

Rigler, F.H & R.H. Peters. 1995. *Science and Limnology*.  
Ecology Institute, Alemanha

Tradução 'rápida' deste capítulo por Adriano S. Melo (Ecologia, UFG)  
Para uso dos alunos de Biologia e Ecologia da UFG.  
Disciplinas Epistemologia e Filosofia da Ciência.  
Março 2010

## I Por Que Ler Sobre Ciência?

"Se, portanto, uma civilização científica tenha que ser uma boa civilização, é necessário que o aumento do conhecimento seja acompanhado pelo aumento em sabedoria. Por sabedoria eu quero dizer um conceito correto sobre o fim da vida."

Bertrand Russell  
[*The Scientific Outlook* (1931)]

Cientistas e estudantes são ocupados. Quando um deles pega um jornal ou um livro, ele se pergunta: "Por que eu deveria ler isto?" Esta questão é particularmente incisiva para *Science and Limnology*. Este livro não é um texto ou monografia sobre ecologia de água doce. É um discurso sobre a relação de algumas das questões mais fundamentais no estudo do conhecimento humano para uma sub-disciplina científica, ecologia de água doce. Ele, portanto, oferece poucas teorias ou conceitos que os ecólogos ocupados possam aplicar em seus trabalhos ou citar em um próximo artigo. Em vez disso, este livro aborda questões que a maioria dos cientistas ativos raramente perguntam: O que é ciência? Como a minha área de pesquisa se ajusta dentro dela? A minha investigação pertence a ela? Qual pesquisa vale a pena fazer? Como posso fazê-la de forma eficiente? Onde devo procurar idéias? Quais idéias valem a pena ensinar? Este livro é uma consideração idiossincrática e pessoal da minha luta com essas questões. Ele não tem a pretensão de resolver todos os problemas, mas de mostrar como elas afetam minha ciência. Ele oferece um ponto de partida para a contemplação da ciência como eu a vejo. Este capítulo estabelece a necessidade de tal contemplação.

### Algumas Concepções Erradas da Ciência

Uma indicação da necessidade de um livro como este é a diversidade de visões entre os biólogos em geral e os ecologistas em particular sobre a natureza da ciência. Uma idéia desta confusão pode ser obtida a partir das introduções de livros de biologia geral. Estes livros fornecem uma enorme quantidade de informações biológicas atualizadas; esta virtude não está em dúvida. Livros introdutórios de biologia também contêm espaço para alguns parágrafos que pretendem definir ciência. Estas descrições variadas sugerem um entendimento falho da natureza da ciência (Tabela 1).

Tabela 1. Alguns lapsos na descrição da natureza da ciência em textos introdutórios de biologia

<p>O princípio fundamental subjacente à etapa da experimentação na investigação científica é que as hipóteses verdadeiras nunca pode dar origem a uma previsão que pode ser provada falsa. (Weisz e Keogh 1982, p. 9)</p>	<p>Raciocínio indutivo: um processo lógico em que a generalização é desenvolvida para explicar vários fatos específicos. Hipóteses e teorias são formadas por raciocínio indutivo. (Brum e McKane 1989, p. 38)</p>
<p>Um apêndice anotada histórico, único neste livro entre os textos de zoologia e biologia, lista as descobertas fundamentais em zoologia. (Hickman et al. 1984, p. viii)</p>	<p>Dito brevemente, um cientista determina princípios a partir de observações. Este método de descobrir princípios gerais através do exame cuidadoso de casos específicos é chamado raciocínio indutivo. Ele se tornou importante para a ciência em 1600 na Europa, quando Francis Bacon, Isaac Newton e outros começaram a usar os resultados de experimentos específicos que tinham realizado para inferir princípios gerais sobre como o mundo funciona. (Raven e Johnson 1992, p. 3)</p>
<p>A busca do conhecimento científico deve ser guiada pelas leis físicas e químicas que regem o estado de existência e interações de átomos, partículas subatômicas, moléculas e assim por diante. (Hickman et al. 1984, p. 7)</p>	<p>Uma teoria é uma hipótese que tenha sido repetidamente e exaustivamente testada. Ela possui suporte de todos os dados que foram recolhidos, e ajuda ordenar e explicar estes dados. (Keeton e Gould 1986, p. 4)</p>
<p>O objetivo final da ciência é entender o mundo natural em termos de conceitos, interpretações que levam em conta os resultados de experimentos e observações. Estes conceitos são apresentados como teorias... A teoria da evolução é um destes temas conceituais. (Mader 1987, p. 14)</p>	

As deficiências específicas das entradas da Tabela 1 ficarão mais claras quando a natureza da ciência tiver sido explorada nos próximos capítulos. Para o momento, é suficiente para sinalizar a confiança, coerência e a arregimentação dessas citações. Elas parecem mostrar que a ciência é um processo simples e racional que segue um conjunto de regras incorporadas no "método científico". O que elas realmente demonstram é que a biologia é uma ciência ingênua e imatura, que pensa muito pouco sobre o que está fazendo e para onde vai.

Visto que os autores dos livros-texto em biologia são geralmente cientistas respeitados, temos que hipotetizar que os biólogos podem ter sucesso na ciência sem se preocupar muito sobre a natureza geral de suas jornadas. Uma vez que menos de 1% de seus textos são dedicados à natureza da ciência, parece justo supor que estes biólogos acreditam que a natureza geral da ciência seja muito menos importante do que os milhares de detalhes biológicos contidos no restante de cada livro. E visto que estes textos são adotados em centenas de cursos universitários, podemos ainda supor que a maioria dos professores universitários de biologia concordam que os detalhes de sua ciência são muito mais importantes do que a ciência como um todo.

