

Prof. Moniz Pereira

3.3

19. Papert, S. e Voyat, G., «A propos du Perceptron. Qui a besoin de l'épistémologie?», in «Cybernétique et Epistémologie», vol. XXII des Études des d'Epistémologie Génétique, P.U.F., 1968.
20. Papert, S., «Etude comparée de l'intelligence chez l'enfant et le robot», in (ver 8.)
21. Arbib, M., «Theories of Abstract Automata», Prentice-Hall, 1969.
22. «Introdução aos autómatos finitos e infinitos: aplicações», colóquio no CEC, ver 11.
23. Hopcroft, J. E. e Ullman, J. D., «Formal Languages and their relation to automata», Addison Wesley, 1969.
24. Apostel, L., «Épistémologie de la linguistique», in (ver 5.)
25. Piaget, J., «Les deux problèmes principaux de l'épistémologie des sciences de l'homme», in (ver 5.)
26. Moniz Pereira, L., «Cibernética-Epistemologia», in Técnica, revista de engenharia da Associação dos Estudantes do I.S.T., 1968, Dezembro.

Luís Fernando Monteiro e Luís Moniz Pereira

(Centro de Estudos de Cibernética do I. S. T.)



## Aspectos cibernéticos da Epistemologia

Fol  
4512

22 SET 1980

A. Segundo Wiener<sup>1</sup>, cibernética é a «ciência do controle e da comunicação no animal e na máquina», evidenciando assim os conceitos gerais de comunicação e de controle, *independentemente* da realidade física que possibilite a sua existência. O próprio Wiener<sup>1,2</sup>, no entanto, considerou que uma ciência só é viva se ao longo do tempo for modificando o seu objecto de estudo. De facto, assim tem acontecido com a cibernética; as noções de informação e de controle, na altura estreitamente ligadas aos problemas da telecomunicação e da regulação automática, ultrapassaram largamente o âmbito da engenharia, e o seu carácter mais geral, que Wiener<sup>3</sup> já intuía, está hoje bem estabelecido.

Esse carácter geral é também consequência de se terem definido, a nível abstracto, outros conceitos com grande generalidade de aplicação, os quais tornaram possível que as teorias sobre eles desenvolvidas não estivessem dependentes das condições físicas em que se manifestam. Querendo manter a definição de Wiener, podemos dizer que o carácter geral da cibernética se foi evidenciando através de sucessivos alargamentos da noção de «máquina», até abranger todos os sistemas organizados em geral que evoluem no tempo. O estudo da forma como se foram processando esses alargamentos é um dos problemas fundamentais da epistemologia da cibernética. Daí a característica interdisciplinar da cibernética actual, conseguida através de uma mesma

interpretação, feita a nível abstracto, de conjuntos de fenómenos aparentemente diferentes e que ocorrem em ciências diversas. Essa interpretação a nível abstracto resulta de uma reflexão epistemológica sobre os conceitos, princípios e métodos de cada ciência em particular, a qual permite decidir (em primeira aproximação) da adequação dos modelos cibernéticos aos seus problemas específicos, ou seja, permite estabelecer, para esses mesmos problemas, certas hipóteses explicativas de carácter heurístico sujeitas à confirmação experimental. Por um processo dialéctico constituído pela repetição da sucessão: hipótese — experimentação — alteração das hipóteses, chegar-se-á então a uma explicação do conjunto de fenómenos em causa.

Há pois que definir em que consiste a interpretação referida, como é possível comparar interpretações, em que consistem os métodos heurísticos para avançar hipóteses, e como deve ser regulado o processo dialéctico apontado.

Chegamos assim à necessidade de explicitar, sucessivamente, alguns dos conceitos gerais atrás mencionados, que são os de *modelo*, de *heurística* e de *aprendizagem*, elucidando por outro lado as suas interligações, os seus âmbitos e os conceitos de que se socorrem. Antes disso vamos, porém, sistematizar algumas considerações preliminares sobre certos problemas que dizem respeito à utilização das línguas naturais em ciência.

