

Este arquivo contém o texto completo do seguinte trabalho:

MARTINS, Roberto de Andrade. Jevons e o papel da analogia na arte da descoberta experimental: o caso da descoberta dos raios X e sua investigação pré-teórica. *Episteme. Filosofia e História das Ciências em Revista* **3** (6): 222-49, 1998.

Este arquivo foi copiado da biblioteca eletrônica do Grupo de História e Teoria da Ciência <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), do seguinte endereço eletrônico (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-61.pdf>>

Esta cópia eletrônica do trabalho acima mencionado está sendo fornecida para uso individual, para fins de pesquisa. É proibida a reprodução e fornecimento de cópias a outras pessoas. Os direitos autorais permanecem sob propriedade dos autores e das editoras das publicações originais.

---

This file contains the full text of the following paper:

MARTINS, Roberto de Andrade. Jevons e o papel da analogia na arte da descoberta experimental: o caso da descoberta dos raios X e sua investigação pré-teórica. *Episteme. Filosofia e História das Ciências em Revista* **3** (6): 222-49, 1998.

This file was downloaded from the electronic library of the Group of History and Theory of Science <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> of the State University of Campinas (UNICAMP), Brazil, from following electronic address (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-61.pdf>>

This electronic copy of the aforementioned work is hereby provided for exclusive individual research use. The reproduction and forwarding of copies to third parties is hereby forbidden. Copyright of this work belongs to the authors and publishers of the original publication.

# JEVONS E O PAPEL DA ANALOGIA NA ARTE DA DESCOBERTA EXPERIMENTAL: O CASO DA DESCOBERTA DOS RAIOS X E SUA INVESTIGAÇÃO PRÉ-TEÓRICA

*Roberto de Andrade Martins\**

## RESUMO

A partir do estudo de um caso histórico particular (descoberta e investigação preliminar dos raios X), utilizando as concepções metodológicas de William Stanley Jevons, este artigo analisa o papel das analogias no processo de pesquisa experimental pré-teórica. A análise de Jevons e os dados históricos indicam que a descoberta de um fenômeno totalmente novo se dá ao acaso, porém logo em seguida é necessário que algumas suposições guiem a pesquisa, caso contrário as observações e experimentos seriam realizados totalmente ao acaso, o que dificilmente levaria a algum resultado. É impossível estudar todos os fatores que podem influenciar um fenômeno, e assim a atenção do pesquisador deve ser focalizada apenas sobre alguns aspectos, e essa escolha, em um contexto pré-teórico, deve ser guiada por analogias. Ao contrário das análises tradicionais, este artigo atribui um *status* epistemológico diferente às analogias empregadas nesse tipo de investigação, interpretando-as como geradoras de *desiderata* e não de hipóteses prováveis.

**Palavras-chave:** Jevons; William Stanley; Röntgen; Wilhelm Conrad; Raios X; Analogia; Metodologia Científica; Descoberta; Método Experimental; *Desiderata*.

## JEVONS AND THE ROLE OF ANALOGY IN THE ART OF EXPERIMENTAL DISCOVERY: THE CASE OF THE DISCOVERY OF X RAYS AND THEIR PRE-THEORETICAL INVESTIGATION

This paper discusses the role of analogy in pre-theoretical experimental research, studying a particular historical case (the discovery and early investigation of X rays) and using the methodological ideas of William Stanley Jevons. The historical data and Jevons' analysis suggest that the discovery of a completely new phenomenon is due to chance, but soon afterwards it is necessary that some assumptions provide a guidance to the research –

\* Grupo de História e Teoria da Ciência - Depto. de Raios Cósmicos do Instituto de Física da Universidade Estadual de Campinas. E-mail: rmartins@ifi.unicamp.br

otherwise, observations and experiments would occur at random, and that would seldom lead to significant results. It is impossible to study all the factors that could possibly affect a given phenomenon, and hence the attention of the researcher must focus upon a small number of features. This choice, in a pre-theoretical context, must be guided by analogies. Contrary to traditional analyses, this paper associates a peculiar epistemological status with analogies used in that kind of investigation: they are interpreted as originating *desiderata*, instead of probable hypotheses.

**Key Words:** Jevons; William Stanley; Röntgen; Wilhelm Conrad; X Rays; Analogy; Scientific Method; Discovery; Experimental Method; *Desiderata*.

---

## INTRODUÇÃO

Todos já ouviram falar sobre a descoberta dos raios X por Wilhelm Conrad Röntgen, em 1895: Röntgen estava fazendo experimentos sobre descargas elétricas em tubos com ar rarefeito, e havia um papel recoberto com material fluorescente sobre a mesa. Os experimentos eram feitos no escuro, e ao ligar o aparelho Röntgen notou que o papel se tornava brilhante. O fenômeno chamou sua atenção e, estudando-o, descobriu a existência de um novo tipo de radiações penetrantes, invisíveis, diferentes de todas as conhecidas, que chamou de “raios X”.

Nesse caso, como em várias outras descobertas experimentais da ciência, o pesquisador não estava procurando testar nenhuma teoria. Ao investigar algo que não havia sido previsto, e que parecia ser completamente novo, ele também não poderia partir de uma teoria para elaborar seus experimentos. Em situações como essa, como é orientado o trabalho? Será que o pesquisador segue um procedimento indutivo? faz observações e experimentos ao acaso, talvez?

Este artigo estuda esse problema metodológico: como são orientadas as pesquisas experimentais em um período pré-teórico. Para investigar essa questão, será utilizado como objeto de investigação um estudo de caso da história da física: o episódio da descoberta dos raios X por Wilhelm Conrad Röntgen, assim como dos primeiros estudos sobre o fenômeno. Ao invés de tentar fornecer uma análise completa do problema, ou de descrever tudo o que tem sido publicado recentemente sobre o assunto, será feita uma comparação entre os dados históricos e a obra de um metodólogo pouco estudado atualmente, da segunda metade do século XIX: William Stanley Jevons (1835-1882)<sup>1</sup>.

Após uma análise geral do problema estudado, vamos apresentar uma descrição da descoberta de Röntgen, e depois vamos analisar os procedimentos utilizados, a partir das idéias de Jevons.



## O PROBLEMA: AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DO TRABALHO EXPERIMENTAL

Quando uma disciplina científica está bem desenvolvida e já dispõe de teorias, o estudo experimental fica, em grande parte, dirigido por essas teorias. Nesse caso, o próprio planejamento e avaliação dos estudos experimentais depende do contexto teórico. No entanto, em fases como as que Kuhn chama de “pré-paradigmáticas”, não existem ainda teorias desenvolvidas, que possam orientar a pesquisa experimental. Como ela é realizada? Como se orienta a pesquisa? Como são planejadas as observações e experimentos? Como é conduzido o trabalho nesse período?

É preciso, em primeiro lugar, indicar em que tipo de concepção sobre a ciência se insere tal questionamento. Defendo uma história e filosofia da ciência que seja útil para a prática científica. Não partilho da posição de que os cientistas devem seguir uma rígida e clara seqüência de operações (por exemplo: primeiro observar, depois fazer generalizações, depois fazer hipóteses, depois testar as hipóteses). Também não partilho da posição de que não existe um método na ciência (ou seja: anarquismo metodológico – “tudo é válido”). A primeira posição é tola, por ignorar a realidade da prática científica; o pesquisador que tentar segui-la não será bem sucedido. A segunda é prejudicial ou pelo menos inútil ao desenvolvimento científico, pois torna impossível a discussão racional dos procedimentos científicos, o treino de novos pesquisadores ou o planejamento da pesquisa.

Essas duas não são, no entanto, as únicas possibilidades. Sem querer prescrever normas que cada cientista seja *obrigado* a seguir, parece possível indicar procedimentos que são *úteis* ou *desejáveis* (os *desiderata*) em cada etapa da pesquisa científica, correspondendo a condições suficientes (mas não necessárias) para que um trabalho tenha valor científico<sup>2</sup>.

De acordo com essa posição, julgo relevante investigar os procedimentos metodológicos adotados em alguns trabalhos científicos do passado, procurando explicitar as regras que poderiam conduzir um pesquisador em situações como aquela.

Dentre os autores recentes, há poucos que tenham se dedicado à análise do trabalho experimental. Entre as exceções, podemos citar Mario Bunge, Dudley Shapere, Ian Hacking e Allan Franklin (BUNGE, *Scientific research*; FRANKLIN, *The neglect of experiment*; SHAPER, 1982; HACKING, *Representing and intervening*). Com diferentes enfoques, eles procuraram esclarecer algumas das estratégias importantes ou úteis do trabalho experimental.

Segundo Franklin, por exemplo, alguns dos elementos que aumentam o valor de um trabalho experimental são: o teste do próprio aparelho ou método utilizado (envolvendo sua calibração, etc.); a reprodutibilidade dos resultados atingidos; a realização de variações do experimento, com diferentes aparelhos e métodos; a existência de uma base teórica para os próprios instrumentos; etc. No entanto,



Franklin não faz uma análise *sistemática* dos processos experimentais da ciência; e sua preocupação se dirige principalmente para estudos experimentais dentro de um contexto teórico bem desenvolvido.

Há autores, como Bunge, que fazem esse tipo de estudo sistemático, porém pouco fundamentado na prática científica ou em sua história. O trabalho de Bunge parece resultar de uma análise sobre o que os pesquisadores *poderiam* fazer e não sobre a prática científica. O mesmo se aplica a Shapere.