A confusão sobre a natureza da ciência não se limita a lapsos ocasionais na introdução apressada de livros-textos direcionados ao primeiro ano do curso. Uma revisão das introduções de teses feitas nas universidades de pesquisa e de trabalhos publicados em importantes revistas ecológicas irá fornecer provas semelhantes. Muitas introduções possuem justificativas do trabalho que consistem da falta de alguma informação ou fenômeno não investigado, que então torna-se o objetivo do programa de pesquisa. Muitos biólogos portanto agem como se a "ciência" consistisse do relato de fatos previamente não percebidos, e que "pesquisa original" consiste em fazer algo

que simplesmente nunca foi feito antes. Como vou argumentar a seguir, a preocupação adequada da ciência é, em vez disto, a criação, teste e uso de teoria.

Se os profissionais estão pouco preocupados com a natureza geral das suas disciplinas, não é de se surpreender que a imprensa popular e a mídia eletrônica também estejam confusas sobre a natureza da ciência. Alguns ecoam os profissionais - ele veem a ciência como uma extensa busca por fatos. Eles escrevem como se todos os fatos estivessem em uma de duas pilhas (Fig. 1). Uma delas, de pequeno porte, é constituída por todos fatos conhecidos, e representa o estado atual do conhecimento científico. A outra, uma grande montanha, representa os fatos que a ciência ainda não abordou. O propósito da ciência é, portanto, mover dados da pilha grande para a pequena até que a grande esteja esgotada e a pequena fique imensa.

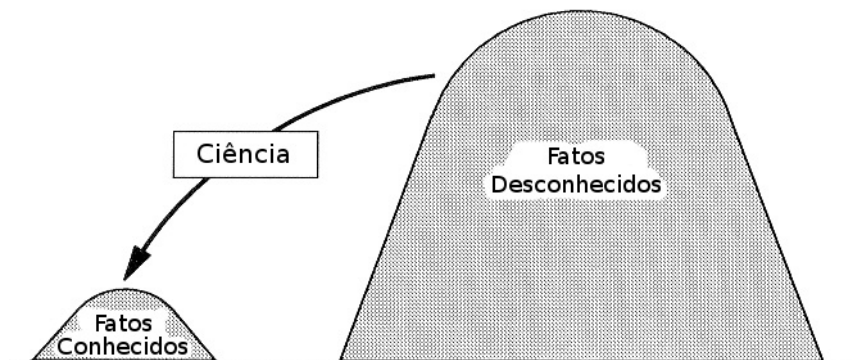


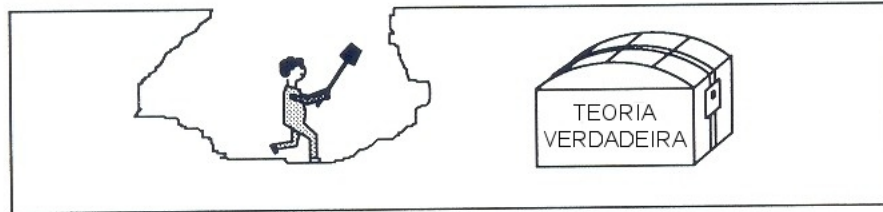
Fig. 1. A visão equivocada de que ciência consiste da coleta de fatos previamente desconhecidos

Outra concepção popular retrata a ciência como uma sequência de descobertas. Newton descobriu a gravidade em seu pomar, Darwin descobriu a seleção natural nas ilhas Galápagos, e Fleming descobriu a penicilina em seu laboratório. Na mesma linha, o público espera que os futuros cientistas descubram a cura para o câncer, aids, super-população e o esgotamento dos recursos, enquanto historiadores podem argumentar se Priestly ou Lavoisier foi quem descobriu o oxigênio. Este ponto de vista vê a ciência como uma caça ao tesouro onde importantes princípios, conceitos, teorias e fatos estão escondidos pelos artifícios mesquinhos da Natureza. Cientistas particularmente sortudos tropeçam na verdade; os astutos desenterram a verdade de uma Natureza que não quer se mostrar com a experiência correta ou com uma sacada intelectualmente brilhante (Fig. 2). Outros, os azarados e bobos, negligenciam pistas vitais e vagueiam em desgraça.

Uma indicação de que mesmo os cientistas veem a ciência como a descoberta de uma ordem natural pré-existente é fornecida pelo protocolo básico de muitos exercícios de laboratório no ensino universitário. Um conjunto de aparelhos é colocado à disposição de estudantes e se faz uma questão. O aluno deve então fazer uma experiência e descobrir a lei. A lei a ser descoberta é uma que tenha sido proposta por um cientista famoso, que morreu há muito tempo. Este protocolo apresenta o experimento como a chave que abre uma das caixas secretas da natureza. Quando a caixa é aberta, o princípio é revelado e o aluno faz a descoberta que era inevitável. Se algo diferente for encontrado, o estudante não conseguiu repetir o ato de descoberta do grande cientista, e (desnecessário dizer) o estudante está errado.

