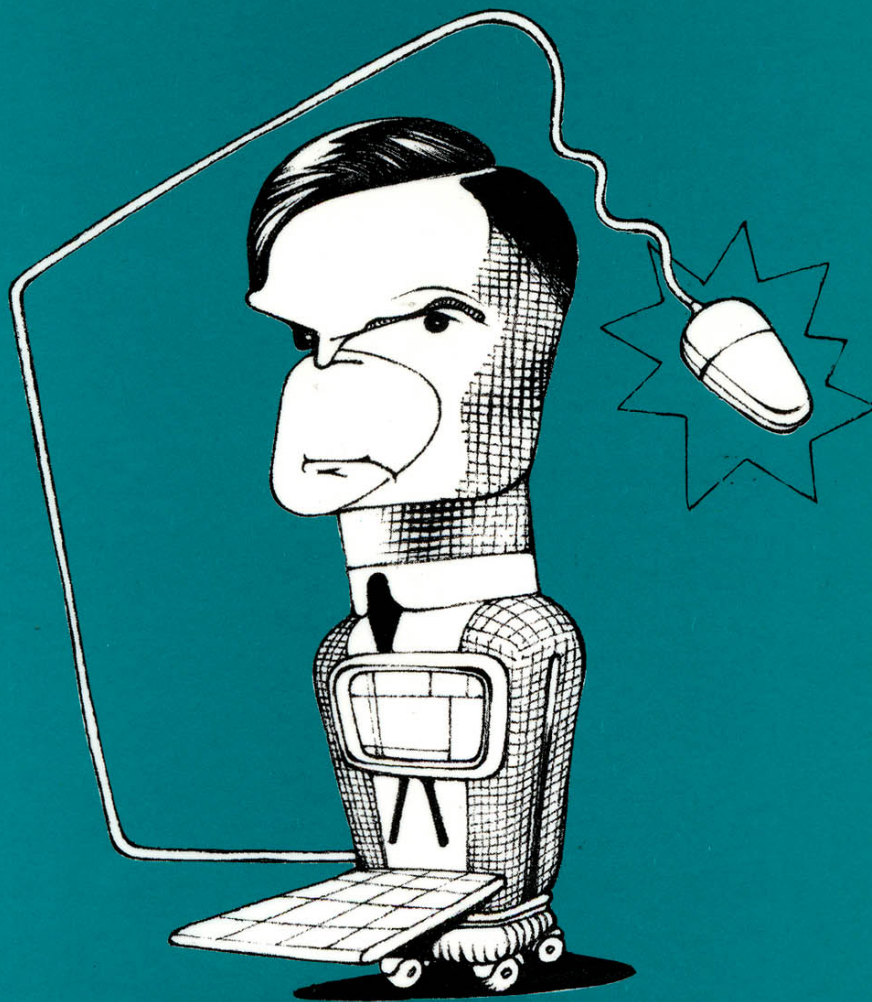


PAUL STRATHERN
TURING
E O COMPUTADOR

em 90 minutos



JORGE ZAHAR EDITOR

DADOS DE COPYRIGHT

Sobre a obra:

A presente obra é disponibilizada pela equipe [X Livros](#) e seus diversos parceiros, com o objetivo de disponibilizar conteúdo para uso parcial em pesquisas e estudos acadêmicos, bem como o simples teste da qualidade da obra, com o fim exclusivo de compra futura.

É expressamente proibida e totalmente repudiável a venda, aluguel, ou quaisquer uso comercial do presente conteúdo

Sobre nós:

O [X Livros](#) e seus parceiros disponibilizam conteúdo de domínio público e propriedade intelectual de forma totalmente gratuita, por acreditar que o conhecimento e a educação devem ser acessíveis e livres a toda e qualquer pessoa. Você pode encontrar mais obras em nosso site: xlivros.com ou em qualquer um dos sites parceiros apresentados neste link.

Quando o mundo estiver unido na busca do conhecimento, e não lutando por dinheiro e poder, então nossa sociedade enfim evoluirá a um novo nível.

TURING
E O COMPUTADOR
em 90 minutos

Paul Strathern

Tradução:

Maria Luiza X. de A. Borges

Revisão técnica:

Carla Fonseca-Barbatti

Doutoranda em física, CBPF/CNPq



SUMÁRIO

Sobre o autor

Introdução

A era a.C.: Os computadores
antes de seu tempo

Vida e obra de um enigma

Posfácio

Datas significativas no desenvolvimento
do computador

Leitura sugerida

SOBRE O AUTOR

PAUL STRATHERN nasceu em Londres. Foi professor de filosofia e matemática na Kingston University e é o autor da extremamente bem-sucedida série *Os filósofos em 90 minutos*. Escreveu cinco romances (*A Season in Abyssinia* ganhou um Prêmio Somerset Maugham) e também sobre viagens. Paul Strathern trabalhou anteriormente como jornalista freelance, escrevendo para o *Observer*, o *Daily Telegraph* e o *Irish Times*. Tem uma filha e mora em Londres.

INTRODUÇÃO

É bem possível que o desenvolvimento do computador venha a se provar uma das maiores realizações tecnológicas da humanidade. O computador pode vir ainda a se situar ao lado do uso do fogo, a descoberta da roda e o aproveitamento da eletricidade. Esses avanços anteriores exploraram forças básicas: o computador explora a própria inteligência.

Mais de 90% dos cientistas que jamais viveram estão vivos agora, e a velocidade de seu trabalho é multiplicada diariamente pelo computador. (O mapeamento do gene humano será provavelmente concluído *meio século* antes do previsto quando da descoberta da sua estrutura, tudo graças aos computadores.)

Mas não convém alimentar esperanças tão elevadas. Expectativas semelhantes acompanharam o desenvolvimento da máquina a vapor menos de 150 anos atrás. E a régua de cálculo durou menos de um século. O avanço que tornará o computador redundante só é inconcebível porque ainda não foi concebido.

Mesmo antes que o primeiro computador fosse desenvolvido, conhecíamos seus limites teóricos. Sabíamos o *que* ele poderia computar. E quando os primeiros computadores ainda estavam sendo montados, a *qualidade* potencial de sua capacidade já era compreendida: eles poderiam desenvolver sua própria inteligência artificial. Um homem foi responsável por ambas estas idéias — seu nome era Alan Turing.

Um sujeito excêntrico, que acabou por ver a si mesmo como uma espécie de computador, Turing trabalhou também na máquina de calcular Colossus que decifrou os códigos Enigma dos alemães durante a Segunda Guerra Mundial. Como Arquimedes, Turing foi obrigado a abandonar uma brilhante carreira como matemático para tentar salvar seu país. Arquimedes fracassou e foi morto por um

soldado romano. Turing teve êxito e a pátria agradecida o processou por homossexualidade.

Turing foi amplamente esquecido após sua morte prematura, mas agora está sendo cada vez mais reconhecido como a principal figura na história do computador.

A ERA A.C.: OS COMPUTADORES ANTES DE SEU TEMPO

O primeiro computador foi, é claro, o ábaco. Esse método de cálculo foi inventado antes mesmo da roda. (Nosso desejo de não ser logrado é evidentemente mais profundo que o de viajar com conforto.) Há indícios arqueológicos de que uma forma de ábaco estava sendo usada por volta de 4000 a.C. tanto na China quanto no Oriente Próximo. Parece ter se desenvolvido de maneira independente nessas duas regiões. Alguns sugeriram que isso indica o primado da matemática: o anseio de calcular como função aparentemente inevitável da condição humana.

A palavra ábaco deriva do babilônio *abaq*, que significa pó. Eruditos propuseram explicações caracteristicamente engenhosas para essa evidente incongruência. Segundo uma versão, todos os cálculos eram feitos originalmente no pó, assim pó se tornou nome de qualquer forma de cálculo. Ou, alternativamente, o método de cálculo usado pelo ábaco teria sido primeiramente desenhado em linhas e rabiscos no pó.

De fato, estritamente falando, o ábaco nada tem de um computador. O verdadeiro cálculo é feito pelo operador do ábaco, que deve ter o programa (os passos matemáticos necessários) na cabeça.

Computador ou não, o ábaco e seu programa humano foram certamente usados para computar até um período avançado da Idade Média por toda a Europa e a Ásia. Depois veio a introdução do zero na matemática, que atrapalhou o uso do ábaco. Em consequência, os matemáticos sérios logo desdenharam esse auxiliar infantil. Apesar disso, o ábaco continuou sendo usado durante

séculos como uma calculadora, um registro de dinheiro, um computador e o que mais você possa (ou não possa) imaginar. De fato, até os dias de hoje o ábaco continua desempenhando um papel axial na economia local de partes da Ásia central e da Rússia.

A mais antiga máquina de calcular conhecida continua sendo um completo mistério. Em 1900, mergulhadores gregos à procura de esponjas descobriram ao largo da pequenina ilha egéia de Anticitera um navio antigo naufragado datado do século I a.C. Em meio às estátuas e aos jarros quebrados, foram encontradas algumas peças de bronze carcomido que pareciam ser parte de uma máquina. Foi só 50 anos depois que especialistas conseguiram descobrir como essas peças se encaixavam, e construir uma maquete. Aquilo finalmente revelou-se um tipo de máquina de calcular astronômica, que funcionava exatamente como um computador analógico de nossos dias, usando partes mecânicas para fazer cálculos. Podia-se girar uma manivela, que movia rodas dentadas; isso por sua vez acionava indicadores, em que era possível ler a posição do Sol e dos planetas no zodíaco.

