



Os modelos e a pragmática da investigação

Luiz HENRIQUE DE ARAÚJO DUTRA



RESUMO

Este artigo propõe uma alternativa à abordagem semântica na interpretação das teorias científicas, a partir de uma análise das diversas concepções de modelo encontradas na literatura pertinente. Os defensores da abordagem semântica interpretam as teorias científicas como famílias de modelos. O termo “modelo” não é clara e univocamente definido por eles, mas sua compreensão se aproxima, aparentemente, daquela dos lógicos e filósofos, segundo a qual um modelo é uma estrutura conjuntista que permite interpretar determinada linguagem. Uma noção alternativa de modelo é aqui apresentada, a saber, o modelo como uma entidade abstrata ou contexto possível ao qual se aplicam direta e exatamente determinadas leis. Desse modo, “modelo” ganha um sentido próximo tanto do senso comum, quanto daquele em que, aparentemente, os cientistas empregam o termo.

PALAVRAS-CHAVE • Teorias. Modelos. Abordagem semântica. Abordagem pragmática. Pragmática da investigação. Operacionalismo. Mach. Bridgman. Hesse. Cartwright.

INTRODUÇÃO

Os adeptos da abordagem semântica na interpretação das teorias científicas – entre eles, Patrick Suppes, Bas van Fraassen e Frederick Suppe – sustentam que as teorias devem ser interpretadas como coleções ou famílias de modelos. Eles não chegam a tratar mais detalhadamente do tema dos modelos propriamente, e seus comentários a esse respeito quase se limitam a esclarecer que o termo “modelo” não é tomado por eles no sentido que é corrente entre cientistas e filósofos, segundo o qual um modelo é uma cópia ou réplica de alguma coisa. Assim, a pressuposição comum, feita a partir de tais comentários, é que “modelo” se refere a estruturas matemáticas, como aquelas que permitem interpretar uma linguagem de primeira ordem, ou seja, o que se costuma denominar *modelo matemático*.

Outros filósofos da ciência, que não pertencem ao grupo que defende a abordagem semântica, tomam o termo “modelo” em sentido mais amplo, e, de fato, se aproximam da interpretação intuitiva ou de senso comum. Mary Hesse e Nancy Cartwright,

por exemplo, falam respectivamente de modelos como *analogias* e como *simulacros*, isto é, como representações das coisas que guardam com elas certa similaridade. Neste sentido, mesmo um defensor da abordagem semântica, como Suppe, contempla a idéia quando descreve o que ele chama de *sistemas físicos*, ainda que continue a associar essa noção à abordagem semântica e que também afirme estar falando de modelos que ele denomina, às vezes, *metamatemáticos*, às vezes, *matemáticos*, como veremos.

Se desejamos lidar de forma mais clara e rigorosa com determinadas noções semânticas, como verdade e adequação empírica – o que é a preocupação fundamental do filósofo que mais notoriamente tem defendido a abordagem semântica nas últimas décadas, Bas van Fraassen –, a noção de modelo matemático é, de fato, mais conveniente para a interpretação das teorias científicas. Mas ele também não é claro a respeito de tomar o termo “modelo” apenas no sentido das estruturas que permitem interpretar as linguagens de primeira ordem. Por outro lado, apesar da preocupação de van Fraassen com a dimensão pragmática da ciência (por exemplo, no que diz respeito à explicação científica), sua discussão dos modelos se restringe ao domínio estritamente semântico.

Este não é o caso de Hesse, Cartwright e mesmo de Suppe que, em maior ou menor medida, estão também preocupados com o papel que os modelos e as noções semânticas desempenham na investigação científica, sobretudo no que diz respeito a seu papel heurístico na formulação das teorias científicas e no trabalho de procurar pontos de contato entre elas e os fenômenos, que é a forma como tradicionalmente o tema dos modelos aparece na filosofia da ciência, como nas discussões de Nagel.

Neste artigo, vamos procurar contemplar a preocupação com a prática científica, e discutir mais detalhadamente a noção de modelo como réplica, mas não exclusivamente em seu papel heurístico, tradicionalmente atribuído. Introduziremos uma noção que, na falta de outro termo, indicaremos pela expressão “modelo-réplica”, e que não coincide nem com os modelos matemáticos, nem com os modelos como cópias (físicas). Explicar o que entendemos por um modelo-réplica envolve, em parte, discutir a relação desse tipo de modelo com os modelos matemáticos, e reconhecer o próprio papel que eles mesmos podem desempenhar na prática científica. A nosso ver, do ponto de vista da investigação científica, há uma relação estreita entre o uso de modelos-réplica e de modelos matemáticos, que procuraremos agora explicar.

Vamos propor uma interpretação dos modelos como classes de padrões de investigação. Embora talvez não tanto na letra, mas em seu espírito, nosso tratamento do tema se aproxima daqueles apresentados por Hesse e Cartwright, especialmente esta última, e também daquele de Ronald Giere. Isso não implica, contudo, a nosso ver, um compromisso com outros elementos das doutrinas elaboradas por esses autores, mas apenas com sua concepção dos modelos. Ainda que os modelos-réplica sejam estrutu-

ras abstratas, do mesmo modo que os modelos matemáticos, para que a noção seja efetiva na prática científica, e elucidativa a esse respeito quando é empregada pelo filósofo da ciência, é preciso interpretar os modelos-réplica de forma operacional, e nisso nossa abordagem se distancia de alguns dos autores acima mencionados, exceto Cartwright. Ela se aproxima, de fato, de outros que são clássicos de uma tradição hoje minoritária na filosofia da ciência, como Mach e Bridgman.

1 OS PAPÉIS DOS MODELOS

Antes que os modelos fossem trazidos à cena na interpretação das teorias científicas pelos defensores da abordagem semântica em sua argumentação contra a abordagem axiomática, o tema já era tratado com relativa extensão e detalhe por autores ligados a essa última forma de entender as teorias, como Nagel (1961). É certo que ele desautoriza qualquer identificação das teorias com os modelos, ao contrário do que propõem explicitamente os defensores da abordagem semântica, como van Fraassen (Fraassen, 1980, 1989) e Suppe (1977, 1989). Mas Nagel também considera indispensável a referência aos modelos para compreendermos as teorias científicas. Ele diz:

Para os propósitos da análise, será útil distinguir três componentes em uma teoria: (1) um cálculo abstrato que é o esqueleto lógico do sistema explicativo, e que “define implicitamente” as noções básicas do sistema; (2) um conjunto de regras que, de fato, atribuem conteúdo empírico ao cálculo abstrato, relacionando-o ao material concreto da observação e experimento; (3) uma interpretação ou modelo para o cálculo abstrato, que confere alguma carne à estrutura do esqueleto, em termos de material conceitual ou visualizável mais ou menos conhecido (Nagel, 1961, p. 90).

Há duas diferenças básicas entre a forma pela qual Nagel relaciona os modelos com as teorias científicas em comparação com o modo pelo qual esse mesmo tema é tratado na abordagem semântica. Em primeiro lugar, como veremos a seguir, Nagel fala de modelos de forma bastante próxima daquela na qual o assunto é discutido também por Hesse (1966), isto é, como analogias entre sistemas diferentes. Ao contrário, tendemos a associar os modelos matemáticos à abordagem semântica, embora, como veremos abaixo, especialmente no caso de van Fraassen, isso não seja claro e talvez nem seja o caso. Em segundo lugar, Nagel se atém estritamente ao papel heurístico dos modelos como analogias, enquanto os defensores da abordagem semântica estão preocupados, sobretudo, com o papel formal ou semântico, no sentido estritamente lógico,

isto é, com os modelos tomados como formas pelas quais podemos interpretar os axiomas de uma teoria.

Embora seja preciso desfazer a confusão a respeito dos sentidos específicos nos quais os diversos autores estão empregando o termo “modelo” – pelo menos os dois sentidos principais, de modelos matemáticos e dos modelos como cópias ou ícones – ao mesmo tempo, há uma relação entre tais sentidos, o que aparece nas próprias críticas dos defensores da abordagem semântica à postura de Nagel e Hesse, como nos seguintes comentários de Suppe:

Alguns sentidos diferentes estão relacionados a “modelo”; um deles é o sentido de uma interpretação semântica da teoria, tal que os teoremas da teoria sejam verdadeiros sob essa interpretação. Esse é o sentido no qual estivemos empregando “modelo” até aqui; vou me referir a tais modelos como *modelos matemáticos*. Um segundo sentido de modelo é aquele de um modelo em escala, um modelo de avião, um modelo de túnel de vento etc. É fundamental para essa noção a idéia de que um modelo é um modelo *de* alguma coisa ou tipo de coisa, e que funciona como um *ícone* daquilo que modela – isto é, o modelo é estruturalmente similar (isomórfico) àquilo que ele modela. Vou me referir a eles como *modelos icônicos* (Suppe, 1977, p. 96-7).

É dessa mesma forma que Suppe compreende a posição de Mary Hesse. Ele diz:

Como diz Hesse, onde se conhece o sistema das bolas de bilhar como análogo ao átomo, há uma *analogia positiva* entre eles, onde se sabe que o átomo é diferente do sistema das bolas de bilhar, há uma *analogia negativa*, e onde não se sabe se eles são similares, há uma *analogia neutra* (Suppe, 1977, p. 97).