**TEORIAS VERDADEIRAS:**

1 - são descobertas através de experimentação



2 - são encontradas por sorte

● = TEORIA VERDADEIRA

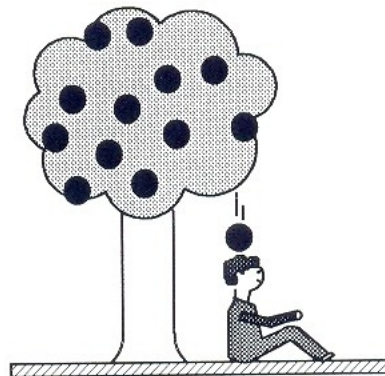


Fig. 2. Duas versões da visão equivocada de que ciência consiste da descoberta da verdade sobre a natureza por meio de boa sorte ou trabalho pesado

Uma outra perspectiva vê a ciência como a aplicação do método científico. Sob esta concepção (Fig. 3), um cientista começa com uma série de observações ou fatos, e o exame cuidadoso destes fatos resulta em uma hipótese. Este processo é chamado de "indução". O cientista então deduz outros fatos a partir da hipótese e "testa" a hipótese determinando se os fatos deduzidos são realmente observados. Se as observações diferem das expectativas, a hipótese é abandonada. Se concorda com o esperado, o cientista coloca um pouco mais de fé na hipótese e testa-a ainda mais. Conforme as confirmações se acumulam, a hipótese ganha estatus, tornando-se inicialmente uma teoria e, finalmente, uma lei natural.

Esta descrição é o que aparece em textos introdutórios. Ela pode parecer um ponto de partida prático, mas tem várias falhas. Na prática, os diferentes elementos do método científico são muito mais variáveis e muito menos metódicos. Por exemplo, os cientistas costumam começar com uma hipótese em vez de observação; o passo indutivo pode ser não mais lógico do que uma fantasia; muitos testes são frequentemente tendenciosos e equivocados; evidência negativa provavelmente existe para cada hipótese, teoria e lei, mas os cientistas as ignoram; a maioria dos cientistas jamais está ciente do momento em que fez uma descoberta e muitos pesquisadores produtivos e importantes nunca estarão cientes de descobrir qualquer coisa; nenhuma teoria pode ser considerada "verdadeira" ou acima da ameaça de refutação em testes futuros; e a falsificação raramente é, se alguma vez é, inquestionavelmente completa. Para olhar estes problemas aparentes com mais detalhe, vou ter de definir os elementos básicos do método científico.

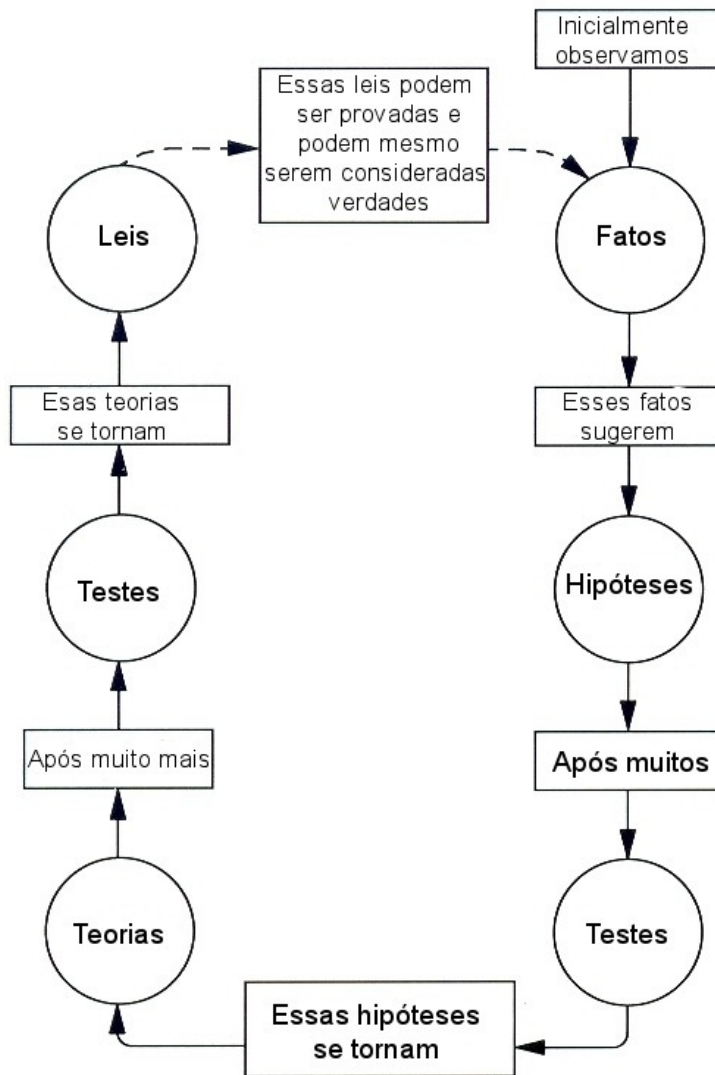


Fig. 3 Uma visão equivocada do método científico, que desenvolve teorias verdadeiras e confunde fato com teoria

### Algumas Distinções Básicas

**Fatos e teorias.** Primeiro, é essencial que possamos distinguir fatos de teorias. Se não fizermos isso, nunca entenderemos a ciência. Muitos cientistas confundem os dois. Se olharmos em livros ou revistas, frequentemente veremos descobertas e leis tratadas como fatos, tal como sugerido na Fig. 3. Por exemplo, a maioria dos biólogos age como se a evolução e a tabela de elementos fossem fatos, quando na verdade são teorias.

Um fato é uma observação, um dado ou uma impressão que ainda não foi conscientemente interpretada e sobre o qual nenhuma afirmativa científica está sendo feita. Por si só, um fato é vazio e inútil, porque não dá nenhuma base para a ação. Entre parênteses, alguém pode alegar que tal fato puro pode provavelmente não existir, que todas as observações são interpretadas através de nossos preconceitos biológicos e culturais assim que são detectados. Em outras palavras, todos os fatos são "carregados de teoria". Uma interpretação mais restritiva poderia definir o fato como algo que, assim que se torne algo mais do que vazio e inútil, seja chamado de uma teoria. Eu aceito isso, mas não vou complicar a discussão no momento.