Existem muitos enfoques recentes de filosofia da ciência que são irrelevantes para o presente estudo. Em um artigo pouco típico, escrito em conjunto por 8 autores, Larry Laudan e colaboradores fazem uma revisão de alguns dos mais influentes estudos recentes (anteriores à data do artigo, 1986) de filosofia da ciência e discutem a possibilidade de testar suas teses através de pesquisas de história da ciência (LAUDAN *et al.* 1986). Antes de enumerar algumas centenas de teses historicamente testáveis dos modelos filosóficos, os autores apontam certos pontos básicos de *concordância* entre os filósofos discutidos. O primeiro deles é:

(1) As unidades mais importantes para a compreensão da mudança científica são estruturas conceituais em grande escala, de vida relativamente longa, que os autores dos diferentes modelos chamam de “paradigmas”, “teorias globais”, “programas de pesquisa” ou “tradições de pesquisa” e que, para neutralidade, chamaremos de “suposições orientadoras” (LAUDAN *et al.* 1986, p. 144).

Ou seja: a maioria dos filósofos da ciência recentes mais importantes (ou talvez a totalidade deles) focaliza sua atenção nas grandes estruturas, mais duradouras, e não nos pequenos elementos da ciência. Suas doutrinas não se aplicam ao período anterior ao desenvolvimento das “suposições orientadoras”. Ou, como os autores desse artigo comentam, “(...) há alguns problemas importantes que praticamente não são apontados. Primeiro, uma consequência inadvertida da concentração em suposições orientadoras foi que os modelos em questão tratam todos de mudanças de longo termo em ciência, não de sua prática do dia-a-dia”. Ou seja: quase tudo o que tais filósofos dizem é inútil para a discussão da prática comum da ciência e para a compreensão de seus detalhes históricos.

Um dos poucos filósofos mais famosos que trata das fases anteriores ao estabelecimento de “suposições orientadoras” amplas é Kuhn. No entanto, nas poucas páginas da *Estrutura das revoluções científicas* em que trata do período pré-paradigmático, ele apresenta uma descrição que certamente não se aplica ao surgimento dos estudos sobre radiações (KUHN, *The structure of scientific revolutions*, p. 12-20). Ele afirma que na fase inicial de pesquisa de um novo campo:

- a pesquisa se caracteriza por escolas competidoras trabalhando a partir de diferentes suposições;

- cada uma dessas escolas se baseia em uma metafísica associada;
- cada uma dessas escolas considera como fundamentais apenas os fenômenos que consegue explicar;
- a unidade básica de publicação é o livro, que é escrito tanto para o público quanto para os especialistas;
- os fatos são coletados ao acaso das fontes disponíveis;
- todos os fatos são considerados igualmente importantes.

Curiosamente, *nenhuma* dessas suposições de Kuhn é correta, no caso dos raios X. No início, não havia escolas competidoras. Os trabalhos eram publicados como artigos e não como livros. Como veremos, os fatos não eram coletados ao acaso nem considerados igualmente importantes. E mesmo os fenômenos inexplicáveis eram, muitas vezes, considerados como centrais.

Pode-se perceber por esses exemplos que o estudo epistemológico das pesquisas primariamente empíricas ainda não está bem desenvolvido. Este artigo foi escrito com o objetivo de contribuir para a compreensão de alguns dos aspectos das pesquisas experimentais pré-teóricas.

#### UM POUCO DE HISTÓRIA: A DESCOBERTA

A descoberta dos raios X é atribuída ao físico Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923)<sup>3</sup>. Röntgen foi essencialmente um físico experimental, dedicado ao estudo quantitativo de fenômenos delicados. Investigou eletricidade em cristais, efeito Kerr, propriedades elásticas da borracha, efeito de pressão na viscosidade de líquidos, realizou um importante teste da teoria de Maxwell e investigou muitos outros fenômenos – especialmente estudos sobre influência de altas pressões em várias propriedades de líquidos e cristais. Foi em Würzburg que Röntgen descobriu os raios X no final de 1895, aos 50 anos de idade. Em 1901, ele recebeu o primeiro Prêmio Nobel em Física, por essa descoberta. Dos quase 60 trabalhos que publicou durante sua vida, apenas três curtos artigos foram dedicados aos raios X<sup>4</sup>.

De todas as pesquisas realizadas por Röntgen, a descoberta do novo tipo de radiação foi a única que teve grande repercussão. Röntgen publicou três artigos sobre raios X: um deles no final de dezembro de 1895 (RÖNTGEN 1895); um segundo em março do ano seguinte (RÖNTGEN 1896); e o terceiro em março de 1897 (RÖNTGEN 1897). O primeiro é o trabalho mais famoso. Nele, Röntgen descreveu os seus primeiros estudos experimentais, nos quais estabeleceu as principais propriedades da nova radiação. Röntgen o fez imprimir nos últimos dias de dezembro de 1895, e no dia 1º de janeiro enviou separatas do mesmo, a dezenas de físicos importantes do mundo todo. Logo depois, a descoberta de Röntgen foi divulgada em jornais de todos os tipos, seus experimentos foram repetidos e con-



firmados, e ele se tornou uma pessoa famosa (JAUNCEY 1945; SARTON 1937; SANTOS 1997).

Nos trabalhos que publicou, Röntgen não informou como ocorreu a descoberta do novo fenômeno, e existem na verdade poucas informações confiáveis sobre isso<sup>5</sup>. É possível, no entanto, a partir da documentação existente, reconstruir com razoável segurança como se deu essa descoberta. Vou apresentar aqui uma versão sobre essa descoberta, sem discutir as evidências históricas que permitem justificar essa reconstrução<sup>6</sup>.

Röntgen estava interessado nos fenômenos chamados “raios catódicos”, e mais especialmente na descoberta de Philipp Lenard de que era possível fazer com que os raios catódicos produzidos em um tubo evacuado saíssem do tubo, através de uma folha fina de alumínio. Resolveu estudar raios catódicos, adquirindo em 1894 e 1895 a aparelhagem necessária – essencialmente, uma bobina de indução, capaz de produzir pulsos de alta voltagem, e tubos de vidro especiais (tubos de Crookes ou de Hittorf) onde os raios catódicos eram produzidos (ver ROMER 1959, p. 276).

Röntgen era reitor da Universidade de Würzburg, e certamente tinha muitos encargos administrativos, além de ter que ministrar aulas. Por isso, tinha pouco tempo para pesquisa. A partir do final de outubro de 1895, no entanto, conseguiu dispor de algumas semanas para se dedicar a esse estudo. No início de novembro, ele estava fazendo experimentos em que o tubo de descarga estava recoberto por papelão preto, para evitar que a sua luminosidade interferisse nas observações. A sala estava escura. Provavelmente, nessa época Röntgen estava estudando os fenômenos luminescentes produzidos por raios catódicos no ar (“raios” de Lenard), o que explicaria a necessidade de trabalhar no escuro e de fechar o tubo com papelão, para poder observar a fraca luminosidade provocada pelos raios catódicos nas proximidades do tubo. No entanto, no dia específico em que se deu a descoberta, ele utilizava certos tipos de tubos de descarga que não permitiam a saída de raios catódicos para o ar, e portanto não teria a expectativa de observar nenhuma luminescência fora do tubo.

Havia um papel recoberto com platino-cianeto de bário (um material fluorescente) sobre a mesa do laboratório. Em uma das ocasiões em que ligou o aparelho, Röntgen notou que o papel brilhava e que havia uma linha escura no papel, parecendo a sombra produzida por um fio da aparelhagem.

É possível que o próprio Röntgen e outras pessoas já tivessem se deparado com efeitos semelhantes, sem lhes dar atenção, ou pensando tratar-se de algo conhecido – afinal de contas, os raios de Lenard produziam efeitos luminescentes próximos aos tubos de descarga. Mas nesse dia específico, Röntgen voltou sua atenção para o fenômeno.

A luminosidade do papel fluorescente certamente não podia ser produzida por luz, propriamente dita, emitida pela aparelhagem, pois ela estava totalmente recoberta com um papelão que, como Röntgen afirmou, não deixava passar nenhu-



ma radiação conhecida (incluindo raios ultravioletas). Desligando o aparelho, o brilho sumia, e portanto o efeito parecia ser produzido por alguma coisa proveniente do tubo. Possivelmente Röntgen moveu o papel fluorescente e o fio que projetava a “sombra”, e concluiu que aquilo que produzia o fenômeno vinha realmente de uma das extremidades do tubo. Ele variou a distância entre o papel e o tubo, e notou que a luminescência era produzida até mesmo a distâncias de dois metros do tubo. O fenômeno era muito parecido com o que ocorreria se estivessem saindo raios ultravioletas da aparelhagem, embora certamente não fosse essa a explicação. Röntgen descreveu o fenômeno como a emissão pelo tubo de algum tipo desconhecido de raios, que tinham um efeito luminescente sobre o papel com platino-cianeto de bário. Eis como Röntgen narrou a descoberta a um jornalista, no final de janeiro de 1896:

“E o que o senhor pensou?” – perguntou o jornalista.

“Eu não pensei; eu investiguei” respondeu Röntgen. “Assumi que o efeito devia vir do tubo, pois seu caráter indicava que ele não poderia vir de nenhum outro lugar. Eu o testei. Em poucos minutos não havia dúvida sobre isso. Estavam saindo raios do tubo que tinham um efeito luminescente sobre o papel. Testei-o com sucesso a distâncias cada vez maiores, até mesmo a dois metros. Ele parecia inicialmente um novo tipo de luz invisível. Era claramente algo novo, algo não registrado.”

“É luz?”

“Não.”

“É eletricidade?”

“Não em qualquer forma conhecida.”

“O que é?”