E, voltando a falar da posição de Nagel, mais uma vez em comparação com a de Hesse, Suppe comenta:

A alegação de Nagel é que toda teoria científica deve incluir um tal modelo icônico. Se tais modelos icônicos devem ser em termos de materiais conceituais ou visualizáveis conhecidos, então Nagel está certamente errado. Pois pode-se mostrar que a teoria quântica não admite tais modelos. Estando ciente desta dificuldade, Mary Hesse sustenta uma posição essencialmente idêntica à de Nagel, exceto que ela admite que os modelos icônicos sejam “qualquer sistema, que possa ser construído, desenhado, imaginado, ou nada disso, que possua a característica de dar a uma teoria poder de predição”. Em particular, ela está disposta a admitir

estruturas matemáticas especificadas pelo formalismo da teoria como modelo icônico. Assim, aparentemente, o modelo matemático de von Neumann para o formalismo da teoria quântica, no qual as equações de onda de Schrödinger descrevem um fluido viscoso que flui através de um espaço pré-hilbertiano de infinitas dimensões, poderia ser um modelo icônico.

Não há dúvida que o formalismo das teorias *pode* ser interpretado em termos de modelos icônicos, e que fazer isso é frequentemente profícuo heurísticamente por sugerir hipóteses, desenvolver teorias, e assim por diante. A posição de Nagel e Hesse, contudo, não é apenas a de que os modelos *podem* ser apresentados e ser úteis de tal maneira, mas que eles são componentes *essenciais e indispensáveis* das teorias. As considerações de valor heurístico não implicam que eles tenham tal estatuto na teorização, uma vez que eles podem ser heurísticamente profícuos sem ser componentes essenciais e indispensáveis das teorias (Suppe 1977, p. 98-9).

Voltaremos abaixo a comentar as idéias de Hesse a respeito dos modelos, uma vez que, em parte, elas estão próximas da noção de modelo-réplica que desejamos defender. Em relação ao sentido no qual Nagel emprega o termo “modelo”, como *modelo icônico*, à primeira vista, Suppe parece estar correto ao afirmar que Hesse amplia esse sentido, por exemplo, também para sistemas “imagináveis” (ou conceitualmente concebíveis, podemos dizer), enquanto que Nagel se restringiria a uma concepção meramente física dos modelos.

Contudo, Nagel faz uma distinção entre dois tipos de modelos, que Suppe não discute, e que permitiria também estender o sentido do termo para sistemas que não seriam apenas fisicamente possíveis de construir mas também conceitualmente concebíveis, como faz Hesse. De fato, para Nagel, os modelos como analogias podem ser classificados em dois tipos gerais – analogias *substantivas e formais* – que ele descreve da seguinte maneira:

As exemplificações anteriores e a discussão de Maxwell sugerem a classificação das analogias em dois tipos gerais, que podemos denominar analogias “substantivas” e “formais”. Nas analogias do primeiro tipo, supõe-se que um sistema de elementos que possui certas propriedades já conhecidas, que se supõe estarem relacionadas das maneiras conhecidas como enunciadas em um conjunto de leis do sistema, é um modelo para a construção de uma teoria em relação a um segundo sistema. Este pode diferir daquela apenas por conter um conjunto de elementos mais amplo, que possuem, todos eles, propriedades inteiramente similares àquelas do modelo; ou o segundo sistema pode diferir do primeiro de uma forma

mais radical, sendo que os elementos que o constituem possuem propriedades não encontradas no modelo (ou, de qualquer forma, não mencionadas nas leis enunciadas para o modelo).

As diversas teorias atomistas da matéria ilustram o uso desse tipo de analogia. As pressuposições fundamentais da teoria cinética dos gases, por exemplo, são padronizadas segundo as leis conhecidas para os movimentos de esferas macroscópicas elásticas, tais como as bolas de bilhar. De forma semelhante, parte da teoria dos elétrons é construída em analogia com leis estabelecidas sobre o comportamento de corpos eletricamente carregados. De fato, quando os físicos falam de um modelo da teoria, eles quase sempre têm em mente um sistema de coisas que difere, sobretudo, no tamanho das coisas que são, pelo menos aproximadamente, realizáveis na experiência conhecida, de tal forma que, em consequência disso, um modelo nesse sentido pode ser representado pictoricamente ou na imaginação.

No segundo ou no tipo formal de analogia, o sistema que serve de modelo para construir uma teoria é alguma estrutura conhecida de relações abstratas, em vez de ser, como nas analogias substantivas, um conjunto de elementos mais ou menos visualizáveis que se correlacionam mutuamente em relações conhecidas.

[...] Em resumo, uma nova noção de massa e um correspondente novo princípio de conservação do momento foram introduzidos na teoria da relatividade sob a regência de uma analogia formal. O exemplo ilustra como um formalismo matemático de uma teoria pode ser usado enquanto modelo para a construção de uma outra teoria com um escopo de aplicação mais inclusivo que o original (Nagel, 1961, p. 110-1).

As analogias substantivas permitem, de fato, uma assimilação aos modelos icônicos de que fala Suppe, o que é reconhecido pelo próprio Nagel ao mencionar o modelo das bolas de bilhar para a teoria dos gases. Mas as analogias formais se distanciam dessa idéia, e indicam um tipo de similaridade que poderíamos denominar *conceitual*, como no caso da comparação entre as noções de massa na mecânica clássica e na teoria da relatividade.

A concepção de Nagel dos modelos é comentada também por Hempel, entre outros. Ao contrário de Suppe, Hempel parece ter percebido mais nitidamente o que há de fundamental na posição de Nagel, e o fato de que ela não se restringe à noção de modelo icônico, tal como esta é descrita por Suppe. Hempel diz:

Alguns autores concebem uma teoria científica como algo que possui um terceiro componente, além do cálculo e das regras de correspondência. Nagel se refere a

isso como um “modelo para o cálculo abstrato, que confere alguma carne à estrutura do esqueleto, em termos de material conceitual ou visualizável mais ou menos conhecido”. Os modelos, nesse sentido, que vão ser agora considerados, devem ser claramente distinguidos dos modelos analógicos, tal como a representação de uma corrente elétrica em uma rede de fios de diferente resistência pelo fluir de um líquido através da rede de canos de diferentes espessuras. A analogia aqui consiste em um isomorfismo entre as leis que regem os dois processos: a respeito dos aspectos nômicos relevantes, mostra-se que as correntes elétricas se comportam “como se” consistissem no fluir de um líquido. Os modelos analógicos podem ser de valor didático e heurístico considerável, mas não são essenciais para a formulação e a aplicação de uma teoria. As leis para as correntes elétricas, por exemplo, podem ser enunciadas sem qualquer base no modelo hidrodinâmico; e quaisquer que sejam os fenômenos elétricos que possam ser explicados pela teoria em questão, eles são explicados pelas leis das correntes elétricas e não, é claro, por seus correlatos hidrodinâmicos.

Os modelos do tipo que Nagel tem em mente, contudo, parecem-me desempenhar um papel essencial na formulação e aplicação de muitas teorias. A especificação de um tal modelo consiste na interpretação dos termos do cálculo por meio de termos empíricos que pertencem àquele vocabulário e, neste sentido, são bem compreendidos. Por exemplo, o cálculo associado à teoria de Bohr sobre o átomo de hidrogênio conteria fórmulas matemáticas expressas em termos de funtores não-interpretados, ou variáveis quantitativas. O modelo caracterizaria o átomo de hidrogênio como algo que consiste em um núcleo e um elétron orbitando em volta dele, e interpretaria as variáveis quantitativas como algo que diz respeito a certos aspectos quantitativos do contexto, tal como os raios das órbitas discretas disponíveis, as energias do átomo nos estados correspondentes, e as frequências da radiação emitida. Nesse caso, e de forma similar à teoria cinética dos gases, à teoria genética da transmissão dos caracteres hereditários, e assim por diante, a especificação do modelo não é regida pela cláusula tácita “como se”: diz-se hoje que os gases consistem em moléculas que se movem rapidamente, e afirma-se que a composição complexa e a estrutura especial atribuída às moléculas de DNA representam a organização real dessas moléculas. A especificação do modelo é aqui essencial para a formulação da teoria e para suas aplicações; ele determina em parte as implicações experimentais da teoria, tal como certos padrões característicos de difração dos raios-x associados com substâncias de estrutura molecular especificada. A especificação de um modelo neste sentido parece-me ser um exemplo especialmente importante do uso dos termos antecedentes na formulação da teoria (Hempel, 1977, p. 251-2).

Ao comentar a noção de Nagel, de fato, Hempel introduz uma outra distinção, que está próxima daquela entre analogias substantivas e formais, de Nagel. Hempel distingue os *modelos analógicos* daqueles que podemos denominar *modelos nômicos*, que, assim como as analogias formais de Nagel, comparam o comportamento de dois sistemas.