Uma teoria é uma generalização que vai além dos fatos. Ela, portanto, faz previsões que são afirmativas sobre fatos que ainda não conhecemos. Considere um exemplo simples. Se eu

estivesse em uma reunião científica e afirmasse que "que os animais precisam de alimento para crescer não é um fato", a maioria da platéia acharia que sou um lunático. No entanto, não é um fato que os animais precisam de comida para crescer. É muito mais importante. É uma teoria. Os fatos são os efeitos da fome em alguns indivíduos de algumas espécies estudadas. Cada um destes indivíduos, quando privados de alimentos, não conseguiram crescer, definharam e morreram. Não sabemos se isto aconteceu com outros indivíduos da mesma espécie. Nunca poderemos saber o que aconteceria com cada indivíduo de cada espécie que já viveu. Portanto, estamos indo muito além dos fatos quando afirmamos que todos os animais precisam de comida para crescer. Quando propomos uma teoria, fazemos uma afirmativa que jamais poderemos demonstrar ser verdadeira. Podemos, entretanto, demonstrar que uma teoria é provavelmente falsa, como veremos na próxima seção.

**Indução e dedução.** Dedução é a derivação das circunstâncias específicas de uma generalização. Em termos mais simples, dedução é o processo pelo qual decidimos quais previsões uma teoria faz. Por exemplo, suponha que estamos interessados no crescimento de bebês, que medimos e pesamos vários deles (Tabela 2) e que tenhamos levantado uma teoria (Fig. 4) para descrever a relação entre o peso (em kg) e comprimento (em cm) de bebês:

$$\text{Peso} = 0,0002(\text{Comprimento})^3 \quad (1)$$

Talvez poucos estejam dispostos a dizer que fizemos uma descoberta, mas através do desenvolvimento de uma equação que relaciona comprimento e peso, criamos uma teoria, ainda que muito simples e trivial. Existem outras teorias que descrevem os dados tão bem quanto; algumas dessas podem ser muito mais abrangentes do que a Eq. (1), e podem oferecer explicações mais profundas, mas vou adiar a discussão de tais complicações. É suficiente para o leitor aceitar que uma característica de uma teoria científica é que uma teoria oferece o poder de previsão sobre casos específicos com base em uma afirmativa mais geral. A maioria das autoridades no assunto admitem esta visão.

A equação é uma teoria por duas razões. Primeiro, nós não medimos todos os bebês, e portanto estamos afirmando que podemos extrapolar a partir de nossas observações para bebês que nunca vimos. Segundo, não medimos todos os tamanhos, mesmo dos bebês dos quais fizemos medidas; estamos portanto afirmando que podemos interpolar os pesos que esses bebês tiveram ou terão em comprimentos que não observamos. Quando vamos além dos fatos, extrapolando ou interpolando, fazemos uma teoria.

Tabela 2. Alguns fatos sobre os comprimentos e pesos de bebês

Bebê	Comprimento (cm)	Peso (Kg)
Vic	39	11,864
Sarah	30	5,400
Eva	25	3,125
Adrienne	32	6,554
Mike	29	4,878
JUlian	22	2,130
Elisa	37	10,131

A teoria na Fig. 4 faz algumas previsões muito objetivas. Ela diz que para qualquer bebê que medirmos, haverá um, e somente um, peso possível, aquele previsto pela Eq. (1). Este peso é uma dedução da teoria. É a consequência lógica ou implicação da generalização ou teoria. O

ponto importante é que uma determinada teoria faz previsões específicas sobre casos não observados, e que qualquer pessoa que use a teoria fará exatamente as mesmas previsões. A teoria pode estar errada, pois nem todos os bebês se comportam como ela sugere, embora isto não afete a alegação de que a relação é uma teoria.

Deduções nos permitem testar a teoria para ver se as previsões estão corretas. Dada uma teoria, como a Eq. (1), e alguns outros casos específicos que não foram usados na construção da teoria, por exemplo Anna ou Kate, podemos fazer as medições necessárias dos comprimentos dos bebês e calcular ou deduzir seus pesos esperados. Podemos então testar essas previsões, observando os pesos dos bebês e comparando-os com nossas previsões. Se Anna ou Kate é mais leve ou mais pesada do que prevemos, teremos falsificado nossa teoria e portanto esta deverá ser revista.

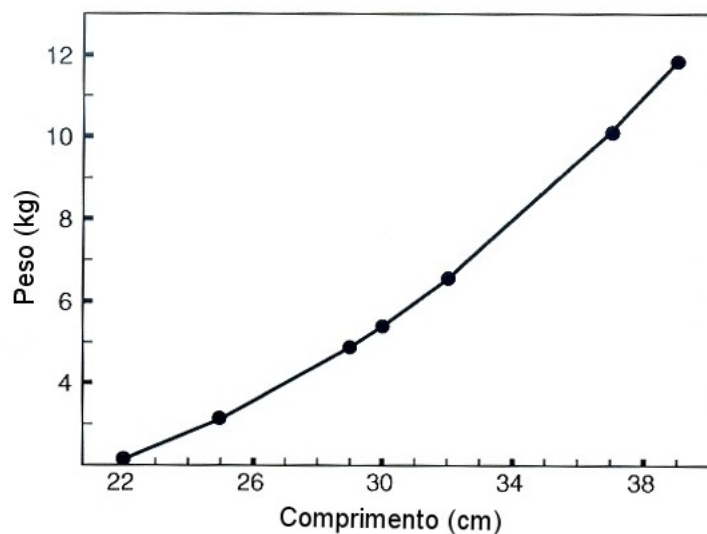


Fig. 4. Uma teoria sobre o tamanho de bebês.