“Eu não sei.” (DAM 1896, p. 413)

Note-se, aqui, um ponto importante: Röntgen não estava investigando nenhuma hipótese específica a respeito dos raios X, e sim aceitando que se tratava de algo novo, desconhecido. No entanto, Röntgen atribuiu um nome provisório ao fenômeno: “raios X”. A letra X, evidentemente, indicava apenas algo desconhecido, como a incógnita nas equações matemáticas<sup>7</sup>. A palavra “raio”, na época, era atribuída a alguma coisa que se movia em linhas retas, produzindo algo semelhante a sombras quando algum objeto era interposto. A palavra não significava necessariamente um tipo de onda: ainda não era conhecida a natureza dos raios catódicos, por exemplo, mas eles podiam ser chamados de “raios” porque obedeciam à descrição acima.

Como Röntgen podia saber que esses raios eram, realmente, alguma coisa nova? Evidentemente, comparando-os com os outros tipos de raios conhecidos: raios luminosos, raios ultravioletas, raios infravermelhos, raios catódicos. Os raios que Röntgen estava detectando atravessavam papelão preto, por isso não podi-

am ser nenhum dos três primeiros. Por atravessarem papelão e poderem ser observados a uma grande distância do aparelho, no ar, também não poderiam ser raios catódicos, que eram facilmente absorvidos pela matéria. Portanto, por exclusão, era algo novo<sup>8</sup>.

De acordo com declarações posteriores de Röntgen, essa conclusão inicial foi acompanhada de muitas dúvidas e angústias:

Quando fiz primeiramente a chocante descoberta dos raios penetrantes, o fenômeno era tão espantoso e extraordinário que eu tive que me convencer repetidamente, fazendo o mesmo experimento de novo, de novo e de novo, para ficar absolutamente certo de que os raios realmente existiam. Eu não estava consciente de nada mais além do estranho fenômeno no laboratório. Era um fato ou uma ilusão? Eu estava dilacerado entre dúvida e esperança, e não queria ter quaisquer outros pensamentos que interferissem com meus experimentos. Tentei excluir tudo o que não fosse pertinente ao trabalho de laboratório de minha mente. Qualquer interferência poderia ter me levado a falhar na criação de condições idênticas para substanciar a descoberta. Fiz as observações muitas e muitas vezes antes de ser eu próprio capaz de aceitar o fenômeno. Durante esses dias de teste eu estava como em um estado de choque (RÖNTGEN, citado por NITSKE, *Wilhelm Conrad Röntgen*, p. 5).

Recentemente, Howard Seliger afirmou que a descoberta de Röntgen foi devida à procura planejada de radiação invisível de alta frequência prevista por Helmholtz (SELIGER 1995). Helmholtz publicara um artigo em 1893 em que apontou a possibilidade de existência de ondas de alta frequência que teriam baixa absorção pela matéria (HELMHOLTZ 1893). No entanto, não existe nenhuma evidência de que Röntgen estivesse procurando tal tipo de ondas. Se Röntgen aceitasse realmente essa hipótese, ele a teria mencionado em seus trabalhos – e não o fez. Röntgen não adotou a hipótese de uma radiação de alta frequência, e sim a proposta de existência de ondas longitudinais. É muito mais provável que Röntgen tenha encontrado o novo tipo de raios por acaso.

A primeira conclusão de Röntgen – a existência de algo novo – não foi, no entanto, a parte principal de sua descoberta: foi apenas o ponto de partida. Como ele mesmo disse: “Tendo descoberto a existência de um novo tipo de raios, é claro que comecei a investigar o que eles fariam.” (Röntgen, *apud* DAM 1896, p. 413)

Mas como se investiga um novo fenômeno? À pergunta do jornalista Dam, “E o que o senhor pensou?”, Röntgen teria respondido: “Eu não pensei; eu investi-guei”. Se Röntgen realmente disse isso, provavelmente queria dizer que, ao invés de se dedicar a especulações ou análises teóricas, dedicou-se ao estudo experimental. Mas o estudo experimental, evidentemente, não pode ser feito sem pensar. Ele é guiado por algo.



Röntgen parece ter sido guiado essencialmente por analogias e comparações entre o novo fenômeno e as propriedades de radiações conhecidas – luz, raios ultravioletas, raios catódicos, etc. Esses eram os agentes físicos conhecidos que tinham as propriedades notadas logo de início: eram capazes de produzir fluorescência; podiam ser produzidos em descargas elétricas em gases rarefeitos; e podiam projetar sombras. Assim, embora Röntgen tivesse certeza de que não se tratava de nenhum desses tipos conhecidos de raios, ele procurou nos raios X outras propriedades semelhantes às das radiações conhecidas.

### JEVONS E O PAPEL DAS ANALOGIAS NA DESCOBERTA CIENTÍFICA

William Stanley Jevons é conhecido principalmente por suas contribuições à Economia e à Lógica<sup>9</sup>. Sua mais importante contribuição à metodologia da ciência foi o livro *The principles of science*, cuja primeira edição data de 1874. Uma parte dessa obra trata de lógica, discutindo argumentação, probabilidades, dedução, indução, etc<sup>10</sup>. Uma outra parte (a partir do livro IV: *Inductive investigation*) trata da prática científica, discutida principalmente a partir de exemplos tomados da Física. Embora nunca tenha sido um físico, nem desenvolvido pesquisas em áreas próximas a esse campo, Jevons obteve uma excelente compreensão sobre os procedimentos experimentais e teóricos da Física, baseando-se em estudos sobre a história dessa disciplina.

Embora escrito há mais de um século, o tratado de metodologia científica de William Stanley Jevons ainda é um bom exemplo de análise razoavelmente sistemática e bem embasada na prática científica. Jevons dedicou uma boa parte de sua obra à análise do trabalho experimental. Como veremos, ele estava plenamente consciente de que os cientistas não seguem, nem devem seguir, um “método indutivo” baconiano. O mero acúmulo de fatos não leva a nada. A pesquisa experimental se baseia em teorias ou hipóteses e analogias, ela parte de problemas e perguntas, pois sem uma direção prévia não se pode planejar um experimento. Apesar das limitações de visão decorrentes da época em que escreveu, Jevons mostrou uma grande clareza e profundidade no seu tratamento do procedimento de descoberta científica.

Não vamos aqui tratar, evidentemente, de toda a obra de Jevons, mas sim comentar algumas de suas idéias sobre o papel das analogias na descoberta científica pré-teórica. Essas idéias serão descritas e aplicadas ao estudo do caso particular da descoberta e primeiras investigações sobre os raios-X. Como Jevons morreu antes da descoberta dos raios-X, é claro que ele próprio nunca analisou esse episódio.



## JEVONS E O ACASO NAS DESCOBERTAS

Na descoberta de um novo fenômeno científico, Jevons admitia a existência de acidentes ou acasos:

Uma parte não negligenciável da experiência efetivamente utilizada na ciência é adquirida sem qualquer propósito distinto. (...) Uma grande ciência surgiu, em muitos casos, de uma observação acidental (JEVONS, *The principles of science*, p. 399).

Como exemplos, Jevons indicou casos como os de Galvani e a perna de rã, Bartholinus e o cristal da Islândia, etc. Em casos como esses, o pesquisador não estava procurando aquilo que encontrou. Além de mostrar, através de exemplos históricos, que *ocorrem* descobertas devidas ao acaso, Jevons procurou justificar a *necessidade* de acidentes para a descoberta empírica de novos fenômenos:

Como regra geral, não saberemos em que direção procurar um grande corpo de fenômenos muito diferentes dos que nos são familiares. Então, o acaso deve nos dar o ponto de partida; mas uma observação acidental bem usada pode nos levar a fazer milhares de observações de um modo intencional e organizado, e assim uma ciência pode ser gradualmente construída a partir da menor abertura (JEVONS, *The principles of science*, p. 400).

Esta nos parece uma concepção correta. Como ponto de partida, no caso dos raios X, Röntgen jamais poderia ter *planejado*: “Agora, eu vou descobrir um novo fenômeno”. Também não se pode supor que basta fazer observações sem idéias pré-concebidas para fazer descobertas. No caso da descoberta de Röntgen, ele não estava procurando os raios X, estava investigando um outro assunto. O ponto de partida foi certamente um acaso – a observação do brilho e da linha escura no papel com platino-cianeto de bário. Mas, a partir daí, a seqüência de trabalho teve muito pouco de casual.

A descoberta ao acaso não é totalmente aleatória – ele não ocorre a qualquer pessoa, mas sim a pessoas que possuem o conhecimento e treino adequados para reconhecer o significado do fato observado – e, para ser útil, deve ser seguida por uma investigação do novo fenômeno. Conforme Jevons:

Se devemos tentar tirar uma conclusão sobre o papel que o acaso tem na descoberta científica, deve-se aceitar que ele afeta em parte o sucesso de toda investigação indutiva, mas se torna menos importante com o progresso da ciência. O acidente pode trazer uma combinação nova e valiosa aos olhos de uma pessoa que nunca procurou expressamente uma descoberta daquele tipo, e é certamente provável que ocasionalmente seja feita uma descoberta desse modo. Mas quanto maior o tato e o esforço com o qual um físico se dedica ao

estudo da natureza, maior é a probabilidade de que ele encontrará acidentes afortunados, e os transformará em lucro (JEVONS, *The principles of science*, p. 532).

Uma vez descoberto um fenômeno, é preciso pensar e falar sobre ele. Um pesquisador não pode simplesmente informar: “Descobri uma *coisa* nova”. Ele irá atribuir um nome ou descrição básica ao novo fenômeno, baseando-se em sua semelhança com outras coisas já conhecidas. Este é um primeiro ponto em que vai aparecer o uso de *analogias*:

Quando um fenômeno é de um tipo não usual, nem sequer podemos falar sobre ele sem utilizar alguma analogia. Cada palavra implica em alguma semelhança entre a coisa à qual ela é aplicada, e alguma outra coisa, que fixa o significado da palavra (JEVONS, *The principles of science*, p. 522).