Tendo em conta então essa idéia de Nagel e Hempel, com base nos dois papéis que podem ser desempenhados pelos modelos, podemos falar de dois tipos de modelo. Quando consideramos a comparação que um modelo faz entre as características físicas de dois sistemas, estamos falando dos modelos icônicos, para utilizarmos a expressão de Suppe. E quando consideramos a comparação que um modelo faz entre o comportamento de dois sistemas, estamos falando dos modelos nômicos, para utilizarmos o termo de Hempel. Neste caso, podemos dizer também que o modelo descreve estados de um sistema em comparação com estados do outro sistema, aquele com o qual ele é comparado. Mas podemos falar do modelo também como uma descrição direta dos estados de um sistema, e é nesse sentido que um modelo se torna mais interessante na interpretação de uma teoria científica. Voltaremos a este ponto abaixo, ao descrevermos o que vamos denominar modelos-réplica.

Suppe, por sua vez, quando procura caracterizar as teorias científicas recorrendo à noção de modelo, confunde os dois tipos de modelos de que acabamos de falar (*icônicos* e *nômicos*), por exemplo, em passagens como a seguinte:

Uma teoria modela os comportamentos de sistemas possíveis em seu suposto domínio ao determinar seqüências de ocorrências de estados que correspondem aos comportamentos de todos esses sistemas possíveis. Contudo, como é o caso em geral com tais modelos, essa correspondência não precisa ser de identidade (Suppe, 1989, p. 153).

A esta passagem acrescenta-se uma nota de rodapé do próprio autor, que pretende esclarecer o sentido em que ele emprega o termo “modelo”, e que diz:

A palavra “modelo” deve se utilizada com extremo cuidado, uma vez que ela pode significar algumas coisas diferentes na ciência. Aqui estamos utilizando “modelo” para significar *modelo icônico* – uma entidade que é estruturalmente similar às entidades em alguma classe (como, por exemplo, um modelo de avião é um modelo dos aviões reais da classe dos caças F-4H). [...] (Suppe, 1989, p. 167).

E, em outra passagem ainda, Suppe comenta:

De acordo com a concepção semântica das teorias, então, as teorias científicas são sistemas relacionais que funcionam como modelos icônicos, que caracterizam todas as mudanças possíveis de estado que o sistema poderia sofrer dentro de seu escopo sob circunstâncias idealizadas (Suppe, 1989, p. 155).

De fato, uma confusão parece ocorrer entre os dois papéis diferentes que os modelos podem desempenhar, como comentamos acima, isto é, comparar as características físicas de dois sistemas ou comparar seu comportamento. Suppe parece estar falando do segundo caso, mas caracteriza os modelos com relação ao primeiro. Além disso, em outra passagem, ele relaciona as teorias científicas com modelos, mas desta vez, claramente, com os modelos matemáticos (ou metamatemáticos). Ele diz:

Tal como realmente empregadas pelos cientistas profissionais, as teorias admitem algumas formulações lingüísticas alternativas – por exemplo, a mecânica clássica de partículas recebe às vezes uma formulação lagrangeana, outras vezes, uma formulação hamiltoniana – mas é a mesma teoria, independentemente da formulação que é empregada. Como tal, as teorias científicas não podem ser identificadas com suas formulações lingüísticas; ao contrário, elas são entidades extralingüísticas às quais nos referimos e que são descritas pelas diversas formulações lingüísticas. Isso sugere que as teorias são interpretadas como *estruturas* abstratas propostas, que servem de modelos para conjuntos de sentenças interpretadas, que constituem as formulações lingüísticas. Estas estruturas são *modelos metamatemáticos* de suas formulações lingüísticas, sendo que a mesma estrutura pode ser modelo de diferentes, e possivelmente não-equivalentes, conjuntos de sentenças e formulações lingüísticas da teoria (Suppe, 1989, p. 82).

E, em outra passagem, logo depois desta, ele diz ainda:

Nossa discussão até aqui indicou dois aspectos importantes das teorias: (1) elas são estruturas extralingüísticas propostas, que podem ser modelos metamatemáticos de suas formulações lingüísticas, e (2) elas determinam uma classe de sistemas físicos implicados pela teoria (Suppe, 1989, p. 84).

Essa aparente confusão não impede, contudo, que Suppe dê uma contribuição que, a nosso ver, também ajuda a compreender o papel dos modelos na prática científica e na interpretação de teorias. Isso não se dá quando ele procura explicar o sentido apropriado em que se deve utilizar o termo “modelo” (de fato, nessas ocasiões, ele mais atrapalha que ajuda), mas quando introduz sua noção de *sistema físico*. Ele diz:

Contudo, de fato, outros parâmetros não-selecionados usualmente influenciam mesmo os fenômenos; assim, a teoria não caracteriza os fenômenos reais, mas, em vez disso, a contribuição dos parâmetros selecionados para com os fenômenos reais, descrevendo o que os fenômenos *seriam se* os parâmetros abstratos fossem os únicos a ter influência. Por exemplo, a mecânica clássica de partículas não descreve os fenômenos reais do plano inclinado, mas, em lugar disso, descreve o que os fenômenos do plano inclinado *seriam* em ambientes sem atrito. De fato, então, o que a teoria faz é diretamente descrever o comportamento de sistemas abstratos, conhecidos como *sistemas físicos*, cujos comportamentos dependem apenas dos parâmetros selecionados. Contudo, esses sistemas físicos são réplicas abstratas de fenômenos reais, sendo o que os fenômenos *seriam se* nenhum outro parâmetro exercesse sua influência. Assim, ao descrever os sistemas físicos, a teoria faz indiretamente uma caracterização contrafactual dos fenômenos reais (Suppe, 1989, p. 82–3).

Neste caso, podemos inadvertidamente dizer que Suppe resgata o sentido que Hempel e Nagel tinham conferido aos modelos como descrições do comportamento de sistemas — que denominamos *modelos nômicos*. O que Suppe denomina *sistema físico* é uma estrutura abstrata que replica ou reproduz circunstâncias reais, que descrevem, portanto, o comportamento idealizado de um sistema ou contexto possível segundo a teoria. É também tendo essa idéia em mente que vamos abaixo introduzir e explicar a noção de modelo-réplica.

2 MODELOS MATEMÁTICOS

Voltemos a van Fraassen que, nos anos 80 do século passado, consagrou-se como o maior expoente na defesa da abordagem semântica. Ao apresentar essa abordagem na interpretação das teorias científicas — segundo ele, fundamentada particularmente nas idéias de Patrick Suppes e Evert Beth, entre outros —, van Fraassen faz referência explícita às noções de verdade e modelo pertencentes à semântica, em contraposição à noção de axioma, pertencente à sintaxe (Fraassen, 1980, p. 43 ss.; 1989, p. 217 ss.). Isso faz supor, obviamente, que ele está falando dos modelos matemáticos ou daquelas estruturas que, segundo os lógicos, tornam verdadeiros os axiomas de uma teoria. Trata-se, neste caso, de uma estrutura composta do par ordenado $\langle U, I \rangle$, sendo que U é uma coleção de indivíduos dos quais falamos, e I é uma função interpretação, que dá nomes aos indivíduos de U , e especifica a extensão dos predicados e relações pertencentes

centes à linguagem de primeira ordem na qual a teoria é formulada, tal como o tema é explicado nos livros de lógica elementar.

Em seu *The scientific image*, essa idéia é reforçada pelos comentários de van Fraassen a respeito do uso do termo “modelo” em contraposição a outros usos do termo, entre os cientistas. Ele diz:

O uso da palavra “modelo” nesta discussão deriva da lógica e da metamatemática. Os cientistas também falam de modelos, e mesmo de modelos de uma teoria, e seu uso é um tanto diferente. O “modelo de Bohr do átomo”, por exemplo, não se refere a uma única estrutura. Ele se refere, em vez disso, a um tipo de estrutura, ou classe de estruturas, todas elas compartilhando determinadas características gerais. Pois, nessa utilização, se supõe que o modelo de Bohr corresponda a átomos de hidrogênio, de hélio, e assim por diante. Assim, na utilização dos cientistas, “modelo” denota o que eu chamaria de modelo-tipo. Onde quer que determinados parâmetros são deixados sem especificação na descrição de uma estrutura, seria mais exato dizer (contrariamente, é claro, ao uso comum e à conveniência) que descrevemos uma estrutura-tipo. Entretanto, os usos de “modelo” na metamatemática e nas ciências não estão tão distantes quanto às vezes se tem dito. Vou continuar a utilizar a palavra “modelo” para me referir a estruturas específicas, nas quais todos os parâmetros relevantes possuem valores específicos (Fraassen, 1980, p. 44).

Esta passagem, assim como outras de van Fraassen, é menos esclarecedora do que desejaríamos. Ela não deixa claro, de fato, se o uso do termo “modelo” na abordagem semântica coincide com aquele dos lógicos, em oposição ao uso dos cientistas. Ao contrário, sugere uma aproximação entre os dois sentidos — aproximação que, por sua vez, não é de forma alguma explicada. O recurso a outras passagens e comentários de van Fraassen (1980, 1989) torna mais confusa, em lugar de mais clara, a relação entre os modelos matemáticos e os modelos no sentido ordinário do cientista profissional, ou seja, os modelos icônicos dos quais temos falado até aqui.