O que torna essa descoberta tão assombrosa é seu caráter único. Nada nem remotamente parecido feito nesse período foi jamais encontrado. Não há menção de semelhante máquina ou de nada parecido em lugar algum na literatura grega antiga. Nenhum filósofo, nenhum matemático, nenhum cientista ou astrônomo faz qualquer referência a tal objeto. E, com base em nosso conhecimento atual da ciência da Grécia antiga, não havia nenhuma tradição ou perícia capazes de produzir semelhante máquina. O primeiro computador parece ter sido um capricho, talvez um brinquedo, de algum gênio mecânico desconhecido que simplesmente desapareceu da história. Um capricho sem influência, ele desapareceu como um cometa. Depois nada — por mais de um milênio e meio.

Considera-se em geral que a primeira “verdadeira” máquina de calcular mecânica foi aquela produzida em 1623 por William Schickard, professor de hebraico na Universidade de Tübingen. Schickard era amigo do astrônomo Johannes Kepler, que descobriu as leis do movimento planetário. Kepler despertou um interesse

latente pela matemática no professor de hebraico, cuja habilidade para calcular havia evidentemente ficado um tanto enferrujada ao longo dos anos. Por isso ele resolveu construir uma máquina que o ajudasse em suas somas. A máquina de Schickard foi descrita como um “relógio de calcular”. Foi feita para servir de auxílio aos astrônomos, permitindo-lhes calcular as efemérides (as posições futuras do Sol, da Lua e dos planetas).

Lamentavelmente, nunca saberemos se essa máquina funcionava, ou de que maneira precisa se pretendia que o fizesse. O primeiro e único protótipo ainda estava incompleto quando, juntamente com os projetos de Schickard, foi destruído pelo fogo durante a Guerra dos Trinta Anos. Schickard ficou assim reduzido a uma mera nota de rodapé histórica, em lugar de figurar como o inventor do mais importante avanço tecnológico desde o arreo.

Sabemos que a máquina de Schickard foi um precursor do computador digital, cujo *input* se dá na forma de números. Para o outro tipo de computador, o analógico, o *input* (e o *output*) é dado não mais em números mas numa quantidade mensurável — como voltagem, peso ou comprimento. Esta última quantidade foi usada no primeiro computador analógico, a régua de cálculo, que foi inventada na década de 1630. Em sua forma mais simples, a régua de cálculo envolve duas réguas, ambas marcadas com escalas logarítmicas. Deslizando a régua de modo a pôr um número contra o outro, é possível simplesmente ler múltiplos e divisões.

A régua de cálculo foi inventada por William Oughtred, cujo pai trabalhava como escriba em Eton, ensinando alunos analfabetos a escrever. Seu filho ordenou-se sacerdote, mas seguiu os passos do pai, dando aulas como atividade secundária. Na década de 1630 ele produziu a primeira régua de cálculo retilínea (isto é, com duas réguas retas). Alguns anos depois teve a idéia da régua de cálculo circular (que tem um disco móvel no interior de um anel, em vez de réguas deslizantes). Lamentavelmente, um de seus alunos roubou-lhe a idéia e a publicou primeiro, reivindicando a descoberta para si. Oughtred não gostou; mas iria terminar seus dias como um homem feliz. Realista dedicado, diz-se que morreu num “transporte de alegria” após ouvir que Carlos II fora restaurado no trono.

A régua de cálculo primitiva foi desenvolvida ao longo dos anos, transformando-se num dispositivo capaz de cálculos sofisticados. Entre os que contribuíram para esse desenvolvimento esteve James Watt, que a adaptou para uso nos cálculos do projeto de suas máquinas a vapor pioneiras na década de 1780. Novo avanço foi feito por Amadée Mannheim, um oficial de artilharia francês. Ele projetou uma forma avançada de régua de cálculo quando ainda era estudante, o que lhe permitiu obter nos exames os resultados notáveis que o lançaram numa brilhante carreira na educação militar. Foi a versão da régua de cálculo de Mannheim que alcançou um uso tão difundido na primeira metade do século XX — adereço imprescindível no bolso do paletó de todo cientista de colarinho branco que se prezasse.

Mas voltemos ao computador digital. O avanço seguinte nesse campo foi feito pelo matemático francês do século XVII Blaise Pascal, que por coincidência nasceu em 1623, o mesmo ano em que Schickard inventou o “relógio de calcular” original. O pai de Pascal era um coletor de impostos real — que já considerava bastante difícil arrecadar o dinheiro, que dirá apresentar as necessárias contas para o erário real. Para ajudá-lo, seu precoce filho começou a projetar uma máquina de calcular. Aos 19 anos, já havia manufaturado uma maquete. Os números eram introduzidos na máquina por rodas graduadas conectadas por hastes a rodas dentadas e engrenagens. A máquina de Pascal era capaz de operar adições e subtrações envolvendo números de até oito dígitos. Tratava-se de uma máquina extremamente complicada, que levava as técnicas mecânicas correntes até seus limites — e por vezes além deles. O instrumento era assolado por toda sorte de problema. Mas Pascal era um perfeccionista e afirmou ter construído “mais de 50 modelos, todos diferentes”. Além de um grande matemático, ele foi o mais eminente filósofo religioso de sua época. Afligido por muitos males físicos, seu zelo religioso cresceu em proporção inversa à sua saúde. Mas continuou sendo um matemático até o fim, chegando mesmo a reduzir a fé à probabilidade matemática. Em sua concepção, embora fosse possível calcular as chances de que Deus não existisse, o

melhor era apostar na existência Dele — pois nada se tinha a perder caso Ele não existisse.

Sete das máquinas de Pascal ainda sobrevivem: engenhosas obras-primas, que incorporam vários princípios ainda usados em computadores mecânicos. Algumas das máquinas que restam ainda estão em condições de funcionamento — embora ninguém tenha conseguido descobrir como usá-las para calcular as probabilidades da inexistência de Deus.

O avanço significativo seguinte rumo ao computador digital foi realizado pelo filósofo alemão Gottfried Leibniz, que foi o Leonardo de seu tempo. Entre muitas outras coisas, Leibniz deveria produzir nada menos que duas filosofias (uma otimista, outra pessimista), um plano detalhado para a invasão do Egito, uma história da Casa de Hanôver em 15 volumes — e uma máquina de calcular que superava de longe a de Pascal.

O interesse de Leibniz em máquinas de calcular era mais do que meramente prático. Quando ainda estava na universidade, elaborou um artigo que explicava a base teórica de qualquer calculadora, e o que ela podia fazer. (Um trabalho que anunciava as idéias seminais de Turing sobre esse assunto quase 300 anos mais tarde.) Por volta da mesma época Leibniz inventou também uma matemática binária, como aquela que viria a se tornar a linguagem dos computadores digitais — embora não tenha combinado as duas coisas.

Leibniz criou sua máquina de calcular em 1673, após ter visto uma das máquinas de Pascal em Paris. Infelizmente, estava sem dinheiro na época e seus esforços foram prejudicados pela necessidade de tornar sua máquina comercialmente viável. (A de Pascal era complexa demais para ser fabricada por qualquer pessoa além dele próprio.) Assim que concluiu sua máquina, Leibniz cruzou o canal para demonstrá-la à Royal Society em Londres. Os membros da instituição mostraram-se desinteressados e ele abandonou o projeto no estágio de protótipo.

Apesar dessas limitações, a máquina de Leibniz era notável. Como a de Pascal, era acionada por uma sucessão de rodas dentadas. Mas era capaz de muito mais que a de Pascal. Desde o início era capaz de multiplicar (por adições repetidas), mas logo lhe foram

introduzidos mecanismos que lhe permitiam dividir e também calcular raízes quadradas.

Leibniz via um grande futuro para máquinas de calcular — embora nunca mais tenha voltado a encontrar tempo para esforços práticos nesse campo. Isso não levou sua mente sempre ativa a parar de pensar sobre máquinas de calcular e o papel que elas poderiam desempenhar num mundo futuro. Em sua concepção, todos os conflitos éticos seriam resolvidos um dia por máquinas de calcular. Bastaria introduzir nelas os diferentes argumentos e a máquina iria “calcular” que argumento era superior. (Embora a base precisa para esses cálculos ainda pertencesse à mesma categoria em que figurava o cálculo das probabilidades da inexistência de Deus — um mistério para todos que não o gênio que a concebeu.)

Numa linha semelhante, Leibniz previu também que máquinas de calcular logo tornariam os juízes supérfluos: os tribunais do futuro seriam presididos por máquinas de calcular — que iriam emitir tanto o veredito quanto a sentença apropriada. Tão assombrosa presciência pode fazer pensar na pior das estórias de horror em torno do computador, mas Leibniz via isso de maneira muito diferente. Era essencialmente uma alma otimista, acreditando que “tudo vai pelo melhor no melhor de todos os mundos possíveis”. Tivesse ele dedicado mais de suas excepcionais energias à construção de máquinas de calcular, e seria impossível prever que tipo de mundo possível elas teriam produzido.