No caso dos raios X, a palavra “raio” era, evidentemente, analógica. O fenômeno descoberto era semelhante, sob alguns aspectos, à luz, aos raios ultravioletas, etc. A palavra “raio” significava, originariamente, um conjunto de retas divergindo de um ponto. A própria expressão “raio luminoso” já é analógica.

#### **A IMPOSSIBILIDADE DE INVESTIGAÇÕES EXAUSTIVAS AO ACASO**

Dado um fenômeno novo, como investigá-lo?

No caso da investigação experimental pré-teórica, o pesquisador quer encontrar as condições em que um certo fenômeno pode ser produzido, repetido ou alterado – ou seja, as leis que regem esse fenômeno. Isso é o que Jevons denominou “investigação indutiva”:

Nosso objetivo na investigação indutiva é determinar exatamente o grupo de circunstâncias ou condições tais que, estando presentes, seguir-se-á um certo outro grupo de fenômenos (JEVONS, *The principles of science*, p. 416).

Consideremos um exemplo banal: Quando se aquece água pura a 100° Celsius, sob pressão atmosférica normal, ela ferve. O efeito observado é que a água ferve à temperatura de 100°. As condições em que o fenômeno ocorre são: a água deve ser pura (se houver sais dissolvidos nela, por exemplo, seu ponto de ebulição se modifica); a pressão atmosférica deve ser normal (no alto de uma montanha a água ferve a menos de 100°). Mas suponhamos que estivéssemos investigando pela primeira vez na história da humanidade o fenômeno de ebulição da água. Nada nos impediria de suspeitar que a água poderia ferver a diferentes temperaturas dependendo de outras condições:



- seu volume ou peso total;
  - o material de que é feito o recipiente onde está a água;
  - a aceleração da gravidade no local do experimento;
  - a condição de ter sido fervida antes recentemente ou não;
  - a presença de campos elétricos e magnéticos;
  - a proximidade de outros recipientes com água fervendo;
  - a estação do ano em que é feito o experimento;
  - a posição dos planetas no céu no momento do experimento;
  - a presença de borboletas perto da água;
  - a cor do cabelo do experimentador;
  - o resultado das últimas eleições para Presidente;
- e inúmeras outras condições que seria fácil imaginar.

Se estivermos diante de um fenômeno *novo*, como podemos excluir a influência de qualquer dessas condições? Só se pode excluir alguma influência como irrelevante se o fenômeno já for considerado como conhecido. Por outro lado, seria possível estudar *todas* as condições? Jevons percebeu claramente que isso era impossível:

As circunstâncias que poderiam ser enumeradas como presentes no mais simples experimento são muito numerosas, e de fato quase infinitas. Esfregue dois bastões entre si e considere o que seria uma descrição exaustiva das condições. Há a forma, dureza, estrutura orgânica, e todas as qualidades químicas da madeira; a pressão e velocidade do atritamento; a temperatura, pressão, e todas as qualidades químicas do ar circundante; a proximidade da Terra, com seus poderes atrativos e elétricos; a temperatura e outras propriedades das pessoas que produzem o movimento; a radiação do Sol, e do céu; a excitação elétrica possivelmente existente em alguma nuvem acima; e mesmo as posições dos corpos celestes deve ser mencionada. Em base *a priori* não é seguro assumir que qualquer dessas circunstâncias é desprovida de efeitos, e é apenas pela experiência que podemos identificar as condições precisas a partir das quais o calor da fricção se origina (JEVONS, *The principles of science*, pp. 416-7).

Este é um primeiro problema: há infinitas condições que poderiam influenciar cada fenômeno, em princípio, e não podemos estudar infinitas condições. Por outro lado, mesmo se nos fixarmos em um número finito de condições, o estudo empírico sistemático apresenta grandes dificuldades, apontadas por Jevons.

Só podemos saber se a proximidade de borboletas voando influencia ou não o ponto de ebulição da água fazendo experimentos tanto com a presença como com a ausência delas. Mas nem isso seria suficiente, em princípio, porque seria necessário testar a mudança de cada condição *sem afetar as outras*. Suponhamos que



em nosso laboratório há borboletas, e que as afugentamos e fechamos as janelas, e verificamos que a temperatura de ebulição da água não mudou. Isso não indicaria que a presença de borboletas é irrelevante, pois poderia ocorrer que as borboletas influíssem, mas que essa influência não foi notada porque, ao mesmo tempo em que as afugentamos, mudamos também outras condições: agitamos o ar (para afugentá-las) e fechamos a janela. Em princípio, para testar a influência (ou não) de cada condição, seria necessário analisar todas as combinações possíveis de todas as condições: com e sem borboletas, com janelas abertas e fechadas, agitando ou não o ar, etc.

O grande método experimental consiste em remover, uma de cada vez, cada uma das condições que se pode imaginar ter uma influência sobre o resultado (JEVONS, *The principles of science*, p. 417).

O efeito da ausência de cada condição deveria ser testado tanto na presença quanto na ausência de cada uma das outras condições, e toda seleção dessas condições. A experimentação perfeita e exaustiva consistiria, em resumo, em examinar os fenômenos naturais em todas suas combinações possíveis e registrar todas as relações entre condições e resultados capazes de existir (JEVONS, *The principles of science*, pp. 417-8).

Mas será possível fazer esse tipo de análise? Jevons indicou que, mesmo no caso de um número finito de condições, a pesquisa sistemática deles é inviável:

O leitor perceberá, no entanto, que tal investigação exaustiva é impossível na prática, pois o número de experimentos exigidos seria imenso. Quatro antecedentes, apenas, exigiriam 16 experimentos; doze antecedentes exigiriam 4096, e o número cresce como as potências de 2. (...) É neste ponto que as regras e formas lógicas começam a falhar em proporcionar ajuda. A regra lógica é: Tente todas as combinações possíveis; mas como isso é impraticável, o experimentador deve abandonar o método lógico estrito (...) (JEVONS, *The principles of science*, p. 418).

Esse trabalho de investigação indutiva não pode ser guiado por nenhum sistema de regras precisas e infalíveis, como as do raciocínio dedutivo. De fato, não há nada a que possamos aplicar as regras do método, pois as leis da natureza devem estar sob nosso domínio antes que possamos tratar delas. Se houvesse alguma regra do método indutivo, ela nos dirigiria a fazer um arranjo exaustivo dos fatos em todas as combinações possíveis (JEVONS, *The principles of science*, p. 505).

Podemos ser obrigados a confiar em detecção casual de coincidências nos ramos de conhecimento em que estamos privados da ajuda de quaisquer no-

ções orientadoras; mas um pouco de reflexão mostrará a total insuficiência de experimentos ao acaso, quando aplicados a investigações de uma natureza complexa. (...) Quando consideramos as combinações e permutas, torna-se aparente que nunca poderíamos dar conta da possível variedade da natureza. Um exame exaustivo das possíveis ligas metálicas, ou dos compostos químicos, está fora de questão (JEVONS, *The principles of science*, p. 505).

Esta argumentação de Jevons pode parecer tão evidente, que é importante contrastá-la com a visão apresentada em meados do século XIX por um outro importante metodólogo: John Herschel. Segundo Herschel, ao se descrever um fato novo seria necessário incluir *todas* as circunstâncias em que ele ocorreu, para depois estudar quais as que são relevantes ou não:

(111.) Portanto, as circunstâncias que acompanham qualquer fato observado, são os principais aspectos em sua observação, pelo menos até que se determine por experiência suficiente quais circunstâncias nada têm a ver com ele, e podem portanto ser deixadas inobservadas sem sacrificar *o fato*. Ao observar e registrar um fato completamente novo, portanto, não devemos omitir qualquer circunstância que possa ser notada, pois alguma das circunstâncias omitidas poderia estar conectada essencialmente ao fato, e sua omissão, portanto, reduziria a afirmação de algo que se pretende ser uma *lei da natureza* a um mero registro de um *evento histórico* (HERSCHEL, *A preliminary discourse on the study of natural philosophy*, p. 120, § 111).

Neste ponto, portanto, Jevons não estava simplesmente descrevendo um lugar comum, e sim apresentando uma visão que, embora corresponda a nosso “bom senso”, não era de modo nenhum óbvia e consensual. Jevons não apresentou sua posição como algo novo, mas como o resultado de uma gradual reação contra o método preconizado por Francis Bacon:

Seria um trabalho interessante, mas que não posso realizar, seguir a trilha da reação gradual que ocorreu em tempos recentes contra a teoria puramente empírica ou Baconiana da indução. Francis Bacon, vendo a futilidade da lógica escolástica, que tinha sido predominante por longo tempo, afirmou que o acúmulo dos fatos e a abstração ordenada de axiomas, ou leis gerais, a partir deles, constituía o verdadeira método de indução. (...)

No entanto, o método de Bacon, tanto quanto podemos captar pelo sentido das principais partes de seus escritos, corresponderia ao processo de coletar empiricamente os fatos e classificá-los exaustivamente, ao qual aludi.<sup>11</sup> O valor desse método pode ser estimado historicamente pelo fato de que nunca foi seguido por qualquer dos grandes mestres da ciência (JEVONS, *The principles of science*, p. 506-7).