Por exemplo, consideremos as críticas parciais que van Fraassen dirige à formulação de Suppes da abordagem semântica, baseada na teoria de conjuntos e inspirada nos trabalhos de Tarski (cf. Fraassen, 1980, p. 66–7). Segundo van Fraassen, esse tipo de modelo não permite representar determinadas propriedades das quais as teorias falam. Por exemplo, na versão de Suppes, a mecânica clássica não poderia possuir um modelo no qual se encaixassem todos os fenômenos, uma vez que ela nem menciona a eletricidade, entre outros fenômenos. Esta é uma das razões pelas quais van Fraassen

diz preferir a versão de Evert Beth, a abordagem dos espaços de estados (*state-space approach*), que seria superior a esse respeito.

Não vamos entrar aqui na questão específica das diferenças entre essas duas formas de elaborar a abordagem semântica, que são discutidas com mais detalhes tanto por Suppe (1989, p. 6 ss.), quanto por Giere (1988, 1999, 2001). De qualquer forma, ambos os autores comentam o fato de que tanto a versão de Suppes quanto aquela de Beth (preferida por van Fraassen) se desenvolvem a partir da semântica de Tarski. Contudo, nem os comentários desses outros autores, nem os de van Fraassen em outras partes, ajudam a elucidar o sentido exato em que a abordagem semântica se basearia em modelos matemáticos em oposição à concepção comum de modelo (icônico).

Em *Laws and symmetry*, van Fraassen volta ao tema, comentando especificamente a respeito da versão de Suppes novamente, e em oposição à concepção axiomática na interpretação das teorias científicas. Ele diz:

Em qualquer tragédia, suspeitamos que algum erro crucial foi cometido desde o início. Penso que o erro era confundir uma teoria com a formulação de uma teoria em uma linguagem particular. O primeiro a reverter o movimento foi Patrick Suppes com sua máxima bem conhecida: a ferramenta certa para a filosofia da ciência é a matemática, *não* a metamatemática. Isso aconteceu nos anos 1950 – enfeitados pelas maravilhas da lógica e da teoria do significado, poucos quiseram ouvir. A idéia de Suppes era simples: *ao apresentarmos uma teoria, definimos a classe de seus modelos diretamente*, sem prestar nenhuma atenção a questões de axiomatização, em qualquer linguagem especial, por mais relevante, ou simples, ou logicamente interessante que possa ser. E se a teoria enquanto tal deve ser identificada com qualquer coisa que seja – se as teorias devem ser reificadas – então uma teoria deveria ser identificada com a classe de seus modelos (Fraassen, 1989, p. 221-2).

Van Fraassen reconhece que o sentido do termo “modelo” aqui também tem de ser esclarecido, e acrescenta a seguinte nota de rodapé ao texto acima citado:

O impacto da inovação de Suppes se perde se os modelos são definidos, tal como em muitos textos de lógica clássica, como entidades parcialmente lingüísticas, cada uma delas ligada a uma sintaxe particular. Em minha terminologia, os modelos são estruturas matemáticas, chamados modelos de uma dada teoria apenas em virtude de pertencerem a uma classe definida como os modelos daquela teoria (Fraassen, 1989, p. 366, nota).

A nosso ver, tais comentários deixam o tema na mesma confusão de antes, e não chegam a esclarecer em nada de que forma os modelos de que falam os defensores da abordagem semântica estão (ou não) relacionados, de um lado, com os modelos matemáticos e, de outro, com os modelos no sentido ordinário dos cientistas, os modelos icônicos. Hesse (cf. 2001, p. 302) comenta que, de fato, van Fraassen e outros adeptos da abordagem semântica têm pouco interesse no tema dos modelos em si, tal como ela mesma discute longamente em seus textos (cf. Hesse, 1966). Comentaremos as idéias de Hesse abaixo, mas, por ora, fiquemos ainda um instante com aquelas de van Fraassen.

Nossa hipótese é que, de fato, o que para van Fraassen é importante a respeito dos modelos na abordagem semântica ao interpretar as teorias científicas, tal como está implícito nos comentários de Giere (cf. 2001, p. 518), é a noção de satisfação, que deriva dos trabalhos de Tarski, e que dá a base para os modelos matemáticos servirem de interpretação para os axiomas de uma teoria. Por outro lado, quanto mais próxima uma versão da abordagem semântica está das noções centrais da semântica tarskiana, menos rica em termos de representação das situações reais – a que, supostamente, os modelos nas ciências devem corresponder – será a interpretação de uma teoria científica. E, aparentemente, a preferência de van Fraassen pela versão de Beth se explica pelo fato de que, nesse caso, a noção de satisfação é tomada em um sentido mais amplo, na medida em que os espaços de estados permitem representar a história de um sistema físico, ou seja, seus sucessivos estados.

Talvez a este respeito seja mais elucidativo retomar a ilustração que van Fraassen pretende fazer de sua versão da abordagem semântica com a Geometria dos Sete Pontos, ou G7P (cf. Fraassen 1980, Cap. 3; 1989, Cap. 9), que também é comentada por Giere (2001). Ora, a G7P é tomada por van Fraassen e Giere como um exemplo da forma pela qual uma teoria científica pode ser interpretada como uma família de modelos, ao invés de uma lista de axiomas. Mas ela não é nem um modelo matemático no sentido usual da semântica para as linguagens de primeira ordem, nem um modelo no sentido ordinário, tal como discutimos na seção anterior. De fato, em última instância, a G7P se aproxima mais dos modelos nômicos, dos cientistas, que dos modelos matemáticos ou semânticos dos lógicos.

A G7P é uma estrutura constituída de um círculo inscrito em um triângulo equilátero, com três perpendiculares aos lados do triângulo, indo desde o ponto médio de cada lado, no qual o círculo o toca, até o vértice oposto. Os três pontos nos vértices do triângulo, os três pontos médios de seus lados, nos quais o círculo os toca, e o centro do círculo, no qual se cruzam as três perpendiculares, constituem os sete pontos dessa estrutura (cf. Fraassen, 1980, p. 41 ss.). A G7P torna verdadeiros os seguintes axiomas:

A_0 : Há pelo menos uma linha.

A_1 : Para quaisquer duas linhas, há no máximo um ponto que está em ambas.

A_2 : Para quaisquer dois pontos, há exatamente uma linha que passa por ambos.

A_3 : Em toda linha, há pelo menos dois pontos.

A_4 : Há apenas um número finito de pontos distintos.

A_5 : Em qualquer linha, há um número infinito de pontos distintos.

(A versão de van Fraassen (cf. Fraassen 1989, p. 219) conserva apenas os axiomas A_1 - A_3 , o que faz com que a estrutura não seja um modelo da geometria euclidiana, embora possa se encaixar em um modelo euclidiano, que é o caso da G_7P apresentada em Fraassen, 1980.)

Vamos discutir abaixo a relação entre os modelos matemáticos e os modelos-réplica mais detalhadamente. Por ora, constatemos apenas que, embora a G_7P não seja um modelo matemático tal como esse tipo de modelo é retratado nos livros de lógica de primeira ordem, mas uma estrutura abstrata, a que se referem tanto a descrição acima, assim como os próprios axiomas que a estrutura torna verdadeiros, quanto um diagrama que poderíamos desenhar, tal estrutura pode também ser representada, além das formas já indicadas, por meio de um modelo matemático. Para teorias mais simples, trata-se de um exercício relativamente fácil, com o qual os estudantes de lógica logo se habituem (ou nem tanto!), especificando o domínio de objetos dos quais falamos, e depois nomeando-os e definindo predicados e relações com base neles, por meio da função interpretação. No caso de teorias mais complexas – que é, obviamente, o caso que encontramos normalmente nas ciências –, é mais proveitoso o apelo direto a uma outra estrutura abstrata, sem passarmos pelo modelo matemático, o que também poderia ser feito.

Em suma, o que estamos argumentando é que o trabalho de encontrar circunstâncias nas quais a teoria é verdadeira pode ou não ser mediado pelo modelo matemático. Mas aquelas circunstâncias, como a G_7P acima exposta, que tornam verdadeira a geometria euclidiana, é que são o objeto de comparação da teoria. Como o próprio van Fraassen reconhece (cf. Fraassen, 1989, p. 218), o *modelo*, nesse sentido, é aquilo que, em termos contrafactuais, se constituísse a totalidade do mundo, faria a teoria (exatamente) verdadeira, aspecto que é também enfatizado por Hesse (cf. 1966, 2001), entre outros. É, portanto, para essa estrutura abstrata, que pode ser também representada por modelos matemáticos, que nossa atenção deve dirigir-se.

Apesar do relativo desinteresse dos adeptos da abordagem semântica em relação ao tema dos modelos em si, a discussão do tema pode auxiliar a dar sentido à reviravolta que eles pregam na filosofia da ciência, para livrá-la das limitações formalistas da abordagem axiomática. De fato, como enfatiza Hesse mais uma vez, dar atenção espe-

cial ao tema específico dos modelos pode levar-nos mais longe, e permitir considerar também a prática científica ou, em outros termos, o uso de modelos e das próprias teorias na investigação científica ordinária. E é para esse objetivo que o restante deste artigo vai dirigir-se.

3 MODELOS E REPRESENTAÇÕES

Os modelos podem ser tomados como representações, como é claramente o caso ao falarmos de modelos icônicos. Contudo, é preciso distinguir entre os modelos e as representações, e, em particular, distinguir um modelo de sua representação, embora alguns modelos sejam representações. A questão é que nem todos são. Para entender isso, o exemplo da G7P de van Fraassen é útil. Um diagrama que poderíamos desenhar ou uma descrição da G7P, como fizemos acima, são representações desse modelo. É a esse respeito que a noção de modelo que importa para a abordagem semântica e para nossa compreensão das teorias científicas se distancia, de fato, da noção comum de modelo icônico.

