoria das valorações e a Lógica multidedutiva.

Pode-se pensar que como consequência da possibilidade de estruturação diversa das inferências formais, ter-se-ia a idéia de que a razão pode ser estruturada de maneiras diversas e muitas vezes incompatíveis. O que faz sentido. Diante disto, o homem encontra-se, ao que parece, livre para delimitar seu arcabouço conceptual independentemente de fundamentos intrínsecos ao próprio conceito, visto que, o homem pode apenas ser delimitado pelas barreiras impostas pelo princípio antrópico, mas claramente estas não representam obstáculo para uma concepção pragmática de ciência. Em outras palavras,

o matemático *qua* matemático puro, pode inventar, legitimamente, as geometrias mais variadas, cabendo ao físico a tarefa de discernir quais dentre elas têm aplicações nas ciências físicas. [a geometria volta-se para] elucubrações abstratas, hipotético-dedutivas (Da Costa, 1997, p. 68).

Segundo da Costa, foi a necessidade pragmática que desembocou no aparecimento de novas lógicas. Ele diz: “As concepções tradicionais da razão se evidenciaram impotentes para dar conta do novo estado de coisas” (Da Costa, 1993, p. 13). Desta feita, pode-se afirmar que a lógica, ou a estruturação da razão, não está determinada aprioristicamente, mas ao contrário, pode ser fruto da manipulação racional no intuito da estruturação de um sistema formal. A descoberta das lógicas heterodoxas coloca o homem, que por hipótese é detentor da razão, em uma situação particular. Ou seja, o próprio homem, ao criar as lógicas heterodoxas, torna-se a si mesmo e ao modo como desenvolve-se o seu pensamento hipoteticamente racional, independentes de uma suposta lógica que regeria o universo, do qual o próprio homem é a parte.

Aqui, faz-se necessário que se desentenebreça o que se quer dizer por incompatibilidade de sistemas formais. Saiba-se que se consideram lógicas incompatíveis, as que não foram criadas na intenção de complemento da lógica clássica. Um exemplo de um sistema lógico deste tipo é a lógica modal. Mas há alguém de inquirir-se sobre o porquê que um lógico desenvolveria um sistema formal para complemento de outro. A resposta para tal oposição à crença do senso comum é dada ao demonstrar-se que o aperfeiçoamento de sistemas de organização de pensamentos racionais não torna necessariamente um sistema mais poderoso que outro em termos absolutos, mas apenas se tomarmos um contexto referencial para tal, se consideramos o escopo de cada sistema para julgar o poder de aplicação da lógica. De maneira tal que, como já foi explicitado, o julgamento ou a escolha da lógica é de natureza pragmática. Para que se mostre a importância do contexto pragmático na passagem de lógicas complementares, ou que não são incompatíveis, há de mister que se apresente os caracteres mais importantes em uma passagem deste tipo. Assim sendo, comece-se por definir um exemplo de lógica desta natureza. A saber, a modal.

Os dicionários trazem a palavra modal, no sentido filosófico, se referindo a uma preposição cujo caráter de afirmação e negação pode ser

modificado por um dos quatro modos, a saber: possível, contingente, impossível e necessário. Segundo Hughes e Cresswell, “modal logic can be described briefly as the logic of necessity and possibility, of *must be* and *may be*” (Hughes, 1968, p. ix). A relação da lógica modal com verdade talvez se dê na afirmação de que se ‘a é possível’ então ‘a é verdadeiro em um mundo possível’, ou, se ‘a é necessário’ então ‘a é verdadeiro em todos os mundos possíveis’. Desta feita, vê-se que a lógica modal, embora seja considerada uma lógica heterodoxa⁵, não tenta substituir a lógica clássica em seus princípios básicos racionais, mas, pelo contrário, procura complementar a lógica clássica, tornando-a mais flexível. O que pode ser útil em certo contexto, mas não em outro.

Exemplos de outro tipo de lógica são, como diz da Costa:

As lógicas formadas com o intuito de substituir a lógica clássica em todos ou em determinados contextos racionais; como exemplos destas lógicas temos, a lógica intuicionista e a lógica paraconsistente. Estas últimas, em certo sentido, são rivais da lógica ortodoxa. (Da Costa, 1993, p. 16)

O filósofo mostra também que a determinação de que duas lógicas são compatíveis ou incompatíveis, se são complementares da lógica ortodoxa ou se são destruidoras dos axiomas ortodoxos, não é, esta determinação, elementar e absoluta. Ele exemplifica:

Uma lógica proposta inicialmente como rival da clássica pode, em geral, ser encarada como sua complementar. Este é o caso da lógica intuicionista: ela foi edificada como rival da lógica tradicional, para substituí-la na sistematização do pensamento matemático construtivo, mas é susceptível de ser apresentada também como complemento da lógica ortodoxa (...). [Há muitos exemplos desta natureza, como] os sistemas lógicos de Lesniewski e a teoria ramificada dos tipos. (Da Costa, 1993, p. 16-7)

Desta maneira, conclui-se que o homem encontra-se diante de problemas fundamentais na possibilidade do seu conhecimento a respeito do mundo, pois se mostrou a impossibilidade de desentenebrecimento dos porquês munidos de ‘realidade’ que levam um homem a escolher uma lógica e não outra, e a explicação para tais ações mantém-se em níveis alheios ao próprio escopo da pesquisa de formalização dos processos pelos quais pensamos.

