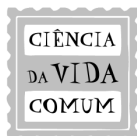


UMA SENHORA TOMA CHÁ...



**Diretora:**

Suzana Herculano-Houzel

**A evolução das coisas úteis**

*Clipes, garfos, latas, zíperes e outros objetos do nosso cotidiano*

Henry Petroski

**Por que o bocejo é contagioso?**

*E outras curiosidades da neurociência no cotidiano*

Suzana Herculano-Houzel

**De cabeça aberta**

*Conhecendo o cérebro para entender a personalidade humana*

Steven Johnson

**Uma senhora toma chá...**

*Como a estatística revolucionou a ciência no século XX*

David Salsburg

**Barbies, bambolês e bolas de bilhar**

*67 breves comentários sobre a fascinante química do dia-a-dia*

Joe Schwarcz

david salsburg



# UMA SENHORA TOMA CHÁ...

como a estatística revolucionou a ciência no século XX

Tradução:

JOSÉ MAURÍCIO GRADEL

Revisão técnica:

SUZANA HERCULANO-HOUZEL

Instituto de Ciências Biomédicas/UFRJ

Dedicado a Fran, minha querida esposa há 42 anos. Ao longo de minha carreira, enquanto eu acumulava histórias sobre homens e mulheres que fizeram a revolução estatística, ela insistia em que eu as reunisse num livro não matemático. Fran, que não tem treinamento matemático, ajudou-me nas várias revisões, indicando-me os pontos em que minhas explicações não estavam claras. Este livro, em especial as seções nitidamente compreensíveis, deve-se à sua persistência.

Título original:

*The Lady Tasting Tea*

*(How Statistics Revolutionized Science in the Twentieth Century)*

Tradução autorizada da edição norte-americana publicada em 2002 por Owl Books, um selo de Henry Holt and Company de Nova York, EUA.

Copyright © 2001, W.H. Freeman and Company

Copyright da edição brasileira © 2009:

Jorge Zahar Editor Ltda.

rua México 31 sobreloja

20031-144 Rio de Janeiro, RJ

tel.: (21) 2108-0808 / fax: (21) 2108-0800

e-mail: [jze@zahar.com.br](mailto:jze@zahar.com.br)

site: [www.zahar.com.br](http://www.zahar.com.br)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação de direitos autorais. (Lei 9.610/98)

Projeto gráfico: Bruna Benvegnu

CIP-Brasil. Catalogação-na-fonte  
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ.

---

Salsburg, David, 1931-  
S17s Uma senhora toma chá...: como a estatística revolucionou a ciência no século XX / David Salsburg; tradução José Maurício Gradel; revisão técnica Suzana Herculano-Houzel. - Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2009.

(Ciência da vida comum)

Tradução de: *The lady tasting tea*

Inclui bibliografia e índice

ISBN 978-85-378-0116-1

1. Ciência - Métodos estatísticos - História. I. Título.

08-5192

CDD 001.422

CDU 001.8

---

Thou shalt not answer questionnaires  
Or quizzes upon World Affairs,  
Nor with compliance  
Take any test. Thou shalt not sit  
With statisticians nor commit  
A social science.  
W.H. AUDEN\*

To understand God's thoughts, we must study  
statistics, for these are the measure of His purpose.  
FLORENCE NIGHTINGALE\*\*

---

\* Não responderás a questionários /ou argüição a respeito dos Negócios do Mundo /Não com aquiescência /Farás qualquer teste. Não sentarás /com estatísticos ou cometerás /uma ciência social.

\*\* Para entender as idéias de Deus, precisamos estudar estatística, porque essa é a medida de Seu propósito.



# sumário

Prefácio à edição brasileira 11

Prefácio 13

## 1. Uma senhora toma chá...

A natureza cooperativa da ciência 18 | O desenho experimental 19

## 2. As distribuições assimétricas

O laboratório biométrico de Galton 25 | Correlação e regressão 26 | Distribuições e parâmetros 27 | O plano da *Biometrika* 30

## 3. Querido senhor Gosset

O nascimento do “Student” 37 | O teste *t* de Student 39

## 4. Revolver um monte de estrume

Fisher *versus* Karl Pearson 44 | Fisher, “o fascista” 45 | Métodos estatísticos para pesquisadores 46 | Rothamsted e experimentos agrícolas 48