O que nos interessa é uma noção de modelo como uma espécie de estrutura abstrata. A distinção é claramente feita por alguns autores, como na seguinte passagem de Achinstein:

O termo “modelo” se aplica a diversos tipos inteiramente diferentes de concepções nas ciências. Um uso do termo é para referir-se a uma representação física tridimensional de um objeto – sendo a representação tal que, ao estudá-la, pode-se afirmar certos fatos a respeito do original. Essa classe inclui os modelos de moléculas feitos com peças articuladas, modelos do sistema solar que encontramos em museus, assim como os modelos analógicos, tal como um modelo de circuito elétrico para um sistema acústico. Em outro uso do termo, “modelo” se refere a um conjunto de pressuposições idealizadas sobre a estrutura interna, composição ou mecanismo de um objeto ou sistema. Os exemplos seriam o modelo de Bohr para o átomo e o modelo dos elétrons livres para os metais. Em um terceiro uso ainda, o termo se refere a um conjunto de pressuposições sobre um sistema que supomos mostrar como o sistema poderia ser, se ele tivesse de satisfazer certas condições, mas que não se pretende que sejam tomadas como pressupostos que qualquer sistema real satisfaça. Um exemplo é o modelo de Poincaré de um mundo não-euclidiano que supomos mostrar como seria um mundo físico, se ele satisfizesse a geometria de Lobatchevisky. O filósofo da ciência continuará a esclarecer cada uso do termo “modelo,” isto é, cada um desses tipos de

modelos. Ele fará isso ao considerar suas características e também, talvez, ao contrastá-los com analogias com as quais eles são às vezes identificados, mas das quais eles deveriam ser distinguidos (Achinstein, 1977, p. 355).

A expressão “modelo icônico”, que empregamos acima, por sua vez, também é ambígua, e pode indicar tanto um modelo, quanto sua representação física. Uma cópia reduzida do 14-Bis, por exemplo, é um *modelo* desse avião, no sentido ordinário em que o termo é empregado, o primeiro dos sentidos a que Achinstein se refere. A pequena cópia, feita em plástico ou papel ou madeira, é um *modelo icônico* do 14-Bis. Mas, nem sempre, como vimos antes, a expressão “modelo icônico” recebe esse sentido físico específico nos comentários dos filósofos da ciência. Enquanto um outro tipo de representação – vamos admitir, por exemplo, as representações mentais, pelo menos para efeitos de argumentação, além das representações lingüísticas que não são icônicas, mas *simbólicas* –, como uma imagem mental ou uma descrição verbal do 14-Bis, ainda podemos falar de um modelo, pois estamos fazendo referência a uma *estrutura* que guarda com o 14-Bis certa similaridade ou analogia, ou, pelo menos por convenção, no caso de uma representação verbal, uma correspondência aceita.

Uma representação verbal ainda pode ser considerada um modelo – uma *analogia* (a interpretação de Mary Hesse para os modelos) – de outra coisa mesmo sem guardar com ela similaridade física, que é o caso com o ícone. As representações verbais são, como se costuma dizer, *simbólicas*, isto é, elas se referem a outra coisa não por semelhança física, mas por convenção lingüística. E a vantagem de uma representação verbal é que ela pode expressar não apenas semelhanças físicas, como no caso de um modelo icônico, mas também semelhanças de comportamento, que é aquilo a que se refere, como vimos na seção 1 acima, a expressão “modelo nômico”, aquela idéia devida a Hempel e Nagel. Também para o senso comum o termo “modelo” ganha às vezes esse significado, como quando dizemos que “um pai deve ser um *modelo* para seu filho”. O que queremos dizer é, obviamente, que o filho deve poder imitar o comportamento de seu pai, embora possa ser fisicamente muito diferente dele.

A noção de modelo nômico, assim como aquela de um modelo do tipo da G7P, pode ser encarada de forma abstrata. Ou seja, nesse caso, estamos fazendo referência ao modelo como uma estrutura abstrata, ou sistema, ou contexto possível. Nesse sentido, um modelo se distingue tanto dos modelos icônicos, quanto dos modelos matemáticos, que são, então, de fato, modelos de modelos, isto é, estritamente, formas de representação – ou icônica, ou verbal – de outros modelos. Mas, em última instância, o próprio modelo nômico pode ser encarado também como uma representação, por exemplo, no caso de enunciarmos as leis que regem um sistema, ou de enunciarmos os axiomas de uma teoria. Se essa idéia for aceita, trivializamos um dos argumentos mais

fortes da abordagem semântica, pois podemos então também encarar um sistema axiomático como um modelo. Desse ponto de vista, podemos ter a seguinte tipologia básica, que engloba três categorias de modelos no sentido representacional.

- (1) Modelos *icônicos* – ou representações físicas que guardam semelhanças estruturais ou de detalhe com outras estruturas ou sistemas.
- (2) Modelos *matemáticos* – ou representações verbais que descrevem extensivamente as propriedades fundamentais de outras estruturas ou sistemas.
- (3) Modelos *nômicos* – ou representações verbais que descrevem, estruturalmente ou em detalhe, o comportamento de outras estruturas ou sistemas.

É com base nessa tipologia geral a que as discussões acima nos conduzem que desejamos introduzir agora a noção de *modelo-réplica*. Os três tipos acima caracterizados são modelos comparativos, ou de analogia ou similaridade. Neste sentido, estritamente falando, eles são representações, isto é, modelos de modelos. Os modelos-réplica que vamos apresentar são estruturas abstratas. Não são modelos comparativos, mas sistemas compreensíveis em si mesmos ou, para utilizarmos uma outra expressão, são *contextos possíveis*. Eles podem ser assimilados a mundos possíveis, e podem receber uma interpretação contrafactual, como é também comum na literatura a esse respeito. Nesse sentido específico, os modelos-réplica se aproximam dos *sistemas físicos*, de que fala Suppe, e, como veremos, dos *simulacros*, de Nancy Cartwright. Na medida em que os modelos-réplica também podem ser comparados com outros sistemas, eles podem ainda ser tomados como *analogias*, no sentido de Mary Hesse (1966). Mas o mais importante é que eles podem ser tomados em si mesmos, e considerados diretamente, por meio da referência às leis que a eles se aplicam, isto é, em um dos sentidos fundamentais no qual os modelos nômicos podem ser compreendidos.

4 MODELOS E ESTRUTURAS ABSTRATAS

A abordagem semântica se caracteriza pelo fato de negar que as teorias científicas possam ser identificadas com suas formulações axiomáticas. Isso quer dizer que, para os defensores da abordagem semântica, as teorias são estruturas abstratas, que podem ser representadas por axiomas, ou leis, ou relatos e descrições de menor grau de generalidade. Sendo as teorias científicas coleções ou famílias de modelos, como argumenta van Fraassen, os próprios modelos são, portanto, estruturas abstratas. Vamos deixar para discutir na última seção os problemas ontológicos que podem surgir quando falamos de estruturas abstratas, e que são os mesmos que surgem quando consideramos

entidades matemáticas ou entidades lingüísticas. Esse problema não é mais grave aqui que no contexto das discussões em matemática, ou em lógica, ou em lingüística. Vamos, pois, manter a idéia da abordagem semântica de que os modelos são estruturas abstratas.

Essa idéia também é contemplada por Ronald Giere, que faz uma distinção entre modelos como representações e *modelos teóricos*, nos seguintes termos:

Em meu entendimento pessoal da prática científica, o conceito fundamental é aquele de *modelo*. Para mim, os modelos na ciência são entidades fundamentalmente representacionais. Sustento que os cientistas utilizam tipicamente os modelos para representar aspectos do mundo. A classe de modelos científicos inclui modelos físicos em escala e representações diagramáticas, mas os modelos que mais interessam são os *teóricos*. Estes são objetos abstratos, entidades imaginárias cuja estrutura pode ou não ser *semelhante a* aspectos dos objetos e processos no mundo real. Os próprios cientistas tendem mais a falar do *ajuste* entre seus modelos e o mundo, uma terminologia que adoto com agrado (Giere, 1999, p. 5).

Tendo em mente então essa noção de entidade abstrata, consideremos uma situação possível, ou contexto, ou configuração de objetos, ou ainda a relação entre determinadas coisas, como um sistema físico qualquer. Consideremos, por exemplo, um plano inclinado sobre o qual fazemos deslizar um cubo, desprezando o atrito. Como sabemos, deixando de lado os detalhes sobre o exemplo, que já é bem conhecido, este é um modelo da mecânica clássica. Nele valem as leis que, segundo Newton, descrevem a velocidade, a aceleração etc. Se construirmos um plano inclinado semelhante, com uma tábua e um cubo de madeira, por mais que sejam lisas as superfícies, sabemos que as mesmas leis não se aplicam, estritamente falando. Para isso, seria preciso considerar também o atrito. Mas, neste caso, de fato, o que fazemos é então construir um outro modelo. Todavia, mais uma vez, nosso plano inclinado feito de uma tábua e um cubo de madeira continua a não ser um contexto no qual se aplicam exatamente as mesmas leis da mecânica, pois ainda teríamos de considerar a resistência do ar, o fato de que os objetos utilizados não são rígidos, como pressupõe a teoria, que eles, de fato, se dilatam com as diferenças de temperatura, e assim por diante. E isso nos levaria a elaborar ainda outros modelos ou sistemas físicos mais, com uma crescente semelhança com o sistema físico real, a tábua e o cubo de madeira.