O passo significativo seguinte no campo foi dado por um completo leigo. Joseph Marie Jacquard era um técnico francês no ramo da tecelagem. Nos primeiros anos do século XIX ele montou um tear inovador, em que o padrão da tecelagem era controlado por cartões perfurados. Nasceu assim a idéia de programar uma máquina, embora Jacquard pouco percebesse do alcance de sua invenção. Ele aperfeiçoou essa idéia, mas ela funcionou bem demais. Suas máquinas provocaram motins em Lyon na década de 1820, quando tecelões que as máquinas haviam tornado desnecessários tomaram as fábricas de assalto e destruíram muitas delas. O método de Jacquard continua sendo usado para a tecelagem de padrões complexos.

Máquinas de calcular mecânicas complexas, a idéia de programação, uma teoria dos números computáveis — os elementos básicos do computador moderno estavam começando a aparecer. Mas foi preciso um gênio para descobrir como esses elementos díspares poderiam ser combinados. Charles Babbage é geralmente encarado como o pai do computador. Como muitos gênios no campo prático, carecia irremediavelmente de senso prático em qualquer sentido verdadeiro da palavra. Suas descobertas e realizações, porém, estavam um século à frente do seu tempo.

Babbage nasceu em 1791 e herdou uma fortuna pessoal considerável. Rapaz afável, logo mostrou excepcional talento para a matemática. Lutou com sucesso pela adoção da notação de Leibniz no cálculo na Grã-Bretanha. (Os matemáticos britânicos haviam insistido patrioticamente no uso da notação original, mas inferior, de Newton, com isso isolando-se enormemente de um século de avanços realizados no continente europeu.)

Em seguida Babbage voltou sua atenção para um outro bicho-papão que estava embaraçando cientistas britânicos — curiosamente, os múltiplos erros que abundavam em todas as impressões de tabelas astronômicas e matemáticas. Por exemplo, verificou-se que a primeira edição do *Nautical Ephemeris for Finding Latitude and Longitude at Sea* continha mais de mil erros!

Babbage concluiu que só havia uma solução para o problema de tabelas falhas. Era necessário construir uma grande máquina de calcular, infalível e própria para múltiplos fins. Depois de solicitar com sucesso um subsídio do governo, Babbage começou a construir sua célebre “Máquina de diferenças nº 1”. Era um empreendimento colossalmente ambicioso. A máquina de Babbage deveria ser capaz de calcular até 20 dígitos; deveria também ser capaz de armazenar uma série de números e de efetuar adições dos mesmos. Os cálculos que a máquina iria operar poderiam ser limitados a adições, porque ela iria empregar o método de diferenças múltiplas. Este faz uso de polinômios (fórmulas algébricas compostas por vários termos) e da diferença constante que existe entre eles. Na sua forma mais simples:

Onde $f(x) = 2x + 1$
 $x = 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ \dots$
 $f(x) = 3 \ 5 \ 7 \ 9 \ \dots$
diferenças = 2 2 2 2 ...

Nem é preciso dizer que a coisa não é assim tão fácil com funções mais complexas. Mas neste caso é possível encontrar uma diferença constante nas diferenças entre as diferenças (ou nas diferenças entre as diferenças entre as diferenças). Na maioria dos casos, se um polinômio tem um termo x^n , é preciso calcular n diferenças antes que se possa encontrar uma diferença constante. Para resolver um polinômio para uma sucessão de valores de n , como é preciso fazer na computação de tabelas, é muito mais fácil para uma máquina somar a diferença constante e depois retornar somando diferenças — em vez de se envolver numa série complexa de multiplicações. E funções como logaritmos e as trigonométricas, que não operam dessa maneira, poderiam ser reduzidas a polinômios muito aproximados.

Como suas predecessoras, a Máquina de diferenças nº 1 usava rodas dentadas e operava com o sistema decimal — sua construção, contudo, superava amplamente a de todas as outras em complexidade, exigindo uma sucessão de inovações em engenharia mecânica.

Babbage, porém, estava à altura de sua tarefa, sendo um mestre consumado na arte da improvisação. À medida que sua máquina crescia, ele continuava a ter idéias brilhantes de características inovadoras, incorporando-as a seu engenho enquanto avançava. A Máquina de diferenças nº 1 foi iniciada em 1823, mas jamais seria concluída. Após dez anos de trabalho, Babbage havia ampliado seus planos originais para uma máquina de 25 mil partes (das quais só 12 mil haviam sido fabricadas), e o custo havia espiralado para 17.470 libras (naqueles dias, o bastante para construir um par de navios de guerra). Babbage entrou com grandes somas de seu próprio bolso, mas o governo resolveu sustar o esquema. Era melhor investir numa frota do que numa máquina que iria acabar contribuindo para a dívida nacional com cifras que só ela seria capaz de calcular. Apesar

desses tropeços, em 1827 Babbage havia usado a única parte de sua máquina que funcionava (composta de meros dois mil componentes) para calcular tabelas de logaritmo de 1 a 108.000. Essa parte da Máquina de diferenças nº 1 que funcionava é geralmente considerada a primeira calculadora automática. Os algarismos eram introduzidos, e as respostas saíam sob forma impressa (eliminando assim ademais a possibilidade de erro humano).

Mas, no que diz respeito a Babbage, isso era só o começo. Na década de 1830 ele já tinha planos para uma "Máquina de diferenças nº 2". Essa concepção representava um avanço significativo nas técnicas de computação. Iria ser a primeira máquina analítica: uma máquina cuja função era controlada por um programa externo. Babbage ouvira falar da idéia de Jacquard de cartões perfurados para controlar o mecanismo de uma máquina e resolveu introduzi-la em seu próprio invento. Isso iria permitir à máquina executar qualquer tarefa aritmética particular segundo instruções nela inseridas em cartões com buracos perfurados. Tal como a primeira máquina de diferenças, também teria uma memória em que poderia armazenar números, mas seria, além disso, capaz de realizar uma seqüência de operações envolvendo esses números armazenados. Babbage descobrira os traços essenciais do computador contemporâneo.

O dispositivo central, a que essas características estariam ligadas, deveria ser a *pièce de resistance*. Iria conter um milhar de bielas com nada menos de 50 mil engrenagens e seria capaz de calcular com números de 50 dígitos usando o sistema decimal.

Lamentavelmente o governo não se deixou impressionar por essas espantosas possibilidades e decidiu contra uma segunda tentativa de levar o tesouro público à bancarrota. Nessa altura o intenso esforço de muitos anos de trabalho árduo havia feito estragos no caráter de Babbage. O agradável rapaz de Cambridge se convertera num velho irascível e irritante que rondava as ruas de Londres. Desenvolvera uma implicância com o barulho criado pelos músicos de rua, que "não raro geram uma espécie de dança por garotos andrajosos, e por vez por homens semi-embriagados, que ocasionalmente

acompanham o ruído com suas próprias vozes desafinadas ... Uma outra classe que é grande defensora da música de rua consiste de senhoras de virtude elástica e tendências cosmopolitas, a quem ela fornece uma desculpa decente para exibir seus fascínios às suas próprias janelas abertas". Babbage organizou uma campanha pela proibição de todos os músicos de rua, sob a alegação de que eles o impediam de trabalhar em paz. Os músicos de rua retaliaram reunindo-se junto à janela dele. Babbage registrou que "certa feita uma banda de metais tocou, salvo por alguns curtos intervalos, durante cinco horas".

Babbage agora já havia gasto grande parte de sua fortuna pessoal perseguindo seu sonho de máquinas de diferenças. Durante vários anos foi auxiliado em seus esforços por Ada, Lady Lovelace, a filha do poeta Byron e uma das mais exímias matemáticas de seu tempo. (Seu papel na história do computador recebeu seu supremo reconhecimento quando o Departamento de Defesa dos EUA batizou sua linguagem de programação de ADA, em sua homenagem.) Lady Lovelace ajudou Babbage também numa tentativa otimista de recuperar sua sorte. Juntos, dedicaram muito tempo e energia procurando desenvolver um sistema infalível de aposta em corridas de cavalo. Ai! Durante os testes práticos esse sistema se provou quase tão dispendioso quanto a máquina das diferenças.

Apesar desses reveses, Babbage encontrou tempo também para inventar o limpa-trilhos para locomotivas e descobrir como os anéis dos troncos das árvores podem ser interpretados como registros climáticos. Depois que ele morreu, em 1871, seus projetos para a Máquina de diferenças nº 2 ficaram esquecidos por muitos anos. Mais tarde o engenho da primeira máquina analítica do mundo foi construído de acordo com os projetos para a Máquina de diferenças nº 2 submetidos a alterações. Essa magnífica construção de três toneladas pode agora ser vista em toda a sua glória no Museu da Ciência de Londres. E funciona. (Nos testes por que passou, foi disposta para calcular 25 múltiplos de π até 29 casas decimais — tarefa que suas 50 mil engrenagens digeriram com inteira facilidade.)

Babbage havia delineado os traços básicos do computador moderno, mas suas máquinas sofriam de um grave inconveniente. Operavam em matemática decimal. Isso seria corrigido graças ao trabalho desenvolvido por George Boole, um de seus contemporâneos. Boole nasceu em 1813, filho de um sapateiro de Lincoln. Embora quase inteiramente autodidata, demonstrava tamanha acuidade intelectual que foi nomeado professor de matemática no Queen's College, em Cork — onde veio a se casar com Mary Everest, sobrinha do homem que deu nome ao monte.