Ao descrever a criação de uma teoria, eu pulei uma das partes mais controvertidas, a indução. A indução é o processo pelo qual passamos de um conjunto de fatos a uma teoria ou generalização. É onde entra a intuição ou a inspiração na ciência. O cientista olha para os fatos e estes, de alguma forma misteriosa chamada indução, sugerem uma generalidade para o cientista. A indução não é um processo lógico. Ela não leva inevitavelmente a uma única conclusão, mas pode levar a uma infinidade de teorias possíveis.

A idéia de que o mesmo conjunto de fatos pode inspirar diferentes pesquisadores a chegarem em teorias completamente diferentes parece ser difícil para muitas pessoas aceitarem, incluindo alguns cientistas. Por isso, irei desenvolver uma ilustração ridiculamente simples (Fig. 5). O exemplo envolverá novamente bebês em crescimento, mas desta vez, apenas para variar, vamos desenvolver uma teoria sobre quão rápido os bebês crescem. Vamos começar novamente fazendo algumas medidas de peso ( $P$ , em kg) e idade ( $X$ , em meses), e após um mês de trabalho podemos encontrar:

<u>Idade</u>	<u>Peso</u>
1	1
2	2

Agora preciso apenas sentar, contemplar os dados e esperar por uma inspiração. Após algum tempo, posso chegar a um padrão mais geral e propor uma teoria que descreva o crescimento de bebês:

$$P = X \quad (2)$$

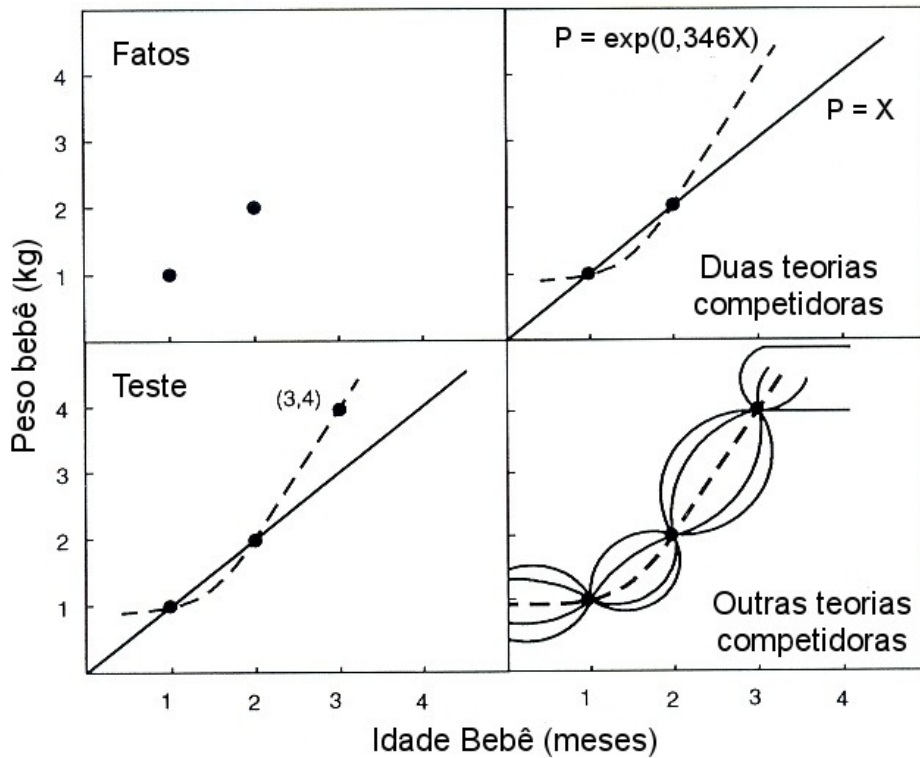


Fig. 5. O desenvolvimento de teorias alternativas sobre o efeito da idade no peso de bebês

Um observador mais sofisticado, ou ao menos mais competente em matemática, poderia propor, com base nas mesmas observações, algo como:

$$P = e^{0,346X} \quad (3)$$

De fato, há uma série infinita de relações, cada uma representando uma generalização teórica que poderiam descrever estes dados.

A lógica nunca vai nos dizer qual destas teorias simples melhor descreve o crescimento de um bebê, mas podemos logicamente deduzir as consequências das duas teorias concorrentes. Se Eq. (2) está correta, então  $P = 3$  kg quando  $X = 3$  meses. Mas se a Eq. (3) é correta, então  $P = 4$  kg quando  $X = 3$  meses. Supondo que ainda temos nosso bebê, só precisamos esperar até que ele tenha 3 meses de idade para tomar a observação que vai nos permitir determinar qual teoria faz a melhor previsão. Se observarmos que  $P = 4$  em  $X = 3$ , podemos rejeitar  $P = X$  como a teoria menos útil. Sabemos assim que  $W = X$  está errado, embora não possamos afirmar que  $P = e^{0,346X}$  está correto. Alguém pode olhar para os três pares de pontos de dados e induzir que:

$$P_x = X + P_{x-1} \quad (4)$$

onde os subscritos indicam o peso nas idades de  $X$  e  $X-1$  meses.