Em suma, nossa tábua e nosso cubo de madeira são uma situação física real para cujo estudo construímos sucessivos modelos (parciais), dentro de determinados limites conceituais, que são os limites impostos pela teoria mecânica que tomamos como ponto de partida. Os sucessivos modelos que elaboramos são estruturas abstratas, que guardam semelhanças com aquele contexto de nossa tábua e cubo de madeira reais.

Estes podem, portanto, ser tomados em analogia com qualquer um daqueles modelos abstratos que construímos, e vice-versa. Os modelos como analogias, tal como explica Mary Hesse (1966), podem ser considerados simétrica ou reciprocamente. Quando comparamos dois sistemas, cada um deles pode ser encarado como *modelo do outro*.

Contudo, o mais importante é que, quando consideramos o exemplo acima, temos claramente dois sentidos específicos do termo “modelo”. Em primeiro lugar, temos o modelo como *analogia*, tal como explicado por Hesse. Mas, em segundo lugar, também temos o modelo como uma espécie de estrutura abstrata, aquilo que Nancy Cartwright denomina *simulacro*. Ela explica sua abordagem da seguinte maneira:

Chamo minha concepção de abordagem do “simulacro”. A segunda definição de “simulacro” no *Oxford English Dictionary* diz que um simulacro é “algo possuindo apenas a forma ou aparência de certa coisa, sem possuir sua substância ou qualidades próprias”. Isso é exatamente como tenho argumentado que são os modelos na física. [...]

Um modelo é uma obra de ficção. Algumas propriedades atribuídas aos objetos do modelo vão ser propriedades genuínas dos objetos modelados, mas outras vão ser apenas propriedades de conveniência. A expressão “propriedades de conveniência” foi sugerida por H. P. Grice, e é adequada. Algumas das propriedades e relações em um modelo vão ser propriedades reais, no sentido de que outros objetos, em outras situações, poderiam tê-las genuinamente. Mas elas são introduzidas no modelo como uma conveniência, para trazer os objetos modelados para o âmbito de uma teoria matemática (Cartwright, 1983, p. 152-3).

E, mais adiante, Cartwright diz ainda:

Às vezes, para dado modelo, é possível projetar (ou encontrar) uma situação real na qual os aspectos principais relevantes para a fenomenologia sejam justo os aspectos mencionados no modelo, e não outros. O hélio de baixa densidade, por exemplo, é quase um gás ideal do ponto de vista do modelo das bolas de bilhar para a mecânica estatística. Nesses casos, nos inclinamos a pensar no modelo como uma réplica exata da realidade, e a atribuir aos objetos modelados não apenas as propriedades genuínas do modelo, mas também as propriedades de conveniência (Cartwright, 1983, p. 156).

Em seu livro mais recente, *The dappled world*, Cartwright emprega não o termo “simulacro”, mas a expressão “modelos representativos”, para explicar sua concepção. Ela opõe os modelos representativos ao que denomina então *modelos interpretativos* que,

aparentemente, seriam os modelos matemáticos (cf. Cartwright, 2003, p. 180-1). Contudo, como ela deixa claro, sua mudança de terminologia não implica nenhuma revisão em sua concepção dos modelos.

Há duas idéias na posição de Cartwright que desejamos destacar. Em primeiro lugar, que os modelos são *réplicas*, isto é, idealizações que replicam ou copiam a realidade. E, em virtude disso, em segundo lugar, tais modelos ou réplicas são obras de ficção, cujas propriedades *podem ser reais*, mas que são, via de regra, propriedades de conveniência, isto é, propriedades que ajudam a dar consistência ao modelo e a aplicar a teoria, mas não são *necessariamente* propriedades a serem encontradas em situações reais. Os planos inclinados *destituídos de atrito*, por exemplo, são dotados de propriedades de conveniência, e não supomos que uma tal propriedade – a falta de atrito – possa ser encontrada em situações físicas reais, similares ao modelo. Assim, o plano inclinado sem atrito é uma obra de ficção, que é útil por permitir aplicar diretamente as leis da mecânica clássica. Neste sentido, o modelo é uma réplica idealizada de uma situação, ou contexto, ou sistema físico real.

Consideremos então os dois sistemas, aquele sistema físico real – nosso plano inclinado feito de uma tábua sobre a qual tentamos fazer deslizar um cubo de madeira – e o sistema que guarda com ele certa similaridade – o plano inclinado idealizado. No sentido de Hesse, ambos esses sistemas podem ser considerados em analogia um com o outro, assim como, no caso da teoria dos gases, o modelo das bolas de bilhar pode ser considerado uma analogia elucidativa sobre o comportamento dos gases. O plano inclinado real (a tábua de madeira e o cubo) não é elucidativo sobre o plano inclinado idealizado, mas o contrário justamente, é o plano inclinado idealizado que é elucidativo sobre o plano inclinado real. De forma semelhante, nos contextos científicos ordinários, o comportamento dos gases não é elucidativo sobre o comportamento das bolas de bilhar, mas é o comportamento destas últimas que nos ajudaria a compreender o comportamento dos gases. Todavia, já que há analogia, em última instância, poderíamos reverter a comparação. Mas a comparação que nos interessa é no outro sentido e, por isso, é o plano inclinado idealizado que ajuda a compreender o plano inclinado real, e as bolas de bilhar são as que ajudam a compreender o comportamento das moléculas de um gás.

Por outro lado, as similaridades se quebram quando consideramos que o plano inclinado idealizado é uma estrutura abstrata, ao contrário tanto do plano inclinado real, quanto das bolas de bilhar e das moléculas de um gás, que são estruturas físicas. É para esse aspecto dos modelos idealizados que desejamos chamar a atenção quando falamos de modelos-*réplica*, seguindo a idéia de simulacro de Cartwright. Além do papel de ponto de comparação com outros sistemas, que é o sentido de modelo como analogia (de Hesse), podemos considerar alguns modelos diretamente, como situações ou contextos possíveis. E é essa idéia que também, a nosso ver, aproxima-se daquela de

sistema físico, da qual fala Suppe. O plano inclinado idealizado, sem atrito, resistência do ar etc. é um sistema físico idealizado, no qual se aplica a mecânica clássica. E, sendo assim, ele é também um modelo nômico idealizado, isto é, uma situação possível na qual se aplicam as leis da mecânica clássica. Na falta de uma expressão melhor, e para evitar confusão com todos os outros sentidos do termo “modelo”, optamos por utilizar, neste sentido, a expressão “modelo-réplica”.

Não enquanto formas de representação, nem pontos de comparação ou analogia, mas enquanto estruturas abstratas que podem ser consideradas diretamente e em si mesmas é que desejamos discutir o papel desempenhado pelos modelos na investigação científica e, assim, ajudar a compreender melhor a própria postura básica da abordagem semântica, apesar de sua falta de interesse pela prática científica e pela natureza dos modelos de que fala. Mas, do ponto de vista de uma abordagem pragmática, discutir os modelos-réplica pode ser elucidativo, seja diretamente, quando interpretamos, nesse caso, as teorias científicas como coleções de modelos-réplica, seja ainda quando procuramos compreender o papel que os modelos-réplica e os modelos matemáticos desempenham no uso de teorias nos programas de investigação científica.

Assim, independentemente da tipologia tripartite acima apresentada, dos modelos como formas de representação, podemos ter também uma tipologia dos modelos como estruturas abstratas. Em tal caso, temos dois tipos de modelos: os modelos matemáticos e os modelos-réplica. A relação entre esses dois tipos de idealização, que permitem modelar a partir de uma teoria científica, é que o modelo matemático é uma versão extensional, e o modelo-réplica, por sua vez, é uma versão intensional. Nem sempre as teorias científicas estão inteiramente formuladas em linguagem axiomática e, portanto, não são passíveis de uma interpretação rigorosa por meio de modelos matemáticos. Mas, mesmo assim, elas sempre podem ser interpretadas por meio de modelos-réplica, como no caso do plano inclinado idealizado, do pêndulo idealizado, e assim por diante. De fato, se não soubermos a que situações possíveis uma teoria seria aplicável, então não sabemos nem mesmo de que teoria estamos falando.

5 O CARÁTER NOMOLÓGICO DOS MODELOS-RÉPLICA

Quando dizemos que um modelo-réplica é um sistema físico ou uma situação possível segundo determinada teoria, como no caso de nosso plano inclinado idealizado, sem atrito, resistência do ar etc. é preciso especificar em que sentido estamos tomando o termo “possível”. Pois poderíamos também argumentar que a mesma teoria que permite descrever o comportamento de um tal sistema físico não o considera realizável, mas o toma apenas como uma situação-limite, que não será encontrada no mundo real

e na qual valeriam exatamente as leis da mecânica. Supõe-se que essas leis continuem valendo — com aproximações — nos sistemas físicos reais.