## 5. “Estudos da variação de safras”

“Estudos da variação de safras I” 50 | A generalização da regressão à média de Galton 51 | Experimentos randomizados controlados 53 | A análise da variância de Fisher 54 | Graus de liberdade 55 | “Estudos da variação de safras III” 56

## 6. “O dilúvio de 100 anos”

A distribuição de extremos 60 | Assassinato político 61

## 7. Fisher triunfante

A visão fisheriana *versus* a visão pearsoniana da estatística 66 | Os métodos de *probabilidade máxima* de Fisher 68 | Algoritmos iterativos 69

## 8. A dose letal

Análise de probit 74 | Bliss na Leningrado soviética durante o terror stalinista 76

## 9. A curva em forma de sino

O que é o teorema central do limite? 80 | *Viva la muerte!* 83 | De Lindeberg-Lévy para as estatísticas-U 85 | Hoeffding em Berlim 85 | Pesquisa operacional 87

## 10. Teste da adequação do ajuste

Teoria do caos e adequação do ajuste 90 | O teste de adequação do ajuste de Pearson 91 | Testar se a senhora pode sentir o gosto diferente do chá 92 | Uso dos valores de  $p$  de Fisher 93 | A educação matemática de Jerzy Neyman 95 | O estilo de matemática de Neyman 97

## 11. Testes de hipótese

O que é probabilidade? 101 | A definição freqüentista de probabilidade 103

## 12. O golpe da confiança

A solução de Neyman 109 | Probabilidade *versus* grau de confiança 111

## 13. A heresia bayesiana

Questões relativas à “probabilidade inversa” 115 | O modelo hierárquico bayesiano 116 | Probabilidade pessoal 118

## 14. O Mozart da matemática

Kolmogorov, o homem 123 | O trabalho de Kolmogorov na estatística matemática 125 | O que é probabilidade na vida real? 127 | Comentário sobre os fracassos da estatística soviética 128

## 15. Como se fosse uma mosquinha

Trabalhando para K.P. 132 | Trabalho de guerra 134



## 16. Abolir os parâmetros

Desenvolvimentos posteriores 139 | Problemas não resolvidos 140

## 17. Quando a parte é melhor que o todo

O New Deal e a amostragem 146 | Jerome Cornfield 149 | Índices econômicos 151

## 18. Fumar causa câncer?

Existem causa e efeito? 154 | Implicação material 156 | A solução de Cornfield 157 |  
O hábito de fumar e o câncer *versus* o agente laranja 160 | Viés de publicação 161 |  
A solução de Fisher 162

## 19. Se você quiser a melhor pessoa...

As contribuições das mulheres 166 | O desenvolvimento de indicadores  
econômicos 168 | As mulheres na estatística teórica 171

## 20. Apenas um peão de fazenda do Texas

Estatística em Princeton 175 | A estatística e o esforço de guerra 176 |  
A estatística na abstração 178

## 21. Um gênio na família

I.J. Good 181 | Persi Diaconis 185

## 22. O Picasso da estatística

A versatilidade de Tukey 190

## 23. Lidando com a contaminação

Box torna-se estatístico 197 | Box nos Estados Unidos 199 | Box e Cox 201

## 24. O homem que refez a indústria

A mensagem de Deming à gerência sênior 204 |  
A natureza do controle de qualidade 207 | Deming e os testes de hipótese 209

## 25. O conselho da senhora de preto

Estatística na Guinness 212 | Variabilidade inesperada 213 |  
Matemática abstrata *versus* estatística útil 216

## 26. A marcha das acumuladas

Trabalho teórico inicial 220 | Acumuladas em estudos de insuficiência cardíaca congestiva 221

## 27. A intenção de tratar

A formulação de Cox 226 | O enfoque de Box 226 | A visão de Deming 229 | Os estudos observacionais de Cochran 228 | Os modelos de Rubin 229

## 28. O computador gira em torno de si mesmo

O lema de Glivenko-Cantelli 232 | O *bootstrap* de Efron 233 | Reamostragem e outros métodos com uso intensivo do computador 234 | O triunfo dos modelos estatísticos 235

## 29. O ídolo com pés de barro

Os estatísticos perdem o controle 239 | A revolução estatística termina seu trajeto? 240 | Os modelos estatísticos podem ser usados para tomar decisões? 241 | Qual o significado de probabilidade quando aplicada à vida real? 243 | As pessoas realmente entendem a probabilidade? 246 | A probabilidade é realmente necessária? 248 | O que acontecerá no século XXI? 249