B. É próprio do conhecimento científico<sup>4</sup> a procura de uma objectividade cada vez maior através de um maior rigor quer da escolha e descrição dos dados experimentais, quer dos métodos dedutivos empregados. No que toca a estes dois aspectos do conhecimento científico, é de realçar a grande importância que desempenha o tipo de linguagem utilizado para a apreensão do objecto de estudo da ciência<sup>5</sup>, visto que ele condiciona a recolha dos dados

e sua descrição, bem como a utilização dos processos dedutivos. As línguas naturais, em especial, incorrem num certo número de inconvenientes:

- 1 — não permitem delimitar claramente o objecto de estudo.
- 2 — têm fraco poder de discriminação de conceitos.
- 3 — tornam impossível estar-se seguro de que as conclusões a que se chega resultam apenas das hipóteses feitas explícita e intencionalmente e que não dependem de elementos imprevistos, ou que deliberadamente não foram incluídos, e os quais intervêm na interpretação de um modo difícil de controlar.
- 4 — a insuficiência da sua nitidez não permite que se façam previsões unívocas, e as diferentes interpretações da teoria conduzem a divergências aquando da sua aplicação na prática.
- 5 — a dificuldade em uniformizar nomenclaturas não permite facilmente um conhecimento cumulativo.

Em contraposição, só as línguas formais permitem a elaboração lógico-matemática de um modelo, a qual se torna indispensável a partir do momento em que se exige uma análise suficientemente fina e rigorosa das noções e das opções precisas entre as hipóteses.

C. A elaboração de modelos cibernéticos consiste na formulação a nível abstracto, e do ponto de vista do fluxo da informação e das hierarquias do controle, de uma teoria explicativa *possível* para um dado conjunto de fenómenos. Por outras palavras, pretende-se, através da elaboração de modelos cibernéticos, não tanto a explicação real do conjunto de fenómenos dado, mas sim fornecer *uma*

solução explicativa ao nível da informação e do controle (e não, por exemplo, ao nível energético, como pode acontecer na análise de fenómenos biológicos; um neurónio poderá ser estudado, pelo menos, aos níveis biofísico, bioquímico, fisiológico, informático e lógico).

Esta atitude justifica-se se atendermos ao que se passa quando estamos perante um conjunto dinâmico de fenómenos:

— Em primeiro lugar, esse conjunto de fenómenos pode ser estudado segundo diversos objectivos bem definidos, cada um dos quais caracteriza um nível de observação e ainda um conjunto de observações a fazer. Fica assim definido *sistema* como sendo esse conjunto de fenómenos observado de acordo com o objectivo escolhido.

— Em segundo lugar, o mecanismo em si de um sistema não nos é nunca acessível porque as observações por si só não no-lo revelam.

— Por último, há que atender aos limites da precisão dos processos de observação ao nosso dispor, e ao facto de que esses limites não podem ser reduzidos indefinidamente.

Para além da importância do método de observação, a importância do método dedutivo está bem expressa na seguinte afirmação de J. Piaget<sup>4</sup>: «Uma ciência experimental (...) é uma ciência para a qual a *experimentação* constitui uma condição *necessária* \* do saber. Mas isso não significa que essa condição seja *suficiente* \*, porque pode ser combinada com outros processos cognitivos tais como a dedução matemática».

O método cibernético a ser utilizado para o estudo dos sistemas tem as seguintes características<sup>5</sup>:

- 1 — deverá ser definido de maneira precisa e de forma operacional; i.e., o observador deve

\* O sublinhado é nosso.

poder actuar sobre o sistema e / ou deve ter conhecimento de outras modificações exteriores ao sistema que o venham a influenciar.

- 2 — deverá ser igualmente aplicável a todos os sistemas.
- 3 — o seu processo de obter informação acerca do sistema deverá ser inteiramente objectivo.
- 4 — essa informação deverá provir apenas do sistema em estudo, devendo ser eliminadas as interferências estranhas ao sistema, porventura mal definidas.

Este método caracteriza o nível de observação cibernética desejável. Desse ponto de vista, um sistema poderá ser descrito abstractamente como sendo uma *caixa negra*<sup>7</sup> fechada, que interage com o exterior por intermédio de *canais de comunicação* que veiculam a *informação*. Há que distinguir entre os *canais de entrada*, que podem ser interpretados como veiculando as actuações do observador sobre o sistema ou quaisquer outras modificações exteriores ao sistema que venham a influenciar a sua evolução futura, e *canais de saída* que traduzem o comportamento do sistema em si. Ao conjunto de fenómenos observados de acordo com o objectivo faz-se corresponder o conjunto de estados distintos que podem apresentar os canais de comunicação. Tudo o que se passa no interior da *caixa negra* (e que portanto não é observável) entre duas quaisquer observações consecutivas, representa o *mecanismo* em si do sistema, para o qual, em última análise, o observador pretende fornecer *uma explicação possível*; neste sentido, essa explicação é condição *suficiente* para que se possa reproduzir o comportamento de entrada-saída do sistema, mas não é condição *necessária* à reprodução desse comportamento.

A importância destes conceitos resulta de que, segundo J. Piaget<sup>8</sup>, «o problema epistemológico

consiste em determinar o conjunto das condições necessárias e suficientes que permitem ao sujeito construir uma estrutura de conhecimentos válidos».