O que ocorre é que o plano inclinado idealizado de que estivemos falando pode ser descrito por enunciados contrafactuais. Ou seja, segundo a teoria em questão, se o mundo fosse tal como os objetos se relacionam em um tal modelo, as leis da mecânica se aplicariam exatamente. O plano inclinado idealizado é, de fato, *possível*, segundo a mecânica clássica, mas, em contrapartida, ele não é considerado *real* porque não acreditamos, com base na mesma teoria (ou nessa teoria com o acréscimo de outras hipóteses sobre a natureza do mundo e a constituição da matéria), que seja provável que um plano inclinado com tais características possa ser construído. Portanto, nesse caso, o que é real, em oposição ao que seria meramente possível, é o que coincide com o que é provável de ser construído, de acordo com a teoria ou com uma imagem mais ampla da natureza, à qual tal teoria se enquadre.

Assim sendo, uma idealização, no sentido em que estamos entendendo o termo, é apenas a antecipação de uma situação que ainda não é real, uma situação que se pode dar, embora possamos ter mais razões para acreditar que ela não se dê. Este é também o sentido de senso comum (inclusive o científico) dos termos “ideal” e “idealização”. Uma sociedade sem crimes, por exemplo, é considerada por nós uma sociedade ideal ou idealizada. Dependendo das teorias psicológicas e sociológicas que aceitemos, uma tal sociedade pode parecer-nos possível, enquanto caso-limite, embora achemos improvável sua realização; improvável, mas não impossível. Um contexto real (a sociedade com crimes, o plano inclinado com atrito etc.), em oposição ao que é ideal ou idealizado (a sociedade sem crimes, o plano inclinado sem atrito etc.), é *real*, portanto, apenas no sentido de ser uma situação ou contexto conhecido ou muito similar a situações e contextos conhecidos.

Se entendermos assim essas noções, então nos afastamos das polêmicas metafísicas que poderiam atingir a discussão sobre a estrutura das teorias científicas. Mas, por outro lado, não podemos evitar completamente os problemas ontológicos, aqueles que poderiam ser levantados a respeito do estatuto ontológico dos modelos, e que seriam problemas similares àqueles sobre entidades matemáticas e lingüísticas. Um modelo matemático é também uma idealização, que poderia parecer menos problemática, já que podemos compreendê-la como uma coleção de enunciados, aqueles que delimitam um domínio, que nomeiam as entidades ali presentes, que especificam a extensão dos predicados e relações, e assim por diante. Todavia, estritamente falando, as questões ontológicas a seu respeito podem complicar-se bastante, na medida em que tais enunciados, que são entidades lingüísticas cujo estatuto ontológico poderia ser diretamente interrogado, falam de entidades matemáticas, como conjuntos.

Não é por esse caminho que desejamos ir, pois ele supõe transformar a discussão em um tópico da filosofia da matemática e da filosofia da linguagem. Mas, voltando aos modelos- réplica, constatamos que o mesmo tipo de problema ontológico pode ser levantado. Dissemos acima que os modelos- réplica são idealizações e abstrações, que poderiam ser identificadas (pelo menos provisoriamente) com as representações mentais etc. Todavia, os modelos- réplica, assim como os modelos matemáticos, considerados como abstrações, podem ser interpretados de uma forma perfeitamente compatível com a prática científica, mas não menos rigorosa do que o exigido pelas mencionadas discussões ontológicas. Isso depende em parte de como vamos interpretar o termo “abstração”.

Como uma situação possível mas que não é real, o modelo- réplica é um contexto ou relação entre coisas tal que pode ser construída fisicamente, de acordo com determinada teoria ou coleção de teorias. Se quisermos construir um plano inclinado que se aproxime o mais possível de nosso plano inclinado idealizado, devemos seguir o que dizem determinadas teorias, entre elas a mecânica clássica. Além da mecânica, as outras teorias necessárias para chegar a isso podem ser consideradas como uma classe de teorias auxiliares. Assim, excetuando tais teorias auxiliares, já que o modelo em questão diz respeito especificamente à mecânica clássica, é o que afirma esta teoria que vai fundamentalmente guiar- nos na construção de planos inclinados que exibam as propriedades mecânicas das quais trata a teoria.

Voltemos ao exemplo da seção anterior, aquela série de modelos de plano inclinado que, sucessivamente, aproximavam- se mais e mais de propriedades que supostamente estão presentes no plano inclinado real, feito de uma tábua e um cubo de madeira, e que contemplavam, sucessivamente, o atrito, a resistência do ar etc. Todos esses modelos podem ser encarados como prescrições de como devemos proceder para construir um plano inclinado real que se aproxime o máximo possível ou, no limite, que realize exatamente a situação idealizada do modelo. Neste caso, como prescrições do comportamento dos cientistas na experimentação, os modelos são antecipações de situações reais. Eles não precisam ser tomados como nada mais que isso quando dizemos que são abstrações ou idealizações.

A esse respeito, gostaríamos de voltar às idéias de Nancy Cartwright, desta vez em *The dappled world* (2003). Os modelos de que estamos falando são abstrações no mesmo sentido em que isso pode ser dito das noções de força, trabalho, aceleração etc., na mecânica newtoniana. E o significado em que tomamos esses termos coincide operacionalmente com aquele no qual eles são tomados no senso comum, quando procuramos encarar o tema de maneira razoável. Para utilizarmos um exemplo de Cartwright, se uma pessoa lava a louça do jantar e escreve um texto durante a manhã,

ela pode dizer que esteve trabalhando durante aquele tempo. Mas *trabalhar* não é algo que se acrescenta – extensionalmente – a lavar louça e escrever. É apenas uma forma mais abstrata de fazer referência ao que se esteve fazendo. A esse respeito, Cartwright diz:

A conclusão que me inclino a tirar disso é que, em sua maior parte, as leis da física são verdadeiras a respeito daquilo que fazemos [...].

A lei de Newton, por exemplo, pode ser verdadeira exatamente a respeito daqueles sistemas de que ela trata com sucesso; pois vimos como podemos tomá-la como verdadeira a respeito de qualquer situação que pode ser simulada por um dos modelos nos quais a força é interpretada concretamente. Isso não significa que temos de presumir que Newton descobriu uma estrutura fundamental que governa a natureza. Isso é parte da questão de ver a força como um conceito abstrato, como o trabalho, e não um conceito mais concreto, como a extensão (Cartwright, 2003, p. 47).

Assim, podemos dizer que as leis da mecânica valem no plano inclinado idealizado porque elas nos guiam se quisermos construir um plano inclinado. Segundo a interpretação anti-realista (a respeito das teorias) adotada por Cartwright, tais leis não regem o comportamento dos fenômenos no mundo, mas daqueles que estão descritos num modelo da teoria e, portanto, no espírito do operacionalismo clássico (de Mach e Bridgman), que regem o comportamento dos cientistas que empregam a teoria. Segundo essa interpretação, não há nenhum problema ontológico especial que diria respeito aos modelos como abstrações e idealizações. Eles são apenas antecipações de situações reais e, de fato, prescrições para construir ou realizar tais situações. Os modelos são, portanto, projetos de situações reais.

Se considerarmos as atividades ligadas à ciência pura, em oposição a suas aplicações, podemos talvez questionar a idéia de que os modelos sejam apresentados como prescrições para construir determinados sistemas. Mas a relação que tem de ser enfocada é aquela da ciência pura, encarada como a atividade de elaboração de teorias, com a atividade experimental. Em tal caso, os modelos são ferramentas indispensáveis para a experimentação que poderá testar a teoria e contribuir para sua reelaboração, se for o caso. A concepção operacionalista clássica e aquela defendida por Cartwright, como vimos acima, dizem respeito à relação entre a atividade de elaboração de teorias e a experimentação. Nesse caso, os modelos como réplicas ou simulacros, como abstrações consideradas diretamente, são uma mediação indispensável. Pois, em primeiro lugar, as leis da teoria valem no modelo. Apenas em um sentido derivado, portanto, os modelos são analogias, embora, de fato, esse aspecto não perca relevância.

Em *The dappled world*, Cartwright (2003, p. 53 ss.) associa ainda os modelos ao que ela denomina *máquinas nomológicas*, no mesmo viés operacionalista que comentamos acima, embora ela deseje distanciar-se de alguns dos aspectos do operacionalismo tradicional, por exemplo, em relação especificamente à idéia de que o significado de um termo teórico reduzir-se-ia às operações pelas quais ele é aplicado experimentalmente (Cartwright, 1989, p. 3). Também não é esse aspecto do operacionalismo que desejamos enfatizar, mas, tendo em vista o papel dos modelos, como diz Cartwright, o fato de que eles são *projetos* de máquinas nomológicas, ou daqueles arranjos de objetos que fazem com que eles exibam as leis a que determinada teoria se refere. Cartwright se refere aos modelos, então, nos seguintes termos:

Quando presenciamos o funcionamento das ciências matematizadas, como a física e a economia, descobrimos o importante papel que os modelos desempenham em nossas descrições do que acontece; e quando estudamos esses modelos cuidadosamente, descobrimos que eles fornecem precisamente o tipo de informação que identifico com minha caracterização de uma máquina nomológica (Cartwright, 2003, p. 53).