Visto que a Eq. (4) se ajusta aos dados disponíveis tão bem quanto Eq. (3), não podemos dizer qual das duas concorrentes, ou mesmo de uma série de outras teorias possíveis que ligam os pontos, é certa ou errada ou mesmo melhor. No entanto, mais uma vez podemos deduzir as consequências lógicas das teorias concorrentes. Quando  $X = 4$ , Eq. (3) sugere que a  $W_4 = 8$ , mas Eq. (4) em vez disso sugere que  $W_4 = 7$ . Mais uma vez, temos que esperar um mês e fazer mais observações para testar essas alternativas. Obviamente, nunca chegaremos ao final deste processo. Poderíamos postular várias linhas onduladas ou funções implicando diferentes taxas de crescimento dentro de cada mês, ou uma infinidade de outras possibilidades que poderiam ser ajustadas aos quatro pesos do bebê em crescimento. Na verdade, não importa quantos pontos existam, ainda haverá um número infinito de relações que poderão uni-los, e porque sempre usamos a indução para chegar à teoria que descreve esses pontos, nunca haverá qualquer garantia de que tenhamos encontrado a relação correta. Em outras palavras, nunca poderemos saber se encontramos a verdade e, portanto, nunca devemos afirmar que uma teoria é verdadeira no sentido dele estar imune a dúvidas.

Esta é uma descoberta profunda. É um feito que Aristóteles nunca fez, que Galileu rejeitou e que Newton recusou. A ampla aceitação do princípio de que nunca podemos ter certeza de nada em ciência é uma das mudanças mais revolucionárias do século 20.

**Teorias empíricas e explicativas.** As teorias que usei para ilustrar esta discussão são afirmativas modestas de tendência que descrevem alguns dados e poderiam ser utilizadas para prever observações futuras do mesmo tipo. Muitos cientistas hesitariam em chamar essas afirmações de "teorias". Eu vejo isso apenas como um problema de definição.

Assim como muitos que têm considerado o problema, eu chamo todas as afirmativas que fazem previsões de "teorias." Este único termo abrange dois tipos gerais, que eu chamo de "teorias empíricas" e "teorias explicativas". Teorias empíricas são relações simples, baseadas em padrões observados (e.g. as relações alométricas, curvas espécie-área, a segunda lei da termodinâmica) que fazem previsões assumindo que no futuro as relações entre as variáveis serão parecidas com aquelas do passado. Teorias explicativas são maiores, afirmativas mais abrangentes que não apenas fazem previsões, mas que também oferecem uma explicação compreensível do fenômeno a ser previsto, como a hipótese de tamanho-eficiência de Brooks e Dodson (1965), as cascatas tróficas de Carpenter et al. (1985), a teoria da evolução pela seleção natural de Darwin e várias teorias da criação, como a hipótese do big-bang. Tanto as teorias empíricas quanto as explicativas desempenham papéis importantes na ciência.

A história das conquistas científicas mostra que as teorias se desenvolvem a a partir de uma sequência característica. Primeiro, o cientista faz um levantamento sobre o assunto de interesse, em busca de padrões que possam permitir uma previsão. Este pode ser o turbilhão de estrelas no céu noturno, ou a ocorrência de chuva, ou a produção de dado produto químico no laboratório. Esta procura parece ser um passo simples, mas é justamente o oposto. Os padrões que estamos procurando estão, invariavelmente, em meio a uma vasta coleção de fatos confusos e não relacionados. Estas observações irrelevantes frequentemente obscurecem a regularidade do sistema em estudo.

Após o cientista ter percebido uma regularidade nos objetos de estudo, e expressar esse padrão de forma inequívoca, uma teoria empírica terá sido produzida. Teorias empíricas podem ser complexas, mas elas mais provavelmente serão relações X-Y simples, pois essas relações são fáceis de perceber e de definir. Assim, as relações que descrevem o peso de um bebê a partir de sua idade ou comprimento são teorias. Elas são teorias porque generalizam a partir de nossas observações e permitem fazer previsões do peso a partir de qualquer valor de idade ou comprimento.

Teorias empíricas podem ser úteis, mas possuem suas limitações. Primeiro, elas fazem previsões apenas sobre as variáveis correlacionadas. Assim, elas nunca podem gerar previsões

inesperadas sobre outros aspectos do assunto ou sobre outros fenômenos. Elas permanecem como teorias de relativamente baixa generalidade. Segundo, elas não satisfazem nosso desejo de explicar nosso ambiente; esse senso de compreensão parece ser uma necessidade física, pelo menos para alguns pesquisadores.

Teorias empíricas estimulam outros cientistas a explicar porque as teorias funcionam. Com sorte, alguém acabará substituindo a teoria empírica original por uma teoria explicativa. Visto que esta nova teoria relaciona as variáveis observadas à outras observações, ela poderá fazer mais previsões e ser mais útil. Dado o poder limitado de previsão das teorias empíricas, muitos cientistas subestimam sua importância na ciência. No entanto, a história do desenvolvimento da ciência revela que as teorias científicas empíricas são um passo crucial para a explicação.

Em resumo, a ciência não é coleta de fatos ou observações. É o processo de identificação, análise e organização de generalizações ou teorias que vão além dos fatos observados e que, de certa forma, explicam estes fatos como situações de um padrão geral. Tanto teorias empíricas quanto explicativas são criadas por indução, um palpite inspirado que nos leva a postular algumas regularidades no universo. Elas são, em seguida, testadas por dedução, que nos permite saber o que a teoria prevê de forma que possamos comparar as suas previsões com novas observações.

### **A Importância da Ciência**

Por que deveríamos nos importar com o que é ciência? As razões são claras. Como cidadãos, esperamos que a ciência nos ofereça alguma idéia dos riscos que enfrentamos e algumas formas de guiar nosso destino. Como contribuintes, nós no final das contas financiamos a pesquisa e por isso temos que aprender a fiscalizar as crescentes demandas da ciência moderna em relação a dinheiro e recursos. Como professores e alunos, precisamos saber o que é ciência para que possamos ensinar e aprender o que é cientificamente importante e ignorar o que é trivial. Como cientistas, precisamos de um melhor conhecimento do que estamos fazendo e assim usar nossos recursos para enfrentar apropriadamente os problemas da ciência e da humanidade, de forma que possamos promover a nossa visão para o resto da sociedade e assim defendê-la de críticas injustas. Não podemos nos dar ao luxo de ignorar a natureza da ciência. A sociedade deve aprender o que se pode esperar da ciência e o que não pode.