Se aceitarmos a reconstrução histórica da descoberta dos raios X acima descrita, o primeiro fato relevante observado por Röntgen foi o surgimento de um brilho e uma linha escura no papel fluorescente. Qual o caminho que leva dessa observação ao conceito de um novo tipo de raios? Por que Röntgen nem sequer investigou se o fenômeno era devido a algum tipo de gás, ou a campos ou correntes elétricas no tubo, ou ao calor emitido pelo tubo, ou qualquer outro tipo de causa? Por que ele pensou que o fenômeno era produzido por alguma coisa produzida no tubo, e não investigou se o fenômeno era devido à bobina que produzia a alta tensão, ou à bateria que fornecia a corrente elétrica, ou ao interruptor que vibrava e produzia um ruído, ou às faíscas que eram produzidas pela bobina, ou qualquer outro tipo de origem?

Em princípio, se estamos diante de um fenômeno *novo*, não é possível excluir nenhuma possibilidade, sob o ponto de vista lógico. No entanto, certamente Röntgen não investigou *todas* as possibilidades, mas concentrou-se imediatamente em algumas poucas alternativas. Como ele se orientou? Parece-me que Röntgen foi conduzido por uma seqüência de comparações e analogias – provavelmente nem todas conscientes.

No momento em que se deu a descoberta, a mente de Röntgen estava voltada para fenômenos produzidos por raios catódicos – alguma coisa produzida dentro do tubo de descarga, e que podia produzir efeitos luminosos fora do tubo, a curtas distâncias, passando por paredes finas de metal. Surgiu, então, a observação do brilho no papel. Quais as primeiras associações que poderiam ter ocorrido a Röntgen?

- Raios catódicos no ar (raios de Lenard), que
  - são produzidos por descargas em tubos de vácuo
  - são capazes de produzir luminescência
- Luz e raios ultravioletas, que
  - são produzidos por descargas em tubos de vácuo (e outras fontes)
  - são capazes de produzir luminescência

Outros tipos de fenômenos bem conhecidos na época também poderiam produzir luminescência, como o calor, descargas elétricas ou reações químicas, mas provavelmente Röntgen nem chegou a pensar nisso, porque o papel fluorescente mostrava uma linha escura, que parecia uma sombra – e apenas em condições muito especiais o calor, descargas elétricas e reações químicas produziram algo desse tipo. Sombras lembram imediatamente luz ou coisas semelhantes – ou seja, “raios” de algum tipo. Suponho, portanto, que o raciocínio de Röntgen pode ser reconstruído da seguinte forma:

*Observo alguma coisa que parece ser produzida pela descarga elétrica em um tubo de vácuo, que é capaz de produzir luminescência e sombras. Essa*

*coisa é, portanto, um tipo de “raio”, semelhante à luz, raios ultravioletas, raios catódicos e coisas semelhantes.*

## **AS ANALOGIAS COMO FONTE DE HIPÓTESES DE TRABALHO**

Jevons indicou claramente que a investigação pré-teórica deveria ser orientada por analogias, com base na experiência e “intuição” do pesquisador:

O leitor perceberá, no entanto, que tal investigação exaustiva é impossível na prática (...) O resultado é que o experimentador tem que recair sobre seu próprio tato e experiência ao selecionar os experimentos que mais plausivelmente lhe proporcionarão fatos significativos. É neste ponto que as regras e formas lógicas começam a falhar em proporcionar ajuda. A regra lógica é: Tente todas as combinações possíveis; mas como isso é impraticável, o experimentador deve abandonar o método lógico estrito, e confiar em sua própria intuição. A analogia, como veremos, dá alguma ajuda, e a atenção deve se concentrar naqueles tipos de condições que foram descobertos como importantes em casos semelhantes. Mas agora estamos completamente na região da probabilidade, e o experimentador, enquanto segue confiantemente aquilo que pensa ser a pista correta, pode estar desprezando a única condição importante (JEVONS, *The principles of science*, p. 418).

À medida que a ciência natural progride, os físicos adquirem um tipo de intuição e tato [*insight and tact*] em julgar quais as qualidades de uma substância que provavelmente serão relevantes em qualquer tipo de fenômeno (JEVONS, *The principles of science*, p. 422).

Ou seja: não há nenhuma regra segura para excluir qualquer condição ou combinação de condições, mas na impossibilidade de estudar todas as infinitas possibilidades, o pesquisador faz escolhas, baseado em seu “tato”, “experiência” e “intuição”, utilizando analogias para se guiar. Ao invés de investigar os fatos com a mente livre de idéias, como defendia Bacon, era preciso se guiar por hipóteses:

Nos últimos anos, o professor Huxley insistiu fortemente no valor de hipóteses. Quando ele advoga o uso de “hipóteses de trabalho”, ele sem dúvida quer dizer que qualquer hipótese é melhor do que nenhuma, e que não podemos evitar ser guiados em nossas observações por uma ou outra hipótese (JEVONS, *The principles of science*, p. 509).

## **O CONCEITO DE ‘ANALOGIA’, SEGUNDO JEVONS**

Até aqui, utilizamos várias vezes o termo “analogia”, sem esclarecer esse conceito. Jevons não apresentou, nesta obra, uma definição explícita de ‘analo-



gia', embora desde o início dela tenha enfatizado o papel de analogias e comparações em todos os tipos de inferências:

A ação fundamental de nossas faculdades de raciocínio consiste em inferir ou de transportar a um novo caso de um fenômeno, aquilo que conhecemos previamente sobre seu semelhante, análogo, equivalente ou igual. A igualdade ou identidade se apresenta em todos os graus, e é conhecida por vários nomes; mas a grande regra de inferência abrange todos os graus, e afirma que *enquanto existe igualdade, identidade ou semelhança, aquilo que é verdadeiro de uma coisa será verdadeiro da outra* (JEVONS, *The principles of science*, p. 9).<sup>12</sup>

O raciocínio por analogia é assim explicado por Jevons:

Ao raciocinar por analogia, observamos que dois objetos A B C D E ... e A' B' C' D' E' ... possuem muitas qualidades semelhantes, conforme indicado pela identidade das letras, e inferimos que, como primeiro tem uma outra qualidade X, descobriremos essa qualidade no segundo caso por um exame suficientemente cuidadoso. Como Laplace diz, "A analogia se fundamenta na probabilidade de que coisas semelhantes possuem causas do mesmo tipo, e produzem os mesmos efeitos. Quanto mais perfeita essa semelhança, maior é essa probabilidade." (JEVONS, *The principles of science*, p. 597).

No caso dos raios X, a observação casual de um fenômeno inesperado evoca, por associação, a lembrança de vários fenômenos semelhantes. A partir daí o pesquisador é levado a pensar que outros aspectos dos vários tipos de raios conhecidos talvez se apliquem à nova radiação.

### EXAME DAS SEMELHANÇAS

Quando se defronta com um fenômeno novo o pesquisador deve, segundo Jevons, utilizar um processo de raciocínio analógico para sugerir hipóteses e depois testá-las:

É diante do olhar da mente filosófica que os fatos devem mostrar seu significado e cair em uma ordem lógica. O filósofo natural deve portanto ter, em primeiro lugar, uma mente de um caráter impressionável, que é afetada pelo mais leve fenômeno excepcional. Seus poderes de associação e identificação devem ser grandes, ou seja, um fato estranho deve sugerir à sua mente tudo de uma natureza semelhante que tenha previamente feito parte de sua experiência. Sua imaginação deve ser ativa, e trazer diante de sua mente uma multidão de relações nas quais os fatos inexplicados possam talvez estar em relações mútuas, ou em relação a fatos mais comuns. Devem então entrar em jogo

poderes seguros e vigorosos de raciocínio dedutivo, e permitir-lhe inferir o que acontecerá sob cada condição suposta. Por fim, e acima de tudo, deve haver o amor pela certeza que o conduza diligentemente e com perfeita candura a comparar suas especulações com o teste do fato e do experimento (JEVONS, *The principles of science*, p. 577).

As hipóteses utilizadas na investigação pré-teórica não são, evidentemente, deduzidas de nenhum corpo de proposições anteriormente existente, mas são sugeridas por conhecimentos anteriores, através de analogia. Depois, é necessário testar as hipóteses.

Se as opiniões mantidas neste trabalho forem corretas, toda investigação indutiva consiste no casamento entre hipótese e experimento. Quando possuímos os fatos, elaboramos uma hipótese para explicar sua relação, e pelo sucesso dessa explicação deve ser julgado o valor da hipótese. Na invenção e tratamento de tais hipóteses, devemos nos valer de todo o corpo já acumulado da ciência, e uma vez obtida uma hipótese provável, não devemos descansar até que a tenhamos verificado por comparação com novos fatos. Pelo raciocínio dedutivo devemos tentar antecipar tais fenômenos, especialmente os de natureza singular ou excepcional, que ocorreriam se a hipótese for verdadeira. Do número infinito de experimentos que são possíveis, a teoria nos leva a selecionar os críticos, que são adequados para confirmar ou negar nossas previsões (JEVONS, *The principles of science*, p. 504).

O verdadeiro caminho do procedimento indutivo é aquele que proporcionou todos os resultados mais elevados da ciência. Ele consiste na *Antecipação da Natureza*, no sentido de formar hipóteses sobre as leis que provavelmente estão em ação; e então observar se as combinações dos fenômenos são tais como as que se seguem das supostas leis. O investigador começa com fatos e termina com eles. Ele usa fatos para sugerir hipóteses prováveis; deduzindo outros fatos que ocorreriam se uma hipótese particular for verdadeira, ele em seguida testa a verdade de sua noção por novas observações. Se algum resultado se mostra diferente daquilo que ele espera, isso o leva a modificar ou abandonar sua hipótese; mas cada novo fato pode lhe dar alguma nova sugestão sobre as leis que estão agindo. Mesmo se o resultado em algum caso concordar com sua antecipação, ele não o considera como uma confirmação final de sua teoria, mas continua a testar a verdade da teoria por novas deduções e novos testes (JEVONS, *The principles of science*, p. 509).