Por outro lado, os modelos-réplica também parecem prioritários em relação aos modelos matemáticos. Como dissemos antes, nem toda teoria pode ser interpretada por meio de modelos matemáticos, pois isso depende do grau de arregimentação da linguagem da teoria. Mas qualquer teoria pode ser interpretada por meio de modelos-réplica – de fato, ela *deve* ser assim interpretada. Quando possíveis, os modelos matemáticos oferecem uma versão extensional do modelo-réplica. Este último pode ser considerado uma estrutura intensional no sentido de que pode ser utilizado para interpretar as teorias científicas mesmo na falta de uma especificação extensional dos termos utilizados pela teoria. Além disso, a consideração direta dos modelos-réplica, como experimentos imaginários, ou seu uso na elaboração de experimentos reais, fornece dados que serão assimilados pelos modelos matemáticos e pelas teorias. Assim, os modelos matemáticos são uma ferramenta de relativa importância e utilidade na prática científica, mas os modelos-réplica são uma ferramenta fundamental e indispensável.

CONCLUSÃO

Ernest Mach comenta os modelos como idealizações, em viés operacionalista, tal como temos discutido aqui, embora ainda sem utilizar o termo “modelo”, na seguinte passagem, na qual aparece o mesmo exemplo do plano inclinado:

A alavanca e o plano inclinado são objetos ideais que a mecânica criou por si mesma. Os objetos por si mesmos satisfazem os requisitos lógicos que lhes fazemos; a alavanca física satisfaz essas condições apenas na medida em que ela se aproxima da alavanca ideal. O investigador da natureza se esforça para *adaptar* seus ideais à realidade (Mach, 1989[1893], p. 40).

E, em uma outra passagem na qual o termo “modelo” é efetivamente empregado, Mach diz ainda:

Quem quer que faça uma nova observação desse tipo, e estabeleça uma tal nova regra, é claro, conhece nossa tendência ao erro ao tentarmos representar um fato mentalmente, seja por imagens concretas ou por uma concepção abstrata, o que devemos fazer para termos sempre à mão um modelo mental que construímos como um substituto para os fatos, quando estes últimos estão em parte ou totalmente inacessíveis. De fato, as circunstâncias que devemos presenciar são acompanhadas de tantas outras circunstâncias colaterais, que é freqüentemente difícil identificar e considerar aquelas que são essenciais para o propósito em vista (Mach, 1989[1893], p. 90-1).

E Percy W. Bridgman, a quem também nos referimos antes, talvez o principal autor clássico de referência sobre a abordagem operacionalista, fala dos modelos nos seguintes termos:

[...] Creio que um modelo é uma ferramenta útil e, de fato, inevitável, pelo fato de que ela nos permite pensar sobre o desconhecido em termos do conhecido. [...] Estreitamente relacionadas com o modelo mental estão as construções mentais, das quais a física está repleta. Há diversos tipos de construções: aquelas nas quais estamos interessados são feitas por nós para nos capacitar a lidar com as situações físicas que não podemos experimentar diretamente através de nossos sentidos, mas com as quais temos contato indireto e por inferência (Bridgman, 1993[1927], p. 53).

Bridgman faz referência aos modelos como analogias, no sentido de Hesse, que vimos acima, além de tomá-los como construções mentais que nos habilitam a lidar com situações que não estão realizadas. Essa mesma idéia está contida nos comentários de Mach, quando ele fala dos modelos como idealizações e ferramentas intelectuais necessárias para nosso empreendimento de compreender a natureza, num sentido que está mais próximo daquele da noção de simulacro, de Cartwright.

Mach e Bridgman, em sua época, e Hesse e Cartwright, mais recentemente, estão preocupados, em primeiro lugar, com a relação entre os modelos e as teorias físicas. Mas suas discussões podem ser estendidas aos modelos derivados de quaisquer teorias nas ciências empíricas, inclusive as ciências humanas. De fato, é imensa a crítica que há hoje – inclusive em virtude da atuação dos adeptos da abordagem semântica – a respeito do ideal de arregimentação da linguagem da ciência que está associado à abordagem axiomática. Mesmo na física, considerada a esse respeito um domínio privilegiado, não temos uma linguagem arregimentada e passível de tratamento axiomático rigoroso. Por extensão, não temos também, portanto, a possibilidade de uma interpretação completa das teorias físicas por meio de modelos matemáticos. Logo, a noção de modelo-réplica é também aqui um recurso epistemológico de valor, na medida em que nos permite falar da interpretação de uma teoria física de forma direta e independente de procedimentos lógicos ou semânticos, isto é, da teoria como uma coleção de modelos-réplica ou contextos possíveis.

Contudo, é no domínio das ciências humanas que o valor epistemológico dos modelos-réplica pode mostrar-se ainda mais. De forma independente das abordagens tradicionais (axiomática e semântica), temos nos modelos-réplica uma ferramenta para interpretar diretamente as teorias nesse domínio em termos de situações possíveis, ou contextos sociais idealizados. Particularmente, a economia e a psicologia experimental contemporâneas são dois domínios em que esse tipo de estratégia parece estar em pleno uso. Na medida em que os modelos-réplica são idealizações ou abstrações às quais se aplicam diretamente as leis de uma teoria, também nas ciências humanas podemos então utilizar o termo “lei” sem os escrúpulos metafísicos que nos têm constrangido. Portanto, nas ciências humanas, falar de leis e estruturas nomológicas, daquelas abstrações às quais se aplica a teoria, não seria nenhum tipo de *reificação* precipitada e ingênua, mas o mesmo expediente de modelagem que encontramos em qualquer parte nas ciências empíricas.

E, em qualquer parte, antes de tudo, as leis científicas valem nos modelos, e são, portanto, padrões de comportamento. Normativa e metodologicamente, são prescrições de ação para aqueles que desejam realizar a situação prevista no modelo. ☛

Luiz HENRIQUE DE ARAÚJO DUTRA
Professor Doutor do Departamento de Filosofia da
Universidade Federal de Santa Catarina.
lhdutra@cfh.ufsc.br

ABSTRACT

This paper propounds an alternative view to the semantic approach in the interpretation of scientific theories that stems from an analysis of many conceptions of model found in the related literature. Supporters of the semantic view interpret scientific theories as families of models. The term “model” is not clearly and univocally defined by them, but apparently their view resembles the logicians’ and philosophers’ one, according to which a model is a set-theoretic structure that allows one to interpret a given language. An alternative notion of model is here introduced; a model is an abstract entity or possible context to which a number of laws apply directly and exactly. In this sense, “model” is given a meaning related to both common sense and the sense in which, apparently, scientists use the term.

KEYWORDS • Theories. Models. Semantic approach. Pragmatic approach. Pragmatics of investigation. Operacionalism. Mach. Bridgman. Hesse. Cartwright.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHINSTEIN, P. History and philosophy of science: a reply to Cohen. In: SUPPE, F. (Ed.). *The structure of scientific theories*. Urbana/Chicago, University of Illinois Press, 1977. p. 350–60.
- BRIDGMAN, P. W. *The logic of modern physics*. Salem, Ayer Publishers, 1993[1927].
- CARTWRIGHT, N. *How the laws of physics lie*. Oxford, Oxford University Press, 1983.
- _____. *Nature’s capacities and their measurement*. Oxford, Clarendon Press, 1989.
- _____. *The dappled world. A study of the boundaries of science*. Cambridge, Cambridge University Press, 2003.
- FRAASSEN, B. C. van. *The scientific image*. Oxford, Clarendon Press, 1980.
- _____. *Laws and symmetry*. Oxford, Clarendon Press, 1989.
- _____. *Science without laws*. Chicago/London, University of Chicago Press, 1999.
- _____. Theories. In: NEWTON-SMITH, W. H. (Ed.). *A companion to the philosophy of science*. Oxford, Blackwell, 2001. p. 515–24.
- GIERE, R. N. *Explaining science: a cognitive approach*. Chicago, University of Chicago Press, 1988.
- HEMPEL, C. G. Formulation and formalization of scientific theories. A summary-abstract. In: SUPPE, F. (Ed.). *The structure of scientific theories*. Urbana/Chicago, University of Illinois Press, 1977. p. 244–65.
- HESSE, M. B. *Models and analogies in science*. Notre Dame, University of Notre Dame Press, 1966.
- _____. Models and analogies. In: NEWTON-SMITH, W. H. (Ed.). *A companion to the philosophy of science*. Oxford, Blackwell, 2001. p. 299–307.
- MACH, E. *The science of mechanics*. La Salle, Open Court, 1989[1893].
- NAGEL, E. *The structure of science. Problems in the logic of scientific explanation*. New York/Burlingame, Harcourt, Brace & World, 1961.
- NEWTON-SMITH, W. H. (Ed.). *A companion to the philosophy of science*. Oxford, Blackwell, 2001.
- SUPPE, F. (Ed.). *The structure of scientific theories*. Urbana/Chicago, University of Illinois Press, 1977.
- _____. The search for philosophic understanding of scientific theories. In: SUPPE, F. (Ed.). *The structure of scientific theories*. Urbana/Chicago, University of Illinois Press, 1977. p. 1–241.
- _____. *The semantic conception of theories and scientific realism*. Urbana/Chicago, University of Illinois Press, 1989.