D. Atendendo a que<sup>4</sup> «a epistemologia é o estudo da passagem dos estados de menor conhecimento aos estados de conhecimento mais profundo», propomos em seguida a definição de *modelo de uma caixa negra* como sendo qualquer decomposição dessa caixa negra em outras caixas negras, desde que se mantenha o mesmo comportamento de entrada-saída (resultando assim uma decomposição do sistema em sub-sistemas). A caixa negra inicial passa então a ser representada por uma rede de outras caixas negras inter-conectadas entre si por intermédio de canais de comunicação. Trata-se de uma definição *recursiva* que deixa entrever um processo de *aproximações sucessivas* na elaboração de modelos cada vez mais aperfeiçoados para a caixa negra inicial.

A propósito desta definição há dois pontos a referir:

D.1. — Em primeiro lugar, a elaboração de modelos cada vez mais adequados pressupõe um *processo de aprendizagem* por parte do observador, o qual pertence também ao âmbito da cibernética na medida em que esta constrói modelos de aprendizagem (quando o sistema em estudo for um observador que aprende). Esse processo decorre segundo uma dialéctica a que já nos referimos, que tem a sua origem na retroacção (feedback) dos erros verificados durante a experimentação, sobre as hipóteses que concernam a elaboração dos sucessivos modelos.

A título de exemplo mencionamos a existência de programas para computador que são modelos das hipóteses do investigador sobre o processamento de informação subjacente a certos comportamentos humanos («Problem Solving»; c. f. «Computers and Thought»). As previsões efectuadas pelo modelo

são comparadas ao comportamento humano e, no caso de haver discrepâncias, o programa inicial é modificado, até que eventualmente forneça boas previsões sobre o comportamento considerado relevante para o objectivo em vista.

Note-se que um modelo da aprendizagem desempenha um papel epistemológico relativamente à elaboração de modelos feita pelo observador, utilizando-se para isso de uma meta-linguagem sobre a linguagem do observador; eventualmente será o próprio observador a fazer a sua crítica epistemológica, visto que muitas das vezes os dois processos ocorrem alternadamente. Discerna-se, neste caso, uma hierarquia de dois níveis de controle, a cada um dos quais corresponde uma linguagem e um método próprios. Do mesmo modo se pode imaginar uma hierarquia de sucessivos níveis de controle tais que cada um deles controla o anterior e é controlado pelo seguinte.

A importância epistemológica dos modelos da aprendizagem é-nos revelada por J. Piaget quando afirma<sup>10</sup>: «No seu sentido mais lato, a aprendizagem é um processo adaptativo que se desenvolve no tempo, e que é função das respostas dadas pelo sujeito a um conjunto de estímulos, tanto anteriores como actuais. Torna-se assim claro que, conforme a maneira como se interpreta a acção dos estímulos sobre o comportamento do sujeito, bem como a natureza das respostas do sujeito entrando em linha de conta com a forma do desenvolvimento histórico (markoviano ou não) constituído pelas suas respostas sucessivas, se deparará com *todos*\* os problemas epistemológicos centrais das relações entre sujeito e objecto».

Por outro lado, o conceito de hierarquia de controle quando integrado no conceito de sistema auto-organizante, permite-nos perceber como se poderá

\* O sublinhado é nosso.

verificar a passagem de um modelo com uma dada estrutura a um outro de estrutura mais elaborada, obtido a partir do primeiro (cf. a propósito o artigo de Léo Apostel, «Structure et Genèse»<sup>11</sup>).

O problema das hierarquias de controle está no entanto ligado ao segundo ponto a que nos queríamos referir.

D.2. — A noção de controle supõe que se efectua comparação entre o comportamento em curso e certos critérios que definem como esse comportamento deve efectuar-se. Assim, no primeiro nível da hierarquia, o observador controla a maneira como efectua as suas observações, de acordo com o objectivo escolhido; no segundo nível da hierarquia, o observador controla a escolha dos critérios a utilizar no primeiro nível, de acordo com certos critérios, e assim por diante. (O leitor, ao fazer a crítica deste trabalho, situa-se portanto num nível superior da hierarquia relativamente aos autores).

A escolha de um critério nem sempre fornece um método rigoroso (algoritmo) que permita fazer uma escolha adequada do critério a utilizar no nível inferior da hierarquia consoante a maior ou menor aproximação conseguida em relação ao objectivo. Não existem, por exemplo, regras bem definidas para a escolha dos métodos a empregar na resolução de problemas matemáticos, e muito menos regras para a escolha dessas regras.