Nesse processo, o investigador tem a assistência de todo o corpo de ciência acumulado previamente. Ele pode utilizar analogia, como indicarei, para guiá-lo na escolha de hipóteses. As múltiplas conexões entre uma ciência e outra lhe dão pistas para o tipo de leis a serem esperadas, e a partir do número



infinito de hipóteses possíveis, ele seleciona aquelas que são, tanto quanto pode prever no momento, mais prováveis. Cada experimento, portanto, que ele realiza é o que mais provavelmente poderá lançar luz sobre seu objeto de estudo, e mesmo se frustrar suas opiniões iniciais, tenderá a colocá-lo de posse da pista correta (JEVONS, *The principles of science*, pp. 509-10).

Podemos ver, por essas citações, que Jevons advoga um método hipotético-dedutivo, mas o relevante para nossa discussão é aquilo que ele afirma sobre o processo de *invenção de hipóteses*. Como elas são produzidas?

Como Boscovich verdadeiramente disse, devemos entender por hipóteses “não ficções completamente arbitrárias, mas suposições em conformidade com a experiência ou analogia”. Segue-se que toda hipótese digna de consideração deve sugerir alguma semelhança, analogia, ou lei comum, agindo em duas ou mais coisas (JEVONS, *The principles of science*, p. 512).

novo fenômeno	luz (visível)	radiação ultravioleta	raios catódicos
produzido quando o tubo de Crookes é ligado	=	=	=
produz um brilho no papel com platino-cianeto de bário	=	=	=
produz sombra (caminha em linha reta)	=	=	=
atravessa o vidro do tubo e o papelão que o envolve	▲	▲	▲
produz efeitos a grandes distâncias (2 metros) da origem	=	=	▲

No caso da descoberta dos raios X, as semelhanças entre o novo fenômeno e diversos tipos de raios, que devem ter surgido de forma espontânea na mente de Röntgen, sugerem a possibilidade de outros pontos de comparação, por analogia. O novo fenômeno (raios X) tem certas semelhanças com a luz, e também certas

diferenças; a partir daí, deve-se investigar se ele tem outras semelhanças. Esse raciocínio por analogia, por sua vez, conduz a novos experimentos e observações. Vamos apresentar, de forma esquemática, as primeiras conclusões de Röntgen:

Na verdade, tudo isso é uma simplificação daquilo que se passou. Cada um dos pontos indicados acima é bastante complexo, pois não se trata de uma simples descrição daquilo que era observado. A situação não permitia, inicialmente, concluir que o fenômeno era devido a alguma coisa que vinha exatamente do tubo de vácuo. Poderia vir, por exemplo, da bobina de indução, e das faíscas que ela produzia. Como vimos acima, Röntgen afirmou: “Assumi que o efeito devia vir do tubo, pois seu caráter indicava que ele não poderia vir de nenhum outro lugar. Eu o testei. Em poucos minutos não havia dúvida sobre isso”. Não sabemos, no entanto, como ele fez esses testes. Uma possibilidade seria a seguinte: tendo observado que havia uma linha escura no papel luminescente, e associando essa linha a um tipo de sombra, ele deve ter localizado alguma coisa (provavelmente um fio ou suporte de metal) próximo ao papel, que pudesse produzir essa sombra. Localizando esse objeto, ele poderia movê-lo, ou mover o papel luminescente, e notar que a linha escura se movia. Comparando a posição do objeto com a posição de sua sombra, era possível determinar aproximadamente de onde vinham os raios que produziam o fenômeno, e perceber que eles vinham do tubo, e não de outras partes da aparelhagem. Evidentemente, para chegar a isso, Röntgen deveria se basear em uma analogia: comparar o fenômeno observado com sombras produzidas por uma vela, e guiar-se por essa analogia para procurar a origem dos supostos raios.

### INCERTEZA DAS HIPÓTESES DE TRABALHO

Jevons estava ciente de que as hipóteses sugeridas por analogia com os conhecimentos anteriores eram apenas instrumentos de trabalho, e estavam sujeitas a erro, mas que eram, apesar disso, úteis na investigação da natureza:

Não há dúvidas de que a descoberta é mais frequentemente realizada seguindo-se pistas recebidas por analogia, como Jeremy Bentham notou<sup>13</sup>. Quando um fenômeno é percebido, o primeiro impulso da mente é conectá-lo com o fenômeno mais semelhante. Se pudéssemos jamais encontrar uma coisa totalmente *sui generis*, que não apresentasse analogia com qualquer outra coisa, seríamos incapazes de investigar sua natureza, exceto por tentativa puramente ao acaso. A probabilidade de sucesso por tal processo é tão leve, que é preferível seguir a mais leve pista. Como já indiquei (p. 418), os experimentos possíveis são quase infinitos em número, e as hipóteses sobre as quais podemos avançar são também muito numerosas. Ora, é claro que, mesmo se a probabilidade de sucesso de um procedimento sobre outro for muito leve, aquele que é mais provável deve ser adotado antes (JEVONS, *The principles of science*, p. 629).



Pela incerteza das hipóteses, ao invés de se fixar em uma única, o pesquisador deveria investigar um grande número de hipóteses:

Seria um erro supor que o grande descobridor agarra imediatamente a verdade, ou tem um método infalível de adivinhá-la. Com toda probabilidade, os erros das grandes mentes excedem em número os das menos vigorosas. Entre os primeiros requisitos da descoberta estão a fertilidade de imaginação e abundância de palpites; mas os palpites errôneos devem ser muitas vezes mais numerosos do que os que se mostram bem fundamentados. As mais fracas analogias, as noções mais caprichosas, as teorias aparentemente mais absurdas podem passar pelo cérebro transbordante, e não restar registro de mais do que um centésimo disso (JEVONS, *The principles of science*, p. 577).

Como o procedimento de invenção de hipóteses – a analogia – não proporciona qualquer garantia sobre a validade das mesmas, o investigador deve realizar testes rigorosos dessas hipóteses:

Resumindo, portanto, pareceria que a mente do grande descobridor deve combinar atributos contraditórios. Ela deve ser fértil em teorias e hipóteses, e no entanto cheia de fatos e resultados precisos da experiência. Ele deve acalentar as mais fracas analogias, e meros palpites de verdade, e no entanto deve manter que eles são desprovidos de valor até que sejam verificados por experimento. Quando há qualquer base de probabilidade ele deve manter tenazmente uma velha opinião, e no entanto ele deve estar preparado a qualquer momento para abandoná-la, quando é encontrado um fato claramente contraditório (JEVONS, *The principles of science*, pp. 592-3).

Röntgen foi exatamente o tipo de pesquisador escrupuloso e cuidadoso que Jevons idealizava. Ele repetia muitas vezes cada tipo de experimento, com variações, para se certificar de que não estava enganado. Seu primeiro artigo sobre os raios X é um modelo de investigação experimental, e nenhuma de suas descrições ou conclusões precisou sofrer correções, posteriormente. O ponto essencial não é simplesmente ter grandes intuições, mas saber partir das analogias para realizar um cuidadoso trabalho experimental, como Jevons indicou.

### INVESTIGAÇÕES POSTERIORES SOBRE OS RAIOS X

Os passos seguintes dados por Röntgen, descritos em seu primeiro artigo sobre os raios X, também foram guiados da mesma forma: analogias e testes experimentais. Vamos dar alguns exemplos:

1. Enquanto a luz visível afeta os olhos humanos, não somos capazes de ver diretamente a radiação ultravioleta (não porque a retina seja insensível a eles, mas porque as substâncias existentes no olho absorvem fortemente essa radiação). Röntgen investigou se os raios X poderiam ser vistos, aproximando seus olhos do tubo recoberto por papelão, e não notou nenhum efeito visual. Posteriormente, foram feitas investigações para verificar se as substâncias do olho absorviam fortemente os raios X, como no caso da radiação ultravioleta.
2. A luz visível e as radiações ultravioleta e infravermelha são capazes de afetar chapas fotográficas. Guiado por analogia, Röntgen investigou se os raios X também produziam esse tipo de efeito. Os primeiros testes devem ter sido negativos, pois provavelmente ele primeiro utilizou pequenos tempos de exposição, mas apenas com um tempo de exposição de muitos minutos ele conseguiu obter resultados positivos.
3. As radiações já conhecidas sofriam absorções diferentes em diversos materiais. Substâncias transparentes para um tipo de radiação (por exemplo, para a luz visível) podiam ser opacos para outro tipo (como o vidro comum, opaco à radiação ultravioleta; e a ebonite, opaca à luz visível mas transparente a ondas de rádio). Röntgen testou a transparência de diferentes tipos de materiais aos raios X, guiado por essas analogias.
4. Os raios ultravioletas eram capazes de descarregar eletroscópios, através de um processo que depois se tornou conhecido como “efeito fotoelétrico”. Röntgen testou se os raios X também eram capazes de produzir o mesmo tipo de efeito, notando várias semelhanças e diferenças.
5. As ondas eletromagnéticas conhecidas (luz visível, ultravioleta, ondas de rádio, etc.) podiam ser refletidas, refratadas, difratadas e polarizadas. Röntgen testou se os raios X podiam ser refletidos por superfícies metálicas polidas, e não encontrou reflexão regular, mas um fenômeno que parecia semelhante à difusão da luz em meios translúcidos. Testou a refração dos raios X em prismas de diversos materiais, e não encontrou nenhum desvio. Testou a polarização em turmalinas e a difração por fendas, também sem encontrar nenhum efeito.
6. Quando uma radiação não é absorvida em certo meio, sua intensidade varia com o inverso do quadrado da distância à origem, se a fonte for pequena comparada às distâncias, e se a radiação se espalha para todos os lados. Röntgen comparou os efeitos produzidos pelos raios X a diferentes distâncias do tubo de descarga (no ar), e notou que a



intensidade parecia variar com o inverso do quadrado da distância, o que indicava que o ar praticamente não absorvia os raios X.