Parece haver pouco apelo a uma defesa detalhada da tese de que a ciência desempenha um papel importante na nossa civilização e, portanto, que a natureza da ciência deve ser melhor apreciada. Independente de você gostar ou não, a nossa alimentação, moradia, saúde, nossos modos de vida dependem de ciência e tecnologia. Podemos lamentar esta dependência como artificial, perigoso e instável, mas não podemos mudar a situação. A ciência ajudou a criar os problemas do século 20, mas simplesmente descartar a ciência nesta fase da civilização seria um erro fatal. Atualmente, dependemos tanto da ciência que a solução para nosso dilema será de natureza científica, seja ele civilizado ou catastrófico. Devemos usar a ciência para o bem, porque temos que usar a ciência. Isso vai ser mais fácil se soubermos o que é ciência.

Muitos humanistas se deram ao trabalho de descobrir o que é ciência. Muitas vezes eles fazem o trabalho de explicar a ciência melhor do que fazem os cientistas. Pode ser irritante para os cientistas terem que ir atrás dos humanistas para descobrir a natureza da ciência. No entanto, não há razão para desdenhar a ajuda deles.

O prólogo deste livro é uma alegoria da pesquisa científica. Isso mostra que o romancista e dramaturgo Samuel Beckett teve uma apreciação mais fina da natureza da investigação científica do que muitos cientistas. Há ciência na luta de Molloy com o problema das pedras-balas, no seu abandono do vago embora fundamental princípio de elegância, e na deselegante (mas boa) solução cuja elaboração marcou o fim da procura e do interesse. Em tudo isto, Molloy dá uma imagem melhor da ciência do que a maioria dos textos introdutórios de biologia.

Jacques Barzun é outro humanista que tem se preocupado com ciência. Sua *Science: The Glorious Entertainment* é um marco. Ao abordar o conceito de duas culturas de C. P. Snow (1963), Barzun escreve sobre a necessidade de apreciar a ciência:

A nova ciência é um mistério para o público de Delfos; ela mantém o intelecto ocidental incomodado mas não esclarecido, exceção feita apenas aos seus praticantes. Aqui tocamos na deficiência sinistra da cultura científica, que é também a primeira lição a ser tirada da nossa revisão histórica: a falta fundamental em nossa vida mental e espiritual não vem da divisão insignificante entre cientistas e humanistas, ou entre cientistas e os leigos; ela vem do fato da ciência e os resultados da ciência não estarem entre nós como um objeto de contemplação.

Por comum acordo, as ciências são ensinadas na escola e na faculdade; mas todos admitem que este ensinamento é desperdiçado em três quartos daqueles que são obrigados a suportá-lo. Todo o uso ou interesse que eles encontram na "obrigação científica" eles poderiam igualmente encontrar na obrigação de estudar latim ou grego: a ciência ainda é para eles uma língua morta. A crença persiste de que se ciência fosse melhor ensinada ela poderia revelar-se mais excitante, mas há pouco consenso sobre a forma de ensiná-la. E uma das razões para isso é que para os professores e cientistas ativos a ciência raramente é um objeto de contemplação. Eles ensinam, por conseguinte, como se fossem para pretendentes profissionais. (Barzun 1964)

A condenação de Barzun é bem merecida. De alguma forma, em uma sociedade que depende da ciência, conseguimos induzir o desinteresse na maioria dos estudantes. Como fazemos isso? Nós ensinamos como nos foi ensinado, e nos foi ensinado "como pretendentes a profissional". Dada a possibilidade de escolha, poucos professores escolheriam ensinar a estudantes que não apenas aqueles da biologia, e a maioria de nós prefere ensinar os detalhes da nossa própria especialidade. Se, em vez disso, quisermos instruir uma fração maior da população em geral sobre ciência, devemos fugir das tradições de nossa própria formação. Precisamos encontrar maneiras de fazer com que a ciência seja mais interessante para mais pessoas, sem necessariamente ter a intenção de recrutá-los à profissão. Precisamos ensinar a ciência como um objeto digno de contemplação. Eu sinto que nossa única esperança de fazê-lo é entender algo sobre a natureza da ciência. Nós, cientistas, devemos recuar frente a confusão de detalhes que nos tira o foco em nosso trabalho diário e aprender com os humanistas esclarecidos. Se pudermos fazer isso, seremos capazes de passar por cima de todo o abismo que separa, por vezes, humanista e cientista, e através daqueles que nos separam de nossos alunos, nossos padrões públicos e os nossos colegas.

### **O Crescimento da Ciência**

Derek de Solla Price (1986) dedicou grande parte de sua carreira medindo o tamanho da ciência. Ele mostrou que mesmo usando medidas distintas como número de cientistas ativos, quantidade de trabalhos produzidos, quantidade de revistas publicadas ou o número de dólares gastos, chega-se à mesma conclusão: nos últimos 300 anos a ciência tem dobrado de tamanho a cada 10 ou 20 anos. Em outras palavras, a ciência duplica aproximadamente duas vezes mais rápido que a população (Fig. 6). Isto tem algumas implicações importantes. Uma delas é que mais de 85% de todos os cientistas que já viveram ainda estão vivos. Outra é que a literatura científica aumenta em cerca de dez vezes ao longo da carreira de um indivíduo e isto tem acontecido desde o seu início; somos constantemente inundados com novos trabalhos e isto sempre será assim. A terceira implicação é que a ciência cresceu às custas da sociedade.