Epílogo 250

Linha do tempo 252

Notas 257

Referências bibliográficas 266

Índice remissivo 274

# Prefácio

A ciência chegou ao século XIX com a firme visão filosófica de que o Universo funcionaria como o mecanismo de um imenso relógio. Acreditava-se que havia um pequeno número de fórmulas matemáticas (como as leis do movimento de Newton e as leis dos gases de Boyle) capazes de descrever a realidade e prever eventos futuros. Tudo de que se necessitava para tal predição era um conjunto completo dessas fórmulas e um grupo de medições a elas associadas, realizadas com suficiente precisão. A cultura popular levou mais de 40 anos para se pôr em dia com essa visão científica.

Típico desse atraso cultural é o diálogo entre o imperador Napoleão Bonaparte e Pierre Simon Laplace nos primeiros anos do século XIX. Laplace havia escrito um livro monumental e definitivo, no qual descreve como calcular as futuras posições de planetas e cometas com base em algumas observações feitas a partir da Terra. “Não encontro menção alguma a Deus em seu tratado, sr. Laplace”, teria questionado Napoleão, ao que Laplace teria respondido: “Eu não tinha necessidade dessa hipótese.”

Muitas pessoas ficaram horrorizadas com o conceito de um Universo mecânico, sem Deus, que funcionasse para sempre sem intervenção divina e com todos os eventos futuros determinados pelos que teriam ocorrido no passado. De certa forma, o movimento romântico do século XIX foi uma reação a esse frio e exato uso da razão. No entanto, uma prova dessa nova ciência apareceu na década de 1840 e deslumbrou a imaginação popular. As leis matemáticas de Newton foram usadas para prever a existência de mais um planeta – e Netuno foi descoberto no lugar que as leis previram. Quase todas as resistências ao Universo mecânico desmoronaram, e essa posição filosófica tornou-se parte essencial da cultura popular.

Embora Laplace não precisasse de Deus em sua formulação, ele necessitou de algo que denominou “função erro”. A observação de planetas e cometas a

partir da Terra não se ajustava com precisão às posições previstas, fato que Laplace e seus colegas cientistas atribuíram a erros nas observações, algumas vezes atribuíveis a alterações na atmosfera da Terra, outras vezes a falhas humanas. Laplace reuniu todos esses erros numa peça extra (a função erro), que atrelou a suas descrições matemáticas. Essa função erro absorveu as imprecisões e deixou apenas as puras leis do movimento para prever as verdadeiras posições dos corpos celestes. Acreditava-se que, com medições cada vez mais precisas, diminuiria a necessidade da função erro. Como ela dava conta de pequenas discrepâncias entre observado e previsto, a ciência do século XIX estava nas garras do determinismo filosófico – a crença de que tudo é determinado de antemão pelas condições iniciais do Universo e pelas fórmulas matemáticas que descrevem seus movimentos.

No final do século XIX, os erros haviam aumentado, em vez de diminuir. À proporção que as medições se tornavam mais precisas, novos erros se revelavam. O andar do Universo mecânico era trôpego. Falharam as tentativas de descobrir as leis da biologia e da sociologia. Nas antigas ciências, como física e química, as leis que Newton e Laplace tinham utilizado mostravam-se meras aproximações grosseiras. Gradualmente, a ciência começou a trabalhar com um novo paradigma, o modelo estatístico da realidade. No final do século XX, quase toda a ciência tinha passado a usar modelos estatísticos.

A cultura popular não conseguiu acompanhar essa revolução científica. Algumas idéias e expressões vagas (como “correlação”, “probabilidades” e “risco”) até entraram no vocabulário popular, e a maioria das pessoas está consciente das incertezas associadas a algumas áreas da ciência, como medicina e economia, mas poucos não-cientistas têm algum entendimento da profunda mudança de visão filosófica que ocorreu. O que são esses modelos estatísticos? Como apareceram? O que significam na vida real? São descrições fidedignas da realidade? Este livro é uma tentativa de responder a essas perguntas. Ao longo da narrativa, também iremos abordar a vida de alguns homens e mulheres que se envolveram nessa revolução.