Em todas as ciências existem métodos chamados *heurísticos* que lhes são mais ou menos particulares, os quais são adoptados na resolução dos seus problemas próprios atendendo à experiência acumulada, e que, embora não garantam uma solução óptima, podem assegurar uma solução satisfatória dos mesmos. São mormente utilizados quando ou não existe um algoritmo (cf. 12) óptimo, ou quando ele seria demasiado moroso ou lento (por exemplo no caso de haver muitas variáveis em jogo).

Um caso típico de método heurístico é a decomposição do problema inicial em sub-problemas particulares, à qual corresponderá uma divisão do objectivo inicial em sub-objectivos (é, por exemplo, o que acontece quando se pretende introduzir desde o início, na construção dos modelos, o mais elevado número de características que seja possível e não existem para isso instrumentos adequados de análise).

A frequência e o nível de controle em que esses métodos são normalmente empregados dão-nos uma ideia do grau de formalização das ciências que, mais ou menos explicitamente, deles se servem para a escolha dos seus diversos critérios.

Os processos heurísticos têm sido recentemente desenvolvidos e aplicados em programas para computador, sobretudo na simulação dos processos cognitivos (demonstração de teoremas, jogo de xadrez, e outros; consultar a esse respeito «Computers and Thought»<sup>9</sup> e «Thinking and Reasoning»<sup>13</sup>).

Esses processos desempenham um papel fundamental na elaboração do modelo *inicial* a aplicar e, como já dissemos, na escolha dos critérios dos níveis da hierarquia de controle em que intervêm. O modelo inicial a esses critérios é obtido através da experiência da própria ciência e ou por concorrência à experiência de outras ciências. Para que isso seja possível, é preciso *reconhecer* nos enunciados dos problemas a resolver enunciados de problemas já resolvidos em outras ciências e / ou a aplicabilidade deste ou daquele método heurístico, geral ou particular. Essa actividade de reconhecimento pressupõe já uma atitude relativamente aos dados que são relevantes, de acordo com o objectivo em curso. No que toca ao reconhecimento, é essa actividade que permite reduzir a variedade de comportamentos a aplicar na resolução do problema. Nesse sentido, o Reconhecimento de Padrões (Pattern Recognition) é de importância central para o estudo

da Inteligência Artificial<sup>14, 15</sup> e da Epistemologia Comparada (cf. a noção de «Domínio Epistemológico Derivado»<sup>16</sup>). No que toca à escolha dos dados relevantes, embora exista já uma teoria da classificação ou tipologia que assegure a consistência e a não-redundância relativa de um conjunto de dados e regule o seu aperfeiçoamento (cf. 17), os métodos heurísticos intervêm sempre, num ou noutro nível da hierarquia, a maior parte das vezes na definição rigorosa do objectivo.

A recorrência a outras ciências pode, no entanto, efectuar-se, de um modo mais rigoroso, mediante a comparação dos respectivos modelos, já formalizados em maior ou menor detalhe, caso esse em que a comparação é mais ou menos imediata. Porém, nem sempre existe um modelo prévio que possa ser comparado; é então frequente que as *relações* e os *conceitos* extraídos de outros modelos sejam empregados sob uma forma apenas qualitativa. A utilização de modelos segundo essa forma «degenerada» é muitas vezes útil pelas novas relações e pelas novas interrogações que pode sugerir. B. Matalon<sup>18</sup> cita como exemplo a utilização em psicologia dos modelos da Teoria dos Jogos e da Teoria da Informação.

E. À pergunta: «Quem é que necessita mais de epistemologia?» responde S. Papert<sup>19, 20</sup> que é pouco provável que os epistemólogos do passado tivessem respondido: São os engenheiros. «No entanto, vamos sugerir neste nosso artigo», prossegue Papert<sup>19</sup>, «que na presente conjuntura, dada a sua preocupação em resolver certos problemas relativos à utilização das máquinas cibernéticas, são eles quem mais urgente necessidade tem de uma teoria de conhecimento e quem maior probabilidade tem de criar».

De facto, a Teoria dos Autómatos<sup>21, 22</sup>, finitos ou infinitos (Máquinas de Turing), não só por desenvolvimento próprio como pelas aplicações que tem suscitado (em Psicologia, em Pedagogia — Máquinas de Ensinar\*, em Linguística<sup>23</sup>) é especial-

mente propícia quer à definição de problemas epistemológicos e sua solução, quer para pôr à prova teorias epistemológicas demasiado ingénuas. Por outro lado, é da sua inteira competência o estudo da obtenção de modelos mais refinados através da decomposição de uma caixa negra em outras.