Em 1854 Boole publicou sua "Investigação das leis do pensamento", que introduziu o que é hoje conhecido como a álgebra booliana. Nesse trabalho, Boole sugeriu que a lógica é uma forma de matemática, não uma filosofia. Como a geometria, ela se baseia num alicerce de axiomas simples. E assim como a aritmética tem funções essenciais como adição, multiplicação e divisão, a lógica pode ser reduzida a operadores como "e", "ou", "não". Esses operadores podem ser postos para trabalhar num sistema binário. (O sistema binário funciona tal como o decimal, mas com apenas dois dígitos em vez de dez.) O "verdadeiro" e o "falso" da lógica são reduzidos aos 0 e 1 do sistema binário. A álgebra binária reduz portanto qualquer proposição lógica, não importa quantos termos possa conter, a uma seqüência simples de simbolismo binário. Isso podia ser contido numa tira de papel em que a álgebra binária fosse reduzida a uma seqüência de buracos (e não-buracos). Dessa maneira, todo um "argumento" ou programa lógico podia ser introduzido com facilidade numa máquina.

Com dígitos binários, máquinas podiam seguir instruções lógicas e sua matemática ficava perfeitamente adaptada ao circuito elétrico ligado/desligado. Em conseqüência, o dígito binário (ou *bit*) iria acabar se tornando a unidade fundamental de informação em sistemas de computador.

Naquela altura, porém, os avanços independentes de Babbage e Boole permaneciam não reconhecidos. Aos olhos do mundo, o avanço significativo seguinte veio de Herman Hollerith, um estatístico americano. Hollerith desenvolveu uma "máquina de censo" que era capaz de ler cartões com até 288 buracos, o que lhe

permitia armazenar essa informação. Essa máquina eletromecânica era capaz de ler nada menos de 80 cartões por minuto. Quando foi usada para o censo dos Estados Unidos de 1890, a máquina de Hollerith conseguiu processar todos os dados em seis semanas. (No censo anterior, de 1880, o processo demandara três anos). Em 1896 Hollerith entrou no mundo dos negócios, criando sua Tabulating Machine Company, que mais tarde veio a se transformar na International Business Machine Corporation (IBM).

Os elementos necessários para o computador moderno (incluindo sua exploração comercial) estavam agora descobertos. Só o que faltava era que alguém determinasse o que ele podia fazer — suas possibilidades e limitações teóricas. Isso caberia a Alan Turing.

VIDA E OBRA DE UM ENIGMA

.....

Alan Turing nasceu em Londres em 1912 numa família inglesa de classe média alta. Seu pai estava no Serviço Civil indiano e a mãe era filha do engenheiro- chefe da Estrada de Ferro de Madras. Em 1913 seus pais voltaram para a Índia — deixando o bebê Alan e seu irmão de cinco anos aos cuidados de um coronel reformado e a mulher dele em St. Leonardson-Sea, em Sussex.

Naquele tempo pais ingleses respeitáveis achavam natural abandonar os filhos dessa maneira. Mesmo os que podiam não sumir nas colônias lançavam mão de amas e internatos (dos sete aos 18 anos) para assegurar que os filhos fossem raramente vistos e nunca ouvidos. Esse abandono precoce teve tão pouco efeito sobre John, o irmão de Alan, como sobre a maior parte dos meninos de classe média de sua geração — que acabavam todos por ser alunos típicos das escolas públicas inglesas. (Foi só na nossa época mais exigente que essa espécie característica veio a ser considerada emocionalmente estropiada.) Mas Alan Turing vinha a ser uma criança normal — e como tal foi profundamente prejudicado por essa experiência precoce. Desenvolveu uma acentuada gagueira, iria tornar-se de uma auto-suficiência que primava pela excentricidade, e descobriu-se incapaz de participar da charada dos costumes sociais.

Quando sua mãe voltou para uma visita mais prolongada em 1916, o menino Alan reagiu com sentimentos confusos — que iria carregar consigo pelo resto de sua vida. Amava a mãe ternamente, mas também a achava insuportável. A sra. Turing, de sua parte, parece ter sido não só difícil de suportar como de amar. Sua principal preocupação na vida era que Alan parecesse respeitável. O diabinho dentro dele iria tornar também isso impossível.

No internato Alan começou como pretendia continuar. Era aquele que estava sempre desmazelado, os dedos sujos de tinta, além de

não se entrosar com os outros. Pior ainda, não parecia querer se entrosar. Era tímido, solitário, e sua gagueira só piorava as coisas. O Turing caçula não prometia coisa alguma. Teve dificuldade para aprender a ler e escrever. Até que um belo dia resolveu que queria ler, e simplesmente aprendeu sozinho em três semanas. Aos 11 anos, havia desenvolvido uma paixão por química orgânica, mas continuava jovialmente desinteressado de outros assuntos, não sendo capaz sequer de fazer uma divisão longa.

Quando o sr. e a sra. Turing voltaram definitivamente da Índia, resolveram se estabelecer em Dinard, na Bretanha, para evitar pagar impostos. Esse foi um ato quase altruísta da parte deles. Uma pessoa simplesmente não pertencia à classe média se não mandasse os filhos para uma escola pública — que custava mais dinheiro do que os Turing podiam despende com facilidade. Esse estigma social tinha de ser evitado a qualquer custo, mesmo que isso significasse o exílio. Assim, quando os pais finalmente voltaram da Ásia, as crianças foram desarraigadas e arrastadas para morar com eles numa terra diferente. Tudo para o bem deles próprios, é claro.

E realmente foi. Alan gostava de suas férias na França, tendo aprendido o francês rapidamente. E sua educação privilegiada acabaria por despertar as faculdades adormecidas que herdara. Seu avô paterno fora um especialista em matemática em Cambridge, e um ancestral anglo-irlandês do lado de sua mãe havia inventado a palavra “elétron” em 1891. (Embora fosse o fato da eleição dele como membro da Royal Society que impressionasse a família, compensando o *faux pas* de ser um cientista.)

Estava muito bem que o menino Alan brincasse de “fedores” com seu estojo de química de escolar, mas isso era só um *hobby*. Para se beneficiar de uma educação adequada e progredir na vida, precisava aprender um pouco de latim. Afinal de contas, era *para isso* que estava sendo educado. Era nisso que todo o dinheiro estava sendo gasto. Assim poderia aprender alguma coisa — não ficar só futricando com seu infeliz estojo de química. Sem latim, ele jamais passaria no exame comum de admissão na escola pública. (Neste caso, as palavras “comum” e “público” devem ser entendidas no sentido exatamente oposto ao usual.)

Para alívio de todos os envolvidos, Alan conseguiu passar raspando para Sherborne, uma escola pública razoavelmente prestigiosa em Dorset. Aos 13 anos partiu sozinho da França para iniciar seu primeiro período em sua nova escola. Quando a barca chegou a Southampton, Turing descobriu que uma greve geral havia começado naquele mesmo dia. O país estava paralisado — não havia trens, ou transporte de qualquer tipo. Com típica engenhosidade, comprou um mapa e empreendeu de bicicleta a viagem de 88 quilômetros até Sherborne — onde foi saudado como uma espécie de herói.

Mas Turing não conseguiu corresponder a essa promessa. Logo ficou óbvio que não era do estofado de que se fazem os heróis da escola pública. O menino desleixado, desajeitado e gago não parecia interessado em fazer amigos, ou mesmo em fazer um nome para si. Mas tampouco era um rebelde anti-social. Adotava simplesmente uma atitude associal — preferindo tanto quanto possível fazer o que lhe dava na telha, mas *dentro* do sistema. Essa foi uma postura que Turing continuou a manter ao longo de toda a sua vida. Conformava-se, mas não se conformava.

Em meio ao entusiasmo pelos jogos típicos da escola pública, Turing escolheu o esporte individual da corrida de longa distância. Surpreendentemente, embora tivesse pé chato, era bom nisso. Tanto física quanto intelectualmente, sempre deu mostras de excepcional resistência — se estivesse interessado. E foi em Sherborne que descobriu um profundo interesse pela matemática. Este se desenvolveu de maneira tradicional. Tinha pouco interesse por aulas prosaicas, e começou a estudar o assunto por conta própria — disparando muito à frente dos outros, ao mesmo tempo em que continuava muitas vezes a ignorar até os princípios mais elementares. Logo estava lendo sobre relatividade, e desenvolveu um profundo interesse por criptografia. Costumava fazer buracos numa folha de papel: posta sobre certa página de certo livro, ela revelava uma mensagem. Mas para enviar mensagens codificadas é preciso ter alguém para recebê-las. Aos 15 anos, Turing encontrou esse alguém num garoto mais velho chamado Christopher Morcom, que era reconhecido como o melhor matemático do colégio. O

interesse de ambos pela matemática logo cimentou sua amizade. Para Turing, contudo, aquilo se transformou em algo mais que uma amizade. Ele se apaixonou por Christopher.

Foi uma experiência absolutamente casta, mas absolutamente perturbadora para Turing. Não era capaz de admitir seus sentimentos para ninguém mais, nem Christopher (que ao que tudo indica nunca soube deles). Turing não era capaz de admitir propriamente seus sentimentos nem para si mesmo. Assim como a maioria dos membros de sua classe social nessa época, estava mergulhado em profunda ignorância sobre sexo e emoções ternas. Piadas obscenas e masturbação só exacerbavam essa ignorância. Sherborne, como outras escolas públicas, acreditava firmemente na repressão. Se o sexo fosse ignorado, desapareceria. Na verdade, parte do entusiasmo de Turing por corridas pelos campos era que isso o distraía de idéias de masturbação.