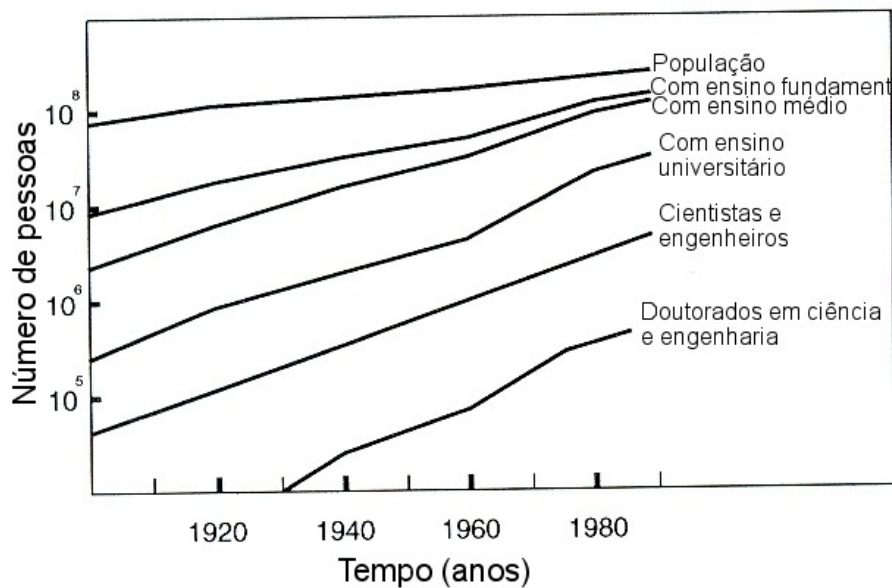


Fig. 6. Uma comparação das taxas de crescimento da ciência e da população nos Estados Unidos (Modificado de Price 1986)

O crescimento da ciência exigiu adaptações dos cientistas ativos. Por exemplo, nos reunimos em equipes multidisciplinares de especialistas para ensinar e fazer pesquisa, insistimos que cientistas devem escrever, e que alunos devem ler, livros-textos ainda mais longos, e usamos a potência de computadores e outras máquinas em nossa coleta de dados, análise de dados, redação e publicação. Muitos trabalham durante noites, fins de semana e feriados. Podemos concentrar nossos esforços e refinar nossos interesses para assuntos mais específicos. Alguns extirpam impiedosamente atividades que não sejam profissionais de suas vidas - hobbies, amigos, família. Muitos cientistas que eu conheço já fizeram estas coisas, embora isto não tenha resolvido suas dificuldades. Acabamos por piorar as coisas. A ciência está crescendo mais rápido do que podemos gerenciar.

Obviamente, a ciência não pode crescer mais rapidamente do que a sociedade indefinidamente. Por exemplo, se o crescimento da ciência não for desacelerado, cada homem, mulher e criança na América do Norte terá um doutorado até o ano de 2200. Quem ensinará e o que será ensinado a estas pessoas? A pesquisa científica atualmente consome 2 a 4% do produto interno bruto da maioria dos países mais desenvolvidos. Se a ciência continuar a crescer no ritmo atual, isso iria aumentar para 4 e 8% em outra geração, e entre 16 e 32% em outros 100 anos. Deve haver um limite superior e o explosivo crescimento da ciência deve eventualmente estabilizar conforme esse limite é atingido. Como a ciência já é responsável pelo consumo de muitos recursos, devemos esperar uma redução do crescimento no futuro próximo.

A menor taxa de crescimento vai resultar em novos problemas e exigir algumas decisões difíceis. Por exemplo, é improvável que a sociedade financiará todos os megaprojetos futuros de todas as disciplinas, ou que atenda a demanda de todos pesquisadores. Em algum momento, a escolha terá que ser feita entre muitas propostas aparentemente incomparáveis. Por exemplo, teremos que decidir se a ciência será melhor atendida por uma estação espacial, um pólo de biotecnologia, um acelerador de massa, ou um navio oceanográfico. Teremos que comparar a conveniência de investigações em biodiversidade com aquela em poluição química ou de produtividade de culturas agrícolas. Teremos que decidir entre física sub-atômica, biologia

molecular, astronomia e limnologia. Para fazer isso, provavelmente teremos que saber o que é ciência, e não apenas o que é interessante para suas sub-disciplinas.

### **Sumário**

Agora posso voltar à questão do título do capítulo: "Por que ler sobre ciência? Em primeiro lugar, uma crescente literatura mostra que a ciência pode ser apreciada e entendida como um processo, e não simplesmente como um conjunto de informações, de modo que podemos esperar que nossa leitura seja proveitosa. Segundo, há muitos indicativos de que a ciência não é devidamente apreciada. Textos introdutórios e teses de pós-graduação demonstram que muitos biólogos não tem certeza sobre a natureza da ciência e o papel do cientista; eu acredito que uma apreciação da ciência nos tornará melhores professores e produzirá melhores alunos. Há também evidências de que os componentes fundamentais da pesquisa - fatos, teorias, testes, indução e dedução - são mal compreendidos por muitos membros da sociedade; uma melhor compreensão destes princípios básicos permitirá ao cidadão viver melhor em uma sociedade que financia e que depende da pesquisa científica. Também permitirá os cientistas fazerem seu trabalho melhor. Por fim, devemos aprender o que é ciência e o que ela não é, porque a dinâmica de crescimento da humanidade e da ciência implica que as relações tradicionais entre as duas deverá mudar em breve. Pesquisadores e cidadãos estão prestes a experimentar momentos interessantes, e eu acredito que uma apreciação da natureza da ciência irá ajudá-los a encontrar um caminho para sair da confusão que se amontoa.