Por desenvolvimento próprio, dizíamos, dados os problemas que tem levantado, como sejam o da Reprodução das Máquinas, o da sua Revolução, o da Incidência das Estruturas, e dos Problemas irresolúveis em qualquer Máquina. Pelas aplicações que tem suscitado, se atendermos ao seu papel no desenvolvimento de modelos *cibernéticos* do cérebro, por exemplo (cf. a esse respeito os trabalhos do Dr. Simões da Fonseca, chefe do Laboratório de Neurofisiologia do Centro de Estudos Egas Moniz).

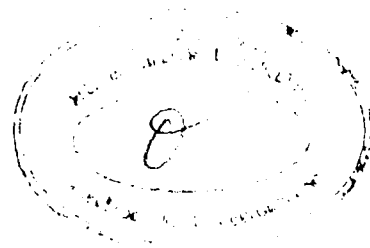
No seu artigo «Épistémologie de la Linguistique»<sup>24</sup>, Léo Apostel afirma: «A única contribuição que queríamos trazer aqui é a tomada de consciência de que a epistemologia da linguística é, em última análise, um capítulo da teoria da aprendizagem da classificação dos códigos», e sustenta essa afirmação com base em dois argumentos: «por um lado, o problema da teoria do conhecimento em linguística pode receber uma formulação precisa no interior dos modelos de Chomsky; por outro, a teoria das técnicas da aprendizagem, quando interpretada genéticamente, pode dar conta de certos aspectos da história da linguística, mesmo no seu estado embrionário actual». Queremos no entanto deixar expresso que esta teoria da aprendizagem não está ainda totalmente elaborada; a sua formulação diz respeito à cibernética, e vislumbram-se desde já múltiplas consequências, pois que<sup>25</sup>: «A cibernética é actualmente (...) o ponto de encontro mais polivalente entre as ciências físico-matemáticas, as ciências biológicas e as ciên-

---

\* Cf. os trabalhos de Gordon Pask.

cias do homem. No que respeita a estas últimas, o facto mais notável é a passagem das máquinas cujo programa é determinado em detalhe (...), aquelas que, para resolver problemas, modificam o seu programa tornando-se assim susceptíveis de aprendizagem».

Depois do aparecimento nos seres vivos de vários sistemas de controle (genético, endócrino, nervoso), uma nova etapa começou já: a da crítica desses sistemas de controle e a dos estudos da Inteligência Artificial<sup>26</sup>.



1. Wiener, N., «Cybernetics», M.I.T. Press, 1961.
2. Wiener, N., «I am a mathematician», M.I.T. Press,
3. Wiener, N., «The human use of human beings; Cybernetics and society», Houghton Mifflin Co., Boston, 1950.
4. Piaget, J., «L'épistémologie et ses variétés». in «Logique et Connaissance scientifique», Encyclopédie de la Pléiade, Éditions Gallinard, 1967.
5. Granger, G., «Pensée formelle et sciences de l'homme», P.U.F.
6. Ashby, W. R., «Design for a brain», Chapman and Hall, 1960.
7. Ashby, W. R., «An introduction to cybernetics», Chapman and Hall, 1961.
8. Piaget, J., «Les méthodes de l'épistémologie», in (ver 5.)
9. Feigenbaum, E. e Feldman, J. (eds.), «Computers and Thought», McGraw-Hill, 1963.
10. Piaget, J., «Apprentissage et connaissance», in «Apprentissage et connaissance», vol. VII des Études d'Épistémologie Génétique, P.U.F. 1959.
11. Apostel, Léo, «Structure et genèse», in «La filiation des structures», vol. XV des Études d'Épistémologie Génétique», P.U.F. 1963
12. Moniz Pereira, L., «Autómatos Infinitos e Teoria da Computabilidade», comunicação apresentada no colóquio sobre «Introdução aos Autómatos Finitos e Infinitos: Aplicações», organizado pelo CEC; edição policopiada pelo Centro de Estudos de Cibernética, 1970.
13. Wason, (ed.), «Thinking and Reasoning», Penguin Modern Psychology, 1967.
14. Banerji, R. B., «Theory of problem solving; An approach to artificial intelligence», American Elsevier Publishing Co., 1969.
15. George, F. H., «Models of Thinking», Allen and Unwin, 1970.
16. Piaget, J., «Le système de la classification des sciences», in (ver 5.).
17. Lerman, I.C., «Les bases de la classification automatique», Gauthier, 1970.
18. Matalon, B., «Note sur les modèles d'apprentissage», in vol. III des Études d'Épistémologie Génétique, P.U.F., 1968.