Christopher era um menino louro, de olhos azuis e complexão delicada. Turing identificou no amigo uma inclinação similar a aderir a princípios. (Esses princípios não eram particularmente claros em Turing, estando ligados sobretudo à proteção de seu individualismo inato, mas eram certamente fortes — o bastante para sustentar sua total indiferença por todos os que o cercavam.) Christopher era um caráter norteado por princípios, sem ser puritano. Não se juntava aos outros nas “conversas sujas”, que o próprio Turing achava tão repugnantes.

De vez em quando Christopher se ausentava do colégio e voltava magro, com um aspecto abatido. Turing sabia que a saúde do amigo não era boa, mas não tinha idéia da gravidade da situação. Na verdade, Christopher estava sofrendo de tuberculose bovina. No início de 1931, caiu doente inesperadamente no colégio, foi levado às pressas para um hospital em Londres e morreu alguns dias depois.

Turing ficou arrasado. Christopher era a primeira pessoa a penetrar seu casulo de solidão. Nunca esqueceria seu amor estudantil por Christopher. E a idéia de amor casto e ideal — com freqüência tão necessária naquele tempo em que se podia ser preso

por homossexualidade — iria ampará-lo através de muitos momentos difíceis no futuro.

Turing foi devidamente contemplado com uma bolsa para estudar matemática no King's College, em Cambridge, em cujo curso de graduação ingressou em outubro de 1931. De início, conversava com poucas pessoas e mantinha-se isolado — saboreando a inusitada privacidade de um quarto só seu onde podia estudar em paz. Mas sua gagueira dizia muito, ao mesmo tempo em que sua conturbação psicológica continuava. Turing sofreu sozinho e em silêncio quando veio a compreender sua sexualidade — enquanto outros identificavam nele sarcasticamente os traços reveladores do “veado”. Felizmente logo descobriu que um de seus colegas bolsistas de matemática partilhava suas inclinações e os dois se envolveram numa aventura sexual.

Nos primeiros anos da década de 1930, Cambridge era umas das mais importantes instituições do mundo em matemática e ciências. O físico teórico anglo-suíço Paul Dirac e seus colaboradores haviam alçado a universidade a uma posição em física quântica que só ficava a dever a Göttingen. O King's College gozava de especial privilégio — George Hardy, um dos mais exímios matemáticos de sua época, e Arthur Eddington, cujo trabalho havia confirmado a teoria da relatividade de Einstein, eram ambos professores residentes e deram aulas para Turing.

Mas o interesse mais ardente de Turing se voltava para a lógica matemática. Em 1913 Russell e Whitehead, ambos professores de Cambridge, haviam publicado os *Principia Mathematica*. A obra tentava fornecer um fundamento filosófico para a matemática, provando seu rigor. Russell e Whitehead tentaram mostrar que todo o edifício da matemática podia ser derivado de certos axiomas lógicos fundamentais. (Em certa medida, o oposto do empreendimento de Boole meio século antes.) Russell e Whitehead não tiveram pleno sucesso, uma vez que seu esforço tropeçou em certos impasses lógicos.

Por exemplo, a proposição: “O que estou dizendo é falso.” Se for verdadeira, o que ela diz é falso; se for falsa, o que diz é verdadeiro. No jargão dos lógicos, essa proposição é formalmente

indeterminável. A matemática não podia ser satisfatoriamente baseada em axiomas lógicos até que paradoxos desse tipo fossem solucionados. Muitos, no entanto, eram da opinião de que tais dificuldades eram superficiais. Não afetariam o cerne do projeto: não invalidariam a tentativa de fundar a matemática numa base lógica sólida.

Tudo isso mudou em 1931, quando o *enfant terrible* da lógica, o austríaco Kurt Gödel, publicou seu artigo sobre as proposições formalmente indetermináveis contidas nos *Principia Mathematica*. Nele, propôs sua famosa prova, que, para horror de seus colegas, parecia implicar o fim da matemática.

Gödel tomou a proposição: “Esta afirmação não pode ser provada”, e mostrou ser impossível provar que ela é verdadeira (ou ela leva a uma contradição), e ser igualmente impossível provar que é falsa. Conseguiu demonstrar que dentro de qualquer sistema matemático rigidamente lógico haverá sempre proposições que não podem ser provadas nem refutadas com base nos axiomas sobre os quais esse sistema se assenta. A matemática não era completa! Pior ainda, parecia ser irreparavelmente defeituosa. Pois isso significava que não poderíamos ter certeza de que os axiomas básicos da aritmética não iriam resultar em contradições. A matemática era ilógica. (E, horror dos horrores, a lógica também era ilógica!)

Esses desenvolvimentos tiveram profundo impacto sobre Turing. Profundo demais, talvez. Pois, como de costume, ele estava muito à frente de si mesmo, e negligenciando o básico. Em consequência, obteve apenas honras de segunda classe na primeira parte de seus exames para o bacharelado. Felizmente, nos exames finais fez justiça a si mesmo e foi contemplado com honras de primeira classe — o que significava que podia continuar em Cambridge e fazer pesquisa. Tanto Eddington quanto Hardy não tinham dúvida alguma quanto à sua excepcional capacidade.

Nessa altura, Turing estava adquirindo maior confiança em si. Continuava uma ave solitária, um tanto esquisita; mas agora via poucas razões para ocultar sua homossexualidade. Entre colegas, fazia às vezes uma alusão extemporânea às suas preferências sexuais. Tudo isso era parte de sua natureza rigorosa: insistia em ser

autêntico consigo mesmo, e com os outros. Havia exceções, no entanto. Mamãe não fora informada sobre sua homossexualidade, ou sobre seu recém-descoberto ateísmo.

Turing contornava esse logro com excentricidade característica. Em casa para o Natal, cantava hinos de Páscoa, e na Páscoa cantava hinos de Natal. (Ao que parece, a indeterminabilidade de Gödel tinha também aplicações práticas.) Como Andrew Hodges, o consumado biógrafo de Turing, observa friamente, a família permanecia “o último bastião da impostura”.

Enquanto isso a mãe de Alan continuava a tratá-lo como o patinho feio da família — insistindo em que melhorasse sua aparência, mandando-o cortar o cabelo etc., desde o minuto em que ele entrava em casa na suburbana Guildford. (O exílio fiscal no exterior havia sido abandonado em favor da respeitabilidade dos condados pátrios, agora que a educação dos filhos já fora custeada.)

Embora Turing tivesse sido admitido na pós-graduação do King's College e fosse agora um dos cérebros matemáticos mais promissores da Grã-Bretanha, sua mãe ainda sentia necessidade de fazê-lo passar, de maneira bastante envergonhada, por um garoto que tinha a cabeça irremediavelmente nas nuvens. A aparência infantil de Turing só contribuía para isso. Tanto física quanto mentalmente, ele iria conservar um ar curiosamente juvenil ao longo de toda a sua vida.

A relação de Turing com a mãe continuava estreita. Em suas cartas para casa tentava mantê-la informada até de seu pensamento matemático — mencionando coisas como relatividade e teoria quântica. O quanto a sra. Turing entendia disso permanece em aberto. Era uma mulher inteligente, oriunda de um meio inteligente — mas a religiosidade e a crença inabalável na manutenção das aparências sociais continuavam sendo capitais em sua mente. Ainda via Alan como seu filho recalcitrante. Era típico dele escolher um campo tão desprezível como a matemática para nele brilhar.

E brilhou. Sua dissertação havia lhe assegurado uma bolsa, e agora estava absorvendo os últimos desenvolvimentos transmitidos pelos mais importantes matemáticos e cientistas de seu tempo. Depois que Hitler tomou o poder na Alemanha em 1933, muitos dos

brilhantes exilados alemães passaram por Cambridge, muitas vezes fazendo conferências. Dessa maneira, Turing iria ouvir Schrödinger falando sobre a mecânica quântica, disciplina que ele praticamente inventara. Ouviu também Max Born, recém- chegado de Göttingen, ministrar um curso inteiro sobre mecânica quântica. Um outro exilado de Göttingen, Richard Courant, deu um curso sobre equações diferenciais.

Born e Courant haviam ambos trabalhado com David Hilbert, professor de matemática em Göttingen, considerado um dos maiores matemáticos de seu tempo. Como Russell e Whitehead, também ele tentara provar a matemática em bases formais, construindo-a a partir de alguns axiomas básicos. Destes, por meio de regras bem definidas, seguir-se-iam todas as possibilidades matemáticas.

O “programa Hilbert”, como era conhecido, também foi levado a um impasse pela chamada “catástrofe de Gödel”, que provava que a matemática era logicamente incoerente. No entanto, apesar da sua intenção manifesta, a teoria de Gödel não foi capaz de destruir a matemática. As pessoas continuaram a usá-la mesmo assim — especialmente os matemáticos. Um triângulo ainda continuava sendo um triângulo, as pontes não caíam, e os orçamentos nacionais pareciam fechar (ou não; mas isso não era culpa da matemática). De fato, muitos encaravam a prova de Gödel como mera interferência irrelevante. O que importava na matemática era a verdade, não a coerência. (Mas seriam verdade e incoerência compatíveis?)