Ao lidar com essas questões, é necessário distinguir três idéias matemáticas: aleatoriedade, probabilidade e estatística. Para a maioria das pessoas, aleatoriedade é apenas sinônimo de imprevisibilidade. Um aforismo do Talmude transmite essa noção popular: “Não se devem procurar tesouros enterrados, porque tesouros enterrados são encontrados aleatoriamente, e, por definição, não se pode procurar o que é encontrado aleatoriamente.” Para o cientista moderno, entretanto, existem muitos tipos diferentes de aleatoriedade. O conceito

de distribuição probabilística (descrito no Capítulo 2) nos permite estabelecer limitações à aleatoriedade e nos dá limitada capacidade de prever eventos futuros aleatórios. Assim, para o cientista moderno, eventos aleatórios não são simplesmente indomados, inesperados e imprevisíveis – sua estrutura pode ser descrita matematicamente.

Probabilidade é uma palavra atual para um conceito muito antigo. Ele aparece em Aristóteles, que afirmou: “É da natureza da probabilidade que coisas improváveis aconteçam.” De início, ela envolve a sensação de alguém a respeito do que se pode esperar. Nos séculos XVII e XVIII, um grupo de matemáticos, entre eles duas gerações dos Bernoulli, Fermat, De Moivre e Pascal, trabalhou numa teoria matemática da probabilidade que começou com jogos de azar. Eles desenvolveram alguns métodos muito sofisticados para contar eventos igualmente prováveis. De Moivre conseguiu inserir os métodos de cálculo nessas técnicas, e os Bernoulli foram capazes de estabelecer alguns profundos teoremas fundamentais, chamados “leis dos grandes números”. No final do século XIX, a probabilidade matemática consistia essencialmente em sofisticados truques, mas lhe faltava uma sólida fundamentação teórica.

Apesar da natureza incompleta da teoria da probabilidade, ela se mostrou útil para a idéia, que então se desenvolvia, de distribuição estatística. Uma distribuição estatística ocorre quando consideramos um problema científico específico. Por exemplo, em 1971, foi publicado pela revista médica inglesa *Lancet* um artigo da Harvard School of Public Health que analisava se o consumo de café estaria relacionado ao câncer do trato urinário inferior. O estudo fora realizado com um grupo de pacientes, alguns dos quais haviam desenvolvido esse tipo de câncer, enquanto outros sofriam de outras doenças. Os autores do relatório coletaram dados adicionais sobre esses pacientes, tais como idade, sexo e história familiar de câncer. Nem todos que bebem café contraem câncer do trato urinário, e nem todos que apresentam câncer do trato urinário são bebedores de café – assim, alguns fatos contradiziam a hipótese dos pesquisadores. No entanto, 25% dos pacientes com esse tipo de câncer habitualmente tomavam quatro ou mais xícaras de café por dia. Apenas 10% dos pacientes sem câncer bebiam tanto café. Parecia haver alguma evidência a favor da hipótese.

Essa coleta de dados forneceu aos autores uma distribuição estatística. Usando as ferramentas da probabilidade matemática, eles construíram uma fórmula teórica para aquela distribuição, a “função de distribuição probabilística”, ou simplesmente função de distribuição, que utilizaram para examinar a questão. Equivale à função erro de Laplace, mas muito mais complexa. A construção da

função de distribuição teórica faz uso da teoria das probabilidades e é empregada para descrever o que se pode esperar de dados futuros tomados aleatoriamente do mesmo grupo de pessoas.

O assunto deste livro não é probabilidade e teoria da probabilidade – que são conceitos matemáticos abstratos. Aqui se trata da aplicação de alguns teoremas da probabilidade a problemas científicos, o mundo das distribuições estatísticas e funções de distribuição. A teoria da probabilidade sozinha é insuficiente para descrever os métodos estatísticos, e algumas vezes acontece de os métodos estatísticos na ciência violarem alguns dos teoremas da probabilidade. O leitor encontrará a probabilidade perambulando pelos capítulos, empregada, quando necessária, e ignorada, quando não.

Como os modelos estatísticos da realidade são matemáticos, só podem ser totalmente compreendidos em termos de fórmulas e símbolos matemáticos. Tentei aqui algo um pouco menos ambicioso: descrever a revolução estatística na ciência do século XX por intermédio de algumas das pessoas (muitas delas ainda vivas) que nela estiveram envolvidas. Tratei muito superficialmente o trabalho que elas criaram, só para provar como suas descobertas individuais se encaixaram no quadro geral.

O leitor deste livro não aprenderá o suficiente para se lançar à análise estatística de dados científicos – isso exigiria vários anos de estudos universitários –, mas espero que ele compreenda algo da profunda mudança da filosofia básica representada pela visão estatística da ciência. A quem um não-matemático procura para entender essa revolução na ciência? Acho que, para começar, é recomendável uma senhora provando chá...