Em todos esses casos, e em vários outros, o processo de investigação não estava sendo guiado por nenhuma teoria, mas apenas por analogia: dado que havia semelhanças iniciais entre os raios desconhecidos e outros tipos de raios, isso sugeria a possibilidade de que outras propriedades das radiações conhecidas poderiam ser encontradas nos raios X. Note-se que qualquer resultado obtido – tanto positivo quanto negativo – era igualmente relevante, pois permitia caracterizar melhor a nova radiação, através de comparação entre suas propriedades e as das outras radiações. À medida que esse tipo de investigação se desenvolve, mesmo antes de se dispor de uma *teoria* para compreender o fenômeno, pode-se dizer que ele vai sendo entendido, em um outro sentido, pois pode-se dizer que o significado mais amplo de *explicação* é a busca de semelhança entre o novo e o conhecido (JEVONS, *The principles of science*, p. 533).

O raciocínio por analogia pode sugerir um número indefinido de propriedades a serem investigadas. As associações que vão surgir na mente do pesquisador durante essa fase dependem da sua formação e daquilo que o ocupa no momento. Heath interpretou erroneamente Jevons, ao afirmar que, segundo esse autor, seria preciso testar “todas as hipóteses concebíveis” (HEATH 1967, p. 261). Na verdade, o pesquisador só precisa testar as conjeturas que lhe ocorreram a partir das analogias que surgiram espontaneamente em sua mente.

#### O STATUS EPISTEMOLÓGICO DAS ANALOGIAS NO PROCESSO DE DESCOBERTA

Até aqui, nossa descrição das idéias de Jevons e sua exemplificação histórica pode levar a pensar que concordamos totalmente com a visão apresentada. Há, no entanto, aspectos sob os quais nos parece ser necessária uma correção da posição de Jevons.

Sob o ponto de vista histórico, o conceito de ‘analogia’ provém da matemática, e significava uma igualdade de relações ou proporções (LLOYD 1973, p. 60)<sup>14</sup>. Posteriormente, a palavra passou a ser utilizada de diversos modos diferentes (HESSE 1967). Embora haja uma certa diversidade de significados, podemos considerar que a seguinte conceituação corresponde à maior parte dos usos recentes:

- *Dois objetos de quaisquer tipos, A e B, são análogos, se existem partes, propriedades ou relações semelhantes em A e B (isso é, se eles são equivalentes sob alguns aspectos), e se além disso eles possuem alguma diferença.*

A existência de uma analogia entre duas coisas *sugere* que possam existir outras equivalências entre elas.

O exame das semelhanças é útil tanto para formular argumentos indutivos quanto para raciocínios hipotéticos, e também para a formulação de definições. (...) É útil para raciocínios hipotéticos porque se admite que entre vários semelhantes, aquilo que vale para um é válido também para os outros. Se, então, com relação a algum deles estamos bem supridos com argumentos, admitiremos preliminarmente que tudo aquilo que vale naquele caso também vale no caso diante de nós (ARISTÓTELES, *Topics*, livro I, capítulo 18, 108 b 6-16).

O 'raciocínio por analogia' consiste em inferir uma semelhança desconhecida entre dois objetos, a partir de uma analogia entre eles. Evidentemente, o raciocínio por analogia não é demonstrativo. Uma interessante formulação desse tipo de raciocínio pode ser encontrada em Carnap:

A evidência conhecida por nós é o fato de que os indivíduos *b* e *c* concordam em certas propriedades *e*, além disso, que *b* tem uma outra propriedade; a partir daí, consideramos a hipótese de que *c* também tenha essa propriedade (CARNAP, *The logical foundations of probability*, p. 569).

Deve-se, no entanto, assinalar que em Carnap (e na maioria dos autores) o raciocínio por analogia produz uma *hipótese provável ou plausível*, e quanto maior a semelhança inicial conhecida entre os dois objetos análogos, maior é a probabilidade da hipóteses. O próprio Jevons, como vimos, sugeriu uma interpretação probabilística para o raciocínio por analogia. Mary Hesse mostrou que esse conceito é altamente problemático, pois a analogia envolve não apenas semelhanças mas também diferenças, e o conhecimento dessas diferenças influiria também na probabilidade de ser encontrada uma nova semelhança, tornando o conceito de difícil formulação, sob o ponto de vista analítico (HESSE 1964).

Mesmo autores que estavam menos interessados em argumentos lógicos e que falam sobre o papel da analogia na formação de hipótese, como Norwood Hanson, consideraram que o processo de descoberta consistia em formular hipóteses *plausíveis* (HANSON 1958, p. 1074), no sentido de que os conhecimentos já existentes quando a hipótese é formulada inclinam o autor da hipótese a pensar que ela pode ser verdadeira.

Ao invés de considerar a analogia como um tipo de raciocínio que produz uma proposição que pode ser verdadeira ou falsa, mais provável ou menos provável, vamos utilizar um outro tipo de abordagem, e considerar que as analogias produzem *regras de ação* de um tipo especial. Assim, ao invés de adotar uma abordagem como a de Jevons ou de Carnap, vamos considerar o raciocínio por



analogia, na prática científica experimental pré-teórica, como consistindo no seguinte:

- *Dado um novo fenômeno, é desejável estabelecer analogias entre esse novo fenômeno e outros fenômenos conhecidos.*
- *Se sabemos que dois fenômenos, A e B, são análogos, e se além disso sabemos que A tem uma outra propriedade p e não sabemos se B tem a propriedade p, é desejável determinar se B tem ou não essa propriedade.*

Esse tipo de raciocínio não leva, portanto, a *afirmar* que B tem a propriedade *p*, mas leva a uma *ação*: procurar determinar se B tem ou não essa propriedade<sup>15</sup>. O resultado do raciocínio por analogia, nesse caso, não conduz portanto a *proposições*, no sentido lógico, mas sim a *desiderata*, capazes de orientar a pesquisa: nota-se que falta algum tipo de informação, percebe-se uma lacuna a ser preenchida, e busca-se o preenchimento dessa lacuna. De modo geral, para o pesquisador, será indiferente se o novo fenômeno possui ou não cada uma das propriedades sugeridas por analogia, ou seja, a analogia não leva a crer ou defender como verdadeira ou plausível certa propriedade, apenas leva a procurar se essa propriedade se aplica ou não ao caso considerado. O valor *lógico* de tal processo é nulo, pois corresponderia simplesmente a uma tautologia: “Ou B tem a propriedade *p*, ou B não tem a propriedade *p*”. No entanto, seu valor *metodológico* é imenso, focalizando a atenção do pesquisador em certos aspectos, dentre uma infinidade de outras possibilidades.

Note-se que um *desideratum* também não é um recurso heurístico. Procedimentos heurísticos poderiam ajudar a encontrar novas analogias, mas a regra acima indicada não apresenta um modo de fazer isso – apenas indica que o estabelecimento de analogias é desejável, no sentido de possuir valor científico positivo.

A não ser por esse aspecto, relativo à própria natureza epistemológica dos procedimentos analógicos na descoberta pré-teórica, todos os outros aspectos da análise de Jevons podem ser mantidos.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo analisou, a partir do estudo de um caso histórico particular e de concepções metodológicas de um autor do século passado, o papel das analogias no processo de descoberta e investigação experimental pré-teórica. O objetivo do artigo não era analisar todos os tipos de analogias, nem todos os processos de descoberta e de investigação, nem descrever tudo o que já se escreveu sobre o assunto, mas apenas realizar um estudo pontual relacionado a esse tema.

Acreditamos que o exemplo estudado ilustrou claramente a impossibilidade da pesquisa experimental ao acaso, assim como a impossibilidade de estudar todos