Apesar dessa discussão, a teoria de Gödel continuava deixando algumas questões matemáticas irresolvidas. E essas indicavam um caminho para mitigar o estrago. Todos concordavam em que um sistema axiomático como a matemática podia produzir proposições arbitrárias (que não podiam ser provadas nem refutadas). Seria possível, porém, determinar que uma proposição era arbitrária a partir do sistema? Em outras palavras, podia uma dessas proposições arbitrárias ser identificada mediante a aplicação de um conjunto de regras derivadas dos axiomas básicos em que o sistema se fundava? Poderia isso ser determinado por meio de uma série de passos fixos — procedimentos mecânicos tais que pudessem ser

seguidos por qualquer pessoa, ou mesmo por uma máquina? Nesse caso, essas proposições arbitrárias poderiam ser simplesmente identificadas e postas de lado. Poderiam ser ignoradas, sem ter nenhum efeito global sobre o sistema. Se, no entanto, não fosse possível identificá-las desse modo, estava tudo perdido — a matemática se revelaria endemicamente crivada de incoerências.

Esse era o problema que Turing começava agora a tentar resolver. Tratava-se de um empreendimento extremamente ambicioso: qualquer solução para ele seria fundamental para a matemática. Para atacá-lo, Turing criou um conceito que iria ter conseqüências muito além da matemática.

Quais eram os procedimentos (ou regras) mecânicos que poderiam ser usados para se determinar se uma proposição matemática era ou não suscetível de prova? Essas regras diziam respeito ao próprio cerne do cálculo. Que era um número computável e como era calculado? O cálculo era um processo rígido, do tipo que podia ser seguido por uma máquina. Turing se pôs a tentar definir a natureza teórica de tal máquina — hoje conhecida como “máquina de Turing”.

Essa máquina iria operar unicamente segundo regras, e seria capaz de calcular tudo para o que houvesse um algoritmo — isto é, uma seqüência precisa de passos conduzindo a uma conclusão.

Tomemos, por exemplo, o processo de descobrir os fatores de um número (isto é, os números primos pelos quais ele é divisível). Um caso simples: para descobrir os fatores de 180, *divida-o pelo menor número primo pelo qual ele é divisível até que o primo não mais o divida, depois repita esse processo com o primo ascendente seguinte, até que a divisão se complete.* (Números primos são aqueles que só são divisíveis por si mesmo e por um, como 2, 3, 5, 7, 11, 13 ...)

$$180 \div 2 = 90$$

$$90 \div 2 = 45$$

$$45 \div 3 = 15$$

$$15 \div 3 = 5$$

$$5 \div 5 = 1$$

Portanto $180 = 2^2 \times 3^2 \times 5$

O procedimento — ou algoritmo — está em itálico, e pode ser aplicado a qualquer número. Pode ser aplicado de maneira mecânica, isto é, por uma mente mecânica, ou por uma máquina mental.

Era possível fazer uma máquina como essa seguir determinado procedimento, e nesse caso ela iria realizar determinada tarefa segundo as regras nele contidas. Se essas regras fossem para o cálculo de números primos, ela iria calcular números primos. Se fossem regras para jogar xadrez, ela seria capaz de jogar xadrez. Cada máquina iria simplesmente seguir o procedimento especificado para ela.

Em seguida Turing propôs o que chamou de uma máquina “universal”. Esta poderia ser alimentada com um número que codificaria o procedimento de uma outra máquina de Turing qualquer. Ela iria então seguir esse procedimento, e se comportar de maneira indistinguível da máquina de Turing original — jogando xadrez, ou calculando números primos etc.

A partir dessa base (puramente teórica), Turing começou então a demonstrar sua tese. O que Gödel havia demonstrado era lógico. O que ele passava agora a demonstrar tinha uma semelhança com a teoria de Gödel (em suas conclusões), mas era *matemático*.

Turing sugeriu o conceito de uma máquina capaz de identificar proposições arbitrárias num sistema matemático. Essa máquina teórica teria de ser uma máquina de Turing universal. Ela poderia ser alimentada com um número que codificasse a descrição de uma outra máquina de Turing, e comportar-se em seguida de maneira idêntica a esta. Mas e se essa máquina universal hipotética fosse alimentada com o número que codificava *sua própria descrição*? Como iria ela se comportar como si mesma, comportando-se como si mesma, comportando-se como si mesma...? E como poderia seguir o procedimento que a fazia se comportar como si mesma quando já estava se comportando como si mesma?

Evidentemente a máquina enlouqueceria. Em termos teóricos, estaria diante de uma autocontradição. Em outras palavras,

semelhante máquina não podia existir, *nem em teoria*. Isso significava que tal cálculo era simplesmente não computável. Era impossível elaborar um conjunto de regras capaz de resolver se uma proposição era suscetível de prova (ou de refutação) usando unicamente os procedimentos oriundos daquele sistema.

A matemática não era apenas logicamente incompleta, como Gödel havia mostrado, era também matematicamente incompleta. Não havia nenhum meio matemático pelo qual ela pudesse se distinguir de suas próprias proposições arbitrárias. Turing publicou suas conclusões num artigo intitulado "On computable numbers, with an application to the *Entscheidungsproblem*". (Esta última palavra cabeluda designa o problema da determinabilidade tal como formulado por Hilbert.)

Todos os que o compreenderam, pelo menos vagamente, reconheceram que o artigo de Turing era sensacional. (Embora poucos, naquela era pré-computador, tivessem condições de perceber seu caráter revolucionário.) Anteriormente, as noções matemáticas centrais de computabilidade e números computáveis haviam permanecido nebulosas. Agora estavam elucidadas. O cálculo era definido em termos matemáticos precisos — tão precisos que traçavam o projeto teórico de uma máquina que poderia desempenhar a tarefa. Ao mesmo tempo, Turing havia definido os limites de *tudo o que essa máquina poderia fazer*.

A máquina de Turing era um computador teórico. É reconhecida hoje como o protótipo teórico do computador digital eletrônico. Turing havia mapeado a teoria dos computadores antes que um só deles (tal como os conhecemos) tivesse sequer sido construído.

A tarefa que tinha pela frente era óbvia. Mas em 1937, quando seu artigo foi finalmente publicado, ela ainda estava acima da capacidade humana. (Houvera um atraso na publicação porque não se conseguia encontrar ninguém de calibre adequado para avaliar a originalidade do artigo de Turing.) Quando "On computable numbers" apareceu, Turing havia cruzado o Atlântico e estava fazendo o doutorado em Princeton. Ali o prédio do departamento de matemática abrigava também o recém-fundado Instituto de Estudos Avançados. (Esse centro para a pesquisa científica teórica havia sido

criado em 1933, e estava se tornando rapidamente o melhor do gênero no mundo. Mas, assim como vários de seus notáveis membros alemães-judeus, ainda estava sem casa própria nessa época.) Turing viu-se então entre os deuses. Einstein e Gödel eram membros residentes, bem como Courant e Hardy. A maioria deles permaneceu distante, mal tomando conhecimento do jovem inglês — o qual confidenciou à sua mãe que estava vivendo nesse tempo a vida de um “solitário inveterado”.

Não deixou, contudo, de fazer contato com um dos habitantes do Olimpo: o matemático austrohúngaro von Neumann. Longe de ser um solitário desmazelado (como Einstein, Gödel, Turing e companhia), “Johnny” von Neumann era o vienense sofisticado até a medula, capaz de produzir num piscar de olhos fórmulas sensacionais, de tirar o fôlego, em matéria tanto de matemática quanto de coquetéis. Mas foi só Neumann que reconheceu plenamente a façanha de Turing. Compreendeu que o jovem inglês havia de fato criado um ramo do conhecimento inteiramente novo. (Turing o havia chamado de “computabilidade”, à falta de palavra melhor: a matéria era tão nova que ainda não tinha nome.) Foi von Neumann quem se deu conta das possibilidades práticas dessa disciplina. Compreendeu que o passo seguinte seria construir uma máquina de Turing.

Nesse meio tempo Turing continuava seus estudos para o doutorado, que estavam relacionados com outro dos “problemas” de Hilbert. Em 1900 Hilbert havia delineado 23 importantes problemas para os matemáticos do século xx resolverem, acrescentando, com o positivismo típico da virada do século: “Todos os problemas matemáticos têm solução.” Turing já provara que ele estava errado, mas havia decidido agora fazer um esforço resolutivo para solucionar um problema relacionado com a hipótese de Riemann, que Hilbert qualificara de “a mais importante na matemática”. Hardy já vinha se engalfinhando com esse problema de maneira intermitente havia 30 anos, mas em vão.

Em palavras simples, o problema de Turing relacionado a isso dizia respeito à frequência dos números primos. No início da década de 1790, o menino prodígio alemão Karl Gauss — considerado por

alguns como o único matemático a se equiparar a Newton —, que contava então 15 anos, havia descoberto que os números primos pareciam se tornar menos freqüentes de acordo com um padrão regular. Para o número n , o espaço entre os primos crescia como o logaritmo natural de n . Verificou-se que isso resultava em erros marginais. Bernhard Riemann, sucessor de Gauss como professor de matemática em Göttingen, introduziu aí um aperfeiçoamento que envolvia a imensamente complexa hipótese de Riemann. E mesmo a fórmula de Riemann não era precisamente correta.