# 1. Uma senhora toma chá...



Era uma tarde de verão em Cambridge, Inglaterra, no final dos anos 1920. Um grupo de professores universitários, suas esposas e alguns convidados tomara lugar a uma mesa no jardim para o chá da tarde. Uma das mulheres insistia em afirmar que o chá servido sobre o leite parecia ficar com gosto diferente do que apresentava ao receber o leite sobre ele. As cabeças científicas dos homens zombaram do disparate. Qual seria a diferença? Não podiam conceber diferença alguma na química da mistura. Um homem de estatura baixa, magro, de óculos grossos e cavanhaque começando a ficar grisalho interessou-se pelo problema.

“Vamos testar a proposição”, animou-se. Começou a esboçar um experimento no qual a senhora que insistira haver diferença seria servida com uma seqüência de xícaras, algumas com o leite servido sobre o chá, e outras com o chá servido sobre o leite.

Quase posso ouvir alguns leitores menosprezando esse esforço como momento menor de uma conversa em tarde de verão. “Que diferença faz se a senhora consegue distinguir uma infusão da outra?”, perguntarão. “Nada existe de importante ou de grande mérito científico nesse problema”, argumentarão com desprezo. “Essas cabeças privilegiadas deveriam usar sua poderosa capacidade cerebral para algo que beneficiasse a humanidade.”

Lamento, mas, apesar do que os não-cientistas possam pensar sobre a ciência e sua importância, minha experiência leva-me a acreditar que a maioria dos cientistas se empenha em suas pesquisas porque está interessada nos resultados e porque obtém estímulo intelectual com suas tarefas. Raras vezes os bons cientistas pensam a respeito da importância de seu trabalho. Assim foi naquela ensolarada tarde em Cambridge. A senhora poderia ou não estar certa sobre o paladar do chá. A graça estava em encontrar um modo de afirmar se estava certa, e, sob a direção do homem de cavanhaque, começaram a discutir como poderiam fazer isso.

Entusiasmados, vários deles se envolveram no experimento e em poucos minutos estavam servindo diferentes padrões de infusão sem que a senhora os pudesse ver. Então, com ar de objetividade, o homem de cavanhaque ofereceu-lhe a primeira xícara. Ela tomou um pequeno gole e declarou que, naquela, o leite fora colocado sobre o chá. Ele anotou a resposta sem comentários e lhe passou a segunda xícara...

## A natureza cooperativa da ciência

Ouvi essa história no final dos anos 1960, contada por um homem que lá estivera naquela tarde, Hugh Smith, cujos trabalhos científicos eram publicados sob o nome de H. Fairfield Smith. Quando o conheci, era professor de estatística na Universidade de Connecticut, na cidade de Storrs, onde eu completara meu doutorado em estatística dois anos antes. Depois de lecionar na Universidade da Pensilvânia, eu ingressara no Departamento de Pesquisa Clínica da Pfizer, Inc., uma grande empresa farmacêutica, cujo campus de pesquisa em Groton, Connecticut, estava a uma hora de carro de Storrs. Na Pfizer, eu lidava com muitos problemas matemáticos difíceis; na época, era o único estatístico, e precisava discutir esses problemas e minhas “soluções” para eles.

Trabalhando na Pfizer, eu me dera conta de que poucas pesquisas científicas podem ser desenvolvidas por uma só pessoa; habitualmente elas exigem a combinação de algumas cabeças pensantes, porque é muito fácil cometer erros. Quando eu propunha uma fórmula matemática como meio de resolver um problema, o modelo podia ser inadequado, ou talvez eu tivesse introduzido uma premissa incorreta sobre a situação, ou a “solução” que eu encontrara poderia ter sido derivada do ramo errado de uma equação, ou eu poderia ter cometido um mero erro de cálculo.

Sempre que visitava a universidade em Storrs, para falar com o professor Smith, ou quando discutia problemas com os cientistas e farmacologistas da Pfizer, as questões que eu trazia em geral eram bem recebidas. Eles participavam dessas discussões com entusiasmo e interesse. O que faz a maioria dos cientistas se interessar por seu trabalho é, quase sempre, o desafio do problema: a expectativa da interação com outros os alimenta enquanto examinam uma questão e tentam entendê-la.