os fatores que possam influenciar um fenômeno e a impossibilidade de investigar e descrever fatos novos sem analogias. Após a descoberta casual de um novo fenômeno, seu estudo pré-teórico é guiado por analogias, que indicam quais aspectos se deve investigar. De acordo com a interpretação aqui adotada, as analogias não têm a finalidade, nesse processo, de gerar hipóteses prováveis ou plausíveis, mas sim concentrar a investigação experimental em alguns poucos aspectos do fenômeno, sem o que a pesquisa se tornaria aleatória e interminável. A analogia pode ser considerada, assim, um elemento essencial na arte da descoberta experimental.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUNGE, M. *Scientific research*. 2 vols. Berlin: Springer-Verlag, 1967.
- CARNAP, R. *The logical foundations of probability*. 2. ed. Chicago: The University of Chicago Press, 1962.
- DAM, H. J. W. The new marvel in photography. *McClure's Magazine*, v. 6, n. 5, p. 402-15, abril, 1896. Reproduzido em: NITSKE, *The life of Wilhelm Conrad Röntgen*, p. 126-37.
- FRANKLIN, A. *The neglect of experiment*. Cambridge: Cambridge University Press, 1986.
- GLASSER, O. *Wilhelm Conrad Röntgen and the early history of the Röntgen rays*. Springfield, IL: Charles C. Thomas, 1945.
- GRIDGEMAN, N. T. Jevons, William Stanley. In: GILLISPIE, Charlton Coulston (ed). *Dictionary of scientific biography*. New York: Charles Scribners Sons, v. 7, p. 103-7, 1970.
- HACKING, I. *Representing and intervening*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- HANSON, N. R. The logic of discovery. *The Journal of Philosophy*, n. 55, p. 1073-89, 1958.
- HEATH, P. L. Jevons, William Stanley. v. 4, p. 260-1. In: EDWARDS, Paul (ed.). *The encyclopedia of philosophy*. New York: Macmillan & The Free Press, 1967.
- HELMHOLTZ, H. L. F. von. Electromagnetische Theorie der Farbenzerstreuung. *Annalen der Physik und Chemie*, v. 3, n. 48, p. 389-405, 1893.
- HERSCHEL, J. F. W. *A preliminary discourse on the study of natural philosophy*. New York: Johnson Reprint, 1966. (Sources of Science, n° 17)
- HESSE, M. Analogy and confirmation theory. *Philosophy of Science*, v. 31, n. 4, p. 319-27, 1964.
- . Models and analogy in science. v. 5, p. 354-9. In: EDWARDS, Paul (ed.). *The encyclopedia of philosophy*. New York: Macmillan & The Free Press, 1967.
- JAUNCEY, G. E. M. The birth and early infancy of X-rays. *American Journal of Physics*, n. 13, p. 362-79, 1945.
- JEVONS, W. S. *The principles of science – a treatise on logic and scientific method* [1877]. London: MacMillan, 1924.
- KUHN, T. S. *The structure of scientific revolutions*. 2. ed. Chicago: University of Chicago Press, 1970.
- LAUDAN, L., DONOVAN, A., LAUDAN, R., BARKER, P., BROWN, H., LEPLIN, J., THAGARD, P. e WYKSTRA, S. Scientific change: philosophical models and historical research. *Synthese*, n. 69, p. 141-223, 1986.
- LLOYD, G. E. R. Analogy in early greek thought, v. 1, p. 60-3. In: WIENER, Philip P. (ed.). *Dictionary of the history of ideas: studies of selected pivotal ideas*. New York: Charles Scribner's Sons, 1973.



- MADDEN, E. H. W. S. Jevons on induction and probability. p. 233-47. In: MADDEN, Edward H. (ed.). *Theories of scientific method: the Renaissance through the nineteenth century*. Seattle: The University of Washington Press, 1966.
- MARTINS, R. A. Abordagem axiológica da epistemologia científica. *Textos SEAF*, v. 1, n. 2, p. 38-57, 1980.
- . A situação epistemológica da epistemologia. *Revista de Ciências Humanas, UFSC*, v. 3, n. 5, p. 85-110, 1984.
- . *Sobre o papel dos desiderata na ciência*. Campinas: UNICAMP, 1987.
- NITSKE, W. R. *The life of Wilhelm Conrad Röntgen, discoverer of the X-ray*. Tucson: University of Arizona Press, 1971.
- PARK, K. Bacon's "enchanted glass". *Isis*, n. 75, p. 290-302, 1984.
- ROMER, A. Accident and professor Roentgen. *American Journal of Physics*, n. 27, p. 275-7, 1959.
- RÖNTGEN, W. C. Über eine neue Art von Strahlen (Vorläufige Mittheilung). *Sitzungsberichte der physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg*, n. 9, p. 132-41, 1895.<sup>16</sup>
- . Über eine neue Art von Strahlen (II Mittheilung). *Sitzungsberichte der physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg*, n. 1, p. 11-6; n. 2, p. 17-9, 1896.<sup>17</sup>
- . Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-Strahlen. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, n. 23, p. 576-92, 1897.<sup>18</sup>
- SANTOS, C. A. dos. A descoberta dos raios X, p. 13-28. Em: SANTOS, Carlos A. dos (ed.). *Da revolução científica à revolução tecnológica. Tópicos de história da física moderna*. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 1997.
- SARTON, G. The discovery of X-rays. *Isis*, n. 26, p. 349-69, 1937.
- SELIGER, H. H. Wilhelm Conrad Röntgen and the glimmer of light. *Physics Today*, v. 48, n. 11, p. 25-31, 1995.
- SHAPER, D. The concept of observation in science and philosophy. *Philosophy of Science*, n. 49, p. 485-525, 1982.

## NOTAS

- <sup>1</sup> Existem poucos estudos biográficos sobre Jevons. Ver GRIDGEMAN 1970 e outros trabalhos citados na bibliografia daquele trabalho.
- <sup>2</sup> Sobre essa concepção geral, ver minha tese de doutoramento: MARTINS, *Sobre o papel dos desiderata na ciência*. Ver também: MARTINS, 1980; MARTINS, 1984.
- <sup>3</sup> O nome Röntgen é geralmente pronunciado de modo errado. O modo correto é algo parecido com Rên-(t)-guen. O "o" com trema no alemão tem pronúncia semelhante ao ditongo "eu" francês. A letra "t" do nome é engolida, criando uma quebra entre a primeira e a última sílabas; e a sílaba "gen" é pronunciada como "guen" e não como "jen". Além da pronúncia, deve-se notar que o segundo nome, Conrad, é escrito com "C" no início, e não "K", como se encontra em muitos livros.
- <sup>4</sup> Para informações gerais sobre a vida e obra de Röntgen, ver GLASSER, *Wilhelm Conrad Röntgen and the early history of the Röntgen rays* e NITSKE, *The life of Wilhelm Conrad Röntgen, discoverer of the X-ray*.
- <sup>5</sup> A maior parte dos manuscritos de Röntgen, bem como sua correspondência, foi queimada após sua morte, por vontade expressa de Röntgen. Há alguns documentos originais que foram conservados, mas em pequena quantidade (ver NITSKE, *Wilhelm Conrad Röntgen*, p. 299).
- <sup>6</sup> Um estudo puramente histórico do episódio, com apresentação das evidências relevantes, será publicado em outro local.

- <sup>7</sup> Podemos indicar um precedente de uso da letra X, na química: os químicos franceses chamavam o iodo de “substância X”, enquanto não se convenceram de que se tratava de um novo elemento (JEVONS, *Principles of science*, p. 523).
- <sup>8</sup> Embora não conseguisse chegar a nenhuma conclusão positiva bem fundamentada, Röntgen sugeriu que pudessem ser ondas eletromagnéticas *longitudinais* – um estranho conceito para nós, mas que não era absurdo na época.
- <sup>9</sup> Os trabalhos mais importantes de Jevons foram: *A serious fall in the value of gold* (London, 1863); *Pure logic, or the logic of quality apart from quantity* (London, 1864; reeditado em 1890); *The coal question* (London, 1865); *The substitution of similars* (London, 1869; reeditado em 1890); *Elementary lessons in logic* (London, 1870); *The theory of political economy* (London, 1871; reeditado em 1879); *The principles of science* (London, 1874; reeditado em 1877); *Money and the mechanism of exchange* (London, 1875); *Primer on political economy* (London, 1878); *Studies and exercises in deductive logic* (London, 1880); *The State in relation to labour* (London, 1882); e as obras póstumas *Methods of social reform* (London, 1883); *Investigations in currency and finance* (London, 1884); *Letters and journal of W. Stanley Jevons* (London, 1886, editado por sua esposa) e *The principles of economics* (London, 1905). Além dessas obras, Jevons publicou muitos artigos sobre diversos temas, incluindo meteorologia, assunto sobre o qual tinha grande interesse.
- <sup>10</sup> Essa é a parte mais conhecida do trabalho de Jevons, e a única discutida pela maior parte dos comentaristas. Ver, por exemplo, MADDEN 1966.
- <sup>11</sup> Embora Jevons descreva aqui a visão mais difundida do pensamento de Bacon, é possível encontrar também nos escritos baconianos um outro lado, menos conhecido, que sugeria o uso cauteloso de analogias: “Não há modo de avançar na invenção do conhecimento a não ser por semelhanças” (ver PARK 1984, p. 297).
- <sup>12</sup> “O princípio universal de todo raciocínio, como afirmei, é aquele que nos permite substituir o semelhante pelo semelhante” (JEVONS, *The principles of science*, p. 162).
- <sup>13</sup> Jevons se referiu a: BENTHAM, *Essay on logic, Works*, vol. viii, p. 276.
- <sup>14</sup> Mesmo no pensamento grego antigo, já se utilizava a analogia como um método de sugerir explicações de fenômenos naturais (LLOYD 1973, p. 63).
- <sup>15</sup> Poderíamos também exprimir esse tipo de raciocínio por analogia como conduzindo a uma pergunta: “terá B a propriedade p?”
- <sup>16</sup> Publicado sob forma de separata com o título: *Eine neue Art von Strahlen*. Würzburg: Verlag und Druck der Stahel’schen K. Hof- und Universitäts- Buch- and Kunsthandlung, 1895. Reproduzido também em: *Annalen der Physik und Chemie*, v. 3, n. 64 (1), p. 1-11, 1898. Traduções em inglês: On a new kind of rays. Trad. Arthur Stanton. *Nature*, v. 53, n. 1369, p. 274-6, 1896; On a new form of radiation. *The Electrician*, v. 36, n. 13, p. 415-7, 1896. Tradução em francês: Une nouvelle espèce de rayons. *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, n. 7, p. 59-63, 1896.
- <sup>17</sup> Publicado sob forma de separata com o título: *Eine neue Art von Strahlen. II. Mittheilung*. Würzburg: Verlag und Druck der Stahel’schen K. Hof- und Universitäts- Buch- and Kunsthandlung, 1896. Reproduzido também em: *Annalen der Physik und Chemie*, v. 3, n. 64 (1), p. 12-7, 1898.
- <sup>18</sup> Reproduzido em: *Annalen der Physik und Chemie*, v. 3, n. 64 (1), p. 18-37, 1898.