Descobriu-se que o método logarítmico produzia uma ligeira superestimação do número de primos, e depois que milhões de cálculos confirmaram isso com números cada vez mais elevados, presumiu-se que isso ocorria sempre. Mais tarde, um dos colaboradores de Hardy, J.E. Littlewood, descobriu que, se a hipótese de Riemann fosse verdadeira, isso não ocorreria sempre. Uma transição, produzindo subestimações, ocorria em algum ponto antes do número

$$10^{10^{10^{34}}}$$

Esse número é inconcebivelmente grande. Como Hardy assinalou, é “o maior número que jamais serviu para algum propósito definido na matemática”. Mesmo $10^{10^{10^{34}}}$ escrito em números inteiros decimais encheria livros formando uma massa maior que a do planeta Júpiter, segundo Hodges, o biógrafo de Turing.

Os problemas envolvidos aqui eram centrais para a teoria dos números. Turing enfrentou virilmente esses exercícios mentais de levantamento de peso, mas com pouco resultado. (A hipótese de Riemann, por exemplo, não foi provada até hoje.)

Os Estados Unidos pareceram a Turing um país agradável por um lado e perturbador por outro. Estava trabalhando em excesso, passando tempo demais sozinho, e começou a sofrer de acessos de depressão. Um incidente embaraçoso envolvendo uma investida homossexual imprudente não contribuiu para melhorar a situação. Numa carta para seu namorado de Cambridge (que agora trabalhava como professor primário em Walsall), ele mencionou, da maneira

extemporânea que lhe era típica, que havia arquitetado um método de cometer o suicídio comendo uma maçã letal.

Depois de dois anos nos Estados Unidos, Turing viajou de volta para a Grã-Bretanha, tendo recusado a proposta que lhe fez von Neumann para trabalhar com ele no Instituto de Estudos Avançados. Sua bolsa no King's College foi renovada e ele retornou à sua vida normal em Cambridge. Escreveu para casa, pedido à mãe que lhe mandasse seu ursinho de pelúcia e assistiu avidamente à estréia de *Branca de Neve e os sete anões* no cinema local. Ficou particularmente impressionado com a cena em que a Bruxa Malvada mergulha uma maçã pendurada num cordão no veneno efervescente, e mais tarde pegou o costume de repetir o canto da bruxa:

“Mergulhe a maçã na infusão
Deixe o sono da morte penetrá-la.”

Os que o ouviam cantando isso nem por sombra imaginavam que recentemente ele havia cogitado o suicídio usando uma maçã. Sua orientação sexual o havia habituado a viver uma mentira, mas ele não era capaz de resistir a uma franqueza oblíqua como essa. (Enquanto a homossexualidade continuava ilegal, a dissimulação era vital — apesar da franqueza que ele exibia entre alguns colegas de Cambridge.) As pessoas continuavam achando difícil conhecer Turing; seu caráter era considerado, mesmo nessa altura, um enigma. No entanto *havia* uma chave, para quem se desse ao trabalho de procurá-la. Lamentavelmente, desse ponto em diante iria se tornar cada vez mais difícil saber onde procurar essa chave.

Assim, Turing continuava a manter sua posição arbitrária no sistema — na verdade, fazia questão disso. Não podia ser condenado (pesquisador do King's College, matemático brilhante) e, ao mesmo tempo, não podia ser aprovado (por sua mãe, ou em razão de sua homossexualidade ilegal).

Foi por volta dessa época que ele conheceu o filósofo austríaco Ludwig Wittgenstein e começou a assistir às suas palestras.

Wittgenstein falava para um seleto grupo de privilegiados, de quem esperava que permanecessem sentados em espreguiçadeiras na sua sala nua e o ouvissem enquanto ele se punha a “pensar” alto. Muitas vezes isso envolvia longos períodos de aflitivo silêncio, até que surgia uma pergunta — submetendo depois a um feroz interrogatório quem quer que tivesse tido a temeridade de tentar respondê-la.

Wittgenstein estava falando sobre os fundamentos da matemática, mas de um ponto de vista filosófico. Estava tentando formular a natureza precisa da matemática, formular o que ela era exatamente — e não como operava. Turing não tinha a competência filosófica de Wittgenstein (não havia outra criatura viva dotada dessa força apavorante), mas era um matemático melhor. E, tal como via as coisas, o que a matemática era e o que ela fazia eram coisas inextricáveis. Recusou-se a se deixar intimidar pelas investidas assoberbantes de Wittgenstein.

Em certa altura, Wittgenstein propôs que um sistema como a matemática ou a lógica poderia continuar válido mesmo que contivesse uma contradição. O próprio Turing havia provado que a matemática continha incoerências — mas isso não era exatamente o mesmo que conter contradições. Ele explicou a Wittgenstein que, se alguém tentasse construir uma ponte com matemática que contivesse contradição, a ponte cairia. Wittgenstein insistiu por uma outra via: a natureza da matemática e a aplicação dela eram matérias distintas. Mas o artigo de Turing, “On computable numbers” já havia demonstrado o quanto o vínculo entre matemática pura e aplicada era profundo. Ele havia resolvido um problema teórico fundamental da matemática ao propor uma “máquina” — a qual, embora teórica, não deixava de ser uma máquina, um aparelho prático que em princípio podia ser construído.

É interessante notar que a demonstração feita por Turing de que qualquer sistema (com a matemática ou a lógica) continha proposições indetermináveis invalidava também a filosofia inicial de Wittgenstein. Nela, ele havia sustentado que todo problema, desde que expresso de maneira lógica apropriada, poderia sempre ser resolvido.

Turing iria agora ingressar com força total no reino da matemática aplicada. Em 1939 eclodiu a guerra contra a Alemanha nazista e ele foi designado para missões de informação secreta. Enviaram-no para o comando de uma equipe de decifração de códigos nas instalações do serviço de espionagem situadas em Bletchley Park, cem quilômetros ao norte de Londres. Tratava-se de um projeto ultra-secreto, submetido à mais estrita vigilância militar.

À primeira vista, Turing dava a impressão de ter dormido mal. O cabelo era desgrenhado, as unhas enfarruscadas, as calças seguras por uma velha gravata escolar, e ele desistira de fazer a barba com regularidade. (Quando se cortava com seu aparelho de barbear, o que não era raro, a visão do sangue o fazia desmaiar.) Nessa época a voz dele se desenvolvera numa curiosa gagueira de classe alta, muito aguda, ocasionalmente interrompida por uma desconcertante risada nervosa (que, segundo consta, parecia o zurro irritante de um asno). Quando perdido em pensamentos — um estado freqüente —, era propenso a acompanhar suas intensas operações mentais com zurros e ganidos igualmente intensos.

A conduta social de Turing era igualmente desconcertante. Simplesmente ignorava as pessoas cujo intelecto não valorizava — o que, obviamente, incluía todo o pessoal militar que ali estava para dirigir o estabelecimento. Para piorar as coisas, tendia a trabalhar em longas arrancadas que duravam dias e noites a fio — depois do que o oficial da inspeção topava com ele jogando xadrez com o *office-boy* ou esticado em cima da sua escrivaninha para uma longa sesta vespertina.

Turing era simplesmente refratário à disciplina militar. Pior ainda, não parecia levar a sério o que estava fazendo. E o que estava fazendo, ou *devia* estar (como o oficial comandante iria adverti-lo enfaticamente) era realmente muito sério.

De fato, era muito mais sério do que os próprios militares supunham. Os esforços de Turing, e das equipes cada vez mais numerosas de especialistas em informação de primeiro naipe que trabalharam em Bletchley, quase certamente alteraram o curso da guerra.

A história de Bletchley começou em 1938, quando um jovem engenheiro polonês chamado Robert Lewinski apareceu na embaixada britânica em Varsóvia. Ele afirmava ter trabalhado numa fábrica na Alemanha em que estavam construindo máquinas que sinalizavam códigos. Lewinski havia conseguido gravar na memória os detalhes dessa máquina. Logo ele foi mandado clandestinamente da Polônia para Paris, onde supervisionou a construção de uma máquina. Os britânicos tinham ouvido falar desses instrumentos, que eram conhecidos como "Enigma", e eram usados pelo comando alemão para enviar ordens codificadas para suas forças no campo. Comandantes de submarinos alemães também podiam usá-los para identificar sua posição, o que permitia que, em resposta, fossem enviados para os comboios inimigos mais próximos que tivessem sido avistados.

A operação do Enigma era espantosamente simples, seu sistema de codificação, no entanto, parecia ser praticamente indecifrável. Basicamente, o sistema consistia de duas máquinas. A máquina emissora era fixada numa chave, e a mensagem não codificada era introduzida nela por simples datilografia. A mensagem era automaticamente embaralhada por três (ou mais) braços rotores elétricos, que eram ajustados de acordo com a chave, e em seguida transmitida. Na outra ponta, a máquina Enigma receptora estava fixada segundo a mesma chave, e a mensagem podia então ser desembaralhada e impressa sob forma decodificada. Os rotores, que giravam de maneira independente, permitiam literalmente bilhões de permutações, de modo que qualquer inimigo que detectasse a transmissão embaralhada via-se diante de uma tarefa aparentemente impossível se quisesse decifrar o código. Milhares de mensagens eram enviadas a cada 24 horas, e a chave era alterada três vezes por dia. Os alemães estavam, com razão, convencidos de que seu sistema de comunicação tinha um código indecifrável.