Bibliografia

DA COSTA, Newton C. A. *Lógica Indutiva e Probabilidade*. São Paulo: Edusp, 1993.

_____. *O conhecimento científico*. São Paulo: Discurso Editorial, 1997.

DE SOUZA, E. G. Lógicas multidedutivas e aplicações. In: da Costa, Newton C. A. *O conhecimento científico*. São Paulo: Discurso Editorial, 1997, p. 104-111, 294 p.

DEBNATH, Lokenath. Albert Einstein: scientific epistemology. In: Rassias, T. M. & Rassias, G. M. (editors). *Selected studies: physics-astronomy, mathematics, history of science*. Amsterdam: North-Holland, 1982.

EINSTEIN, Albert. *Ideas and opinions by Albert Einstein*. London: Souvenir, 1954. [This book was based on *Mein Weltbild*, edited by Carl Seeling, and other sources].

_____. Sobre a electrodinâmica dos corpos em movimento. In: LORENTZ, H. A.; EINSTEIN, A.; MINKOWSKI, H. *Textos fundamentais da física moderna: o princípio da relatividade*. 3 ed. Trad. de Mário J. Saraiva. Lisboa: Calouste, S/D. (I volume).

GHINS, Michel. *A inércia e o espaço-tempo absoluto: de Newton a Einstein*. Campinas: Unicamp, 1991. (Col. CLE, Vol. 9)

GOLDBERG, Stanley. *Understanding relativity: origin and impact of a scientific revolution*. Oxford: Clarendon, 1984.

HUGHES, G. E. e M. J. Cresswell. *An Introduction to Modal Logic*, London: Methuen, 1968.

LEÃO, E. C.; d'Amaral, M. T., Sodré, Muniz & Doria, F. A. *A Máquina e seu avesso*. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1987.

PAIS, Abraham. *Sutil é o Senhor: a ciência e a vida de Albert Einstein*. Trad. de Fernando Parente & Viriato Esteves. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

¹ O sentido que se quer dar assemelha-se ao do alemão Bild: imagem, ilustra o, figura, símbolo ou metáfora.

² No caso da relatividade geral, por exemplo, parece que (i)   bem satisfeito. Pois, "Einstein's general theory made several notable and testable predictions about physical world that have experimentally been verified with sufficient accuracy. Three of them including the precession of the perihelion of the orbit of the planet Mercury, the gravitational redshift of light, and the

bending of light rays by the sun, provided the most famous and conclusive test of the general theory” (Debnath, 1982, p. 318).

³ Embora não se obtenha o texto, aqui apresenta-se a referência completa: GÖDEL, K. Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter System, I. Monatshefte fuer Math. U. Phys., 38: 173-98, 1931.

⁴ Tais postulados são bem aceitos na comunidade científico-filosófica. Veja-se, por exemplo o que escreveu Stanley Goldberg: ‘Einstein’s theory began by invoking as a starting point the principle of relativity: (v) The laws of physics have the same form in all inertial frames of reference. (...) [O outro postulado da relatividade pode ser descrito da seguinte maneira:] (vi) The speed of light will be the same in vacuum in all inertial frames of reference regardless of the relative states of motion of the frames”. (Goldberg, 1984, p. 104-5). E Michel Ghins: “[Dois são os postulados]: (v) Se as leis da física (mecânica e eletromagnetismo) se escrevem sob forma vetorial em um sistema de referência, elas se escrevem desta forma em todos os sistemas em movimento retilíneo uniforme em relação a este sistema de referência [p. 135]; (...) (vi) A luz se propaga sempre no vácuo a uma certa velocidade c independentemente do estado de movimento da fonte luminosa [p. 139]” (Ghins, p. 135-9).

⁵ Segundo o lógico brasileiro Newton da Costa, há duas condições as quais deve um sistema lógico qualquer satisfazer pelo menos uma, para que seja considerado um sistema lógico heterodoxo ou não clássico. As duas condições são: 1) Sua linguagem difere basicamente da linguagem da lógica clássica, especialmente pela sua interpretação semântica. 2) Alguns dos princípios centrais da lógica tradicional não valem no sistema lógico em questão. Newton da Costa ainda nota que “é evidente que estas duas condições estão intimamente relacionadas: um câmbio de semântica em geral acarreta mudança de princípios e reciprocamente” (Da Costa, 1993, p. 16).