Graças a Lewinski, os dirigentes do serviço britânico de informação em Bletchley sabiam agora exatamente como uma máquina Enigma era construída, e como funcionava. Mas isso não era o bastante. Longe disso. As complexidades geradas pela Enigma eram medonhas. Depois que cada letra era teclada na datilografia de

uma mensagem, os rotores giravam mais uma vez. Assim, ainda que a mesma letra fosse teclada várias vezes seguidas, isso iria quase invariavelmente produzir letras diferentes na versão embaralhada. Para decifrar o código era preciso conhecer a chave em que a máquina fora fixada: somente isso determinava a posição inicial dos rotores. E esta podia ser qualquer uma de um milhão de possibilidades ao cubo (10^{18}) quando apenas três rotores estavam sendo usados. (Mensagens ultra-secretas da Luftwaffe, a força aérea alemã, eram enviadas através de máquinas Enigma com *dez* braços rotores.)

Turing e sua equipe (que logo passou a incluir muitos dos mais brilhantes cérebros matemáticos do país) estavam diante de uma tarefa colossal. Precisavam revirar uma miríade de mensagens codificadas, à cata de quaisquer combinações, padrões ou possibilidades que pudessem de algum modo significar alguma coisa, e a partir disso tentar fazer o caminho de volta até a fixação da chave.

Turing avaliou a situação de imediato, com verve característica. Em teoria, pelo menos, o problema era bastante simples. Era uma tarefa para uma máquina de Turing. A máquina que ele descrevera em seu artigo "On computable numbers" não era inteiramente teórica. Ele imaginara uma máquina em que as instruções eram introduzidas por meio de uma fita de papel. A fita era dividida em quadrados, os quais a máquina lia um de cada vez. Qualquer problema podia ser reduzido, em sua forma mais simples, a uma série de instruções em dígitos binários (*bits*). Como Turing conjecturou corretamente, o problema apresentado pela Enigma nada tinha de um problema arbitrário. Isso significava que era solúvel — o que por sua vez significava que, se as instruções corretas fossem introduzidas numa máquina de Turing, ela seria capaz de produzir a resposta. Tudo isso na teoria, a prática era coisa completamente diferente.

Turing e sua equipe puseram-se a construir uma máquina eletromagnética que pudesse ser instruída a percorrer em alta velocidade as mensagens Enigma embaralhadas, procurando

quaisquer regularidades, traços recorrentes ou combinações que pudessem ser passíveis de decifração. (Por vezes, em decorrência da ação inimiga, eles poderiam ser capazes de descobrir a chave de alguma mensagem anterior. Isso proporcionaria uma compreensão adicional do modo como Enigma trabalhava, mas produziria somente uma chave *obsoleta*.) A máquina de decodificação de Turing era conhecida como Colossus, e as dificuldades eram tais que foi preciso construir nada menos que dez versões dela em Bletchley.

A primeira Colossus começou a operar em dezembro de 1943. Detalhes dessa máquina continuam vagos em razão do obsessivo apego ao sigilo do governo e dos militares britânicos. (Até recentemente, alguns códigos usados nas Guerras Napoleônicas continuavam listados como informação sigilosa.) A Colossus parece ter usado 2.400 tubos de vácuo que computavam em números binários. Não tinha um programa armazenado em si, embora executasse funções semelhantes às de um computador. Diante disso, pode-se dizer que a máquina de Turing era realmente uma máquina de Turing? Até hoje se discute isso. A Colossus é agora amplamente considerada, no entanto, o precursor do computador digital eletromagnético.

Fosse o que fosse, a Colossus marcou um avanço gigantesco em matéria de tecnologia. O poder combinado de seus cinco processadores era capaz de escanear 25.000 caracteres por segundo. Mas mesmo isso não era o bastante. Os submarinos alemães estavam agora afundando navios das frotas aliadas que cruzavam o Atlântico numa taxa alarmante. No entanto, nada se podia fazer: continuavam sendo necessários vários dias para decodificar mensagens Enigma enviadas para os submarinos e por eles emitidas. Trabalhando-se dia e noite, conseguiu-se reduzir gradualmente esse período. Em determinado momento, as reservas de alimentos da Grã-Bretanha eram suficientes para durar apenas uma semana. Por fim, a Colossus e a equipe de Bletchley passaram a conseguir decifrar códigos em horas, depois em minutos. Num último estágio, tornou-se possível apontar com precisão a posição de cada submarino alemão no Atlântico, e a perda de navios nas frotas aliadas decresceu espetacularmente.

Os alemães começam a desconfiar de imediato. Apesar disso, continuaram convencidos de que o código Enigma era inviolável. Parecia-lhes óbvio que os britânicos estavam recebendo informação de uma rede de espiões bem situados. Não havia nenhuma necessidade de inventar uma máquina codificadora aperfeiçoada; simplesmente ordenou-se à Gestapo que interviesse e começasse a prender.

Nesse meio tempo, Turing mantinha sua aparência de costume, arrumando-se ocasionalmente para uma visita à mãe (que se sentiu profundamente desapontada ao constatar que as missões bélicas do filho não envolviam um corte de cabelo militar). O aspecto de Turing era provavelmente indicativo de suas profundas incertezas psicológicas. Ele mantinha o hábito de fazer observações abertamente homossexuais diante dos colegas (embora não fosse além disso); ao mesmo tempo, porém, ficou noivo de uma das criptoanalistas de Bletchley (ela lhe ensinou a tricotar luvas). O noivado durou seis meses, antes que Turing se visse forçado a encarar a frivolidade daquilo.

Um período de relativa elegância foi então seguido por nova temporada de "indiferença" com sua apresentação. No entanto, apesar da aparência desleixada e de duras e exaustivas horas de trabalho, Turing mantinha-se em excepcional forma física. Várias vezes por semana empreendia longas corridas, atravessando matas e campos. Moradores espantados espiavam quando ele arrancava de passagem um tufo de capim e continuava sua corrida, mascando-o. Essa era a maneira que Turing encontrava para suprir as deficiências de vitamina na dieta dos tempos de guerra. (Anteriormente, sempre comia uma maçã na cama antes de dormir.)

Essa tendência à auto-suficiência idiossincrática se estendia aos campos mais inesperados. Por ocasião da deflagração da guerra, Turing estivera convencido de que a Grã-Bretanha seria invadida. Tinha convertido suas economias em barras de prata, e as enterrara secretamente na mata perto de Bletchley Park. Na ocasião, havia codificado a localização e memorizado o código. (Lamentavelmente, esse foi o único código que realmente o *derrotou*. Terminada a guerra, não conseguiu lembrá-lo, e jamais pôde recuperar suas

barras de prata — apesar de ter conduzido várias “caças ao tesouro” exaustivas e de ter chegado até a inventar seu próprio detector de metais.)

O trabalho de decodificação realizado em Bletchley abrangia mais que a mera localização de submarinos. Logo quase todas as comunicações alemãs eram um livro aberto. Esse trabalho foi de tal modo importante que em determinada etapa Turing cruzou o Atlântico para fazer contatos com os americanos. Durante a viagem encontrou-se com von Neumann, que também tinha começado a pôr em prática as idéias de “On computable numbers”. No departamento de engenharia da Universidade da Pensilvânia, os americanos tinham começado a trabalhar no ENIAC (Eletronic Numerical Integrator and Calculator). Este era ainda mais colossal que a Colossus, incorporando 19.000 válvulas. Mas o ENIAC só ficaria pronto e em funcionamento depois da guerra. (Sem que os aliados soubessem, os alemães também estavam trabalhando nesse campo. Em 1943 Konrad Zuse havia produzido a primeira calculadora para múltiplos fins controlada por programa. Ela foi usada para análise na produção de bombas voadoras, mas o laboratório subterrâneo de Zuse em Berlim foi bombardeado um ano depois.)

Quando a guerra terminou Turing estava trabalhando em Hanslope Park, na mesma estrada em que se erguia o Bletchley, um pouco adiante, num projeto de codificação da fala chamado Delilah (em alusão à figura bíblica de Dalila, cuja voz enganosa tinha sido a desgraça de Sansão). Nessa altura o trabalho de Turing com a Colossus havia aprofundado consideravelmente sua compreensão de mecanismos eletrônicos. Ele havia começado a refletir sobre o problema de como fazer máquinas imitarem a mente humana.

Em 1945 Turing ingressou no recém-fundado National Physical Laboratory, em Teddington, vizinho a Londres. Ali encabeçou um projeto para a construção de uma máquina automática de computação (conhecida como ACE, de *automatic computing engine*). Turing começou a montar um projeto de computador eletrônico digital com programa armazenado. A ACE beneficiou-se enormemente da experiência que ele acumulara na construção da Colossus e no trabalho com ela, mas suas idéias mais fortes continuavam sendo as

teóricas. Tal como a máquina universal que Turing propusera em “On computable numbers”, a ACE deveria se conformar a um “projeto lógico” global, incorporando muitos procedimentos lógicos complexos. Infelizmente, estes ocasionaram várias dificuldades de engenharia, que tinham pouco interesse para Turing. Seu projeto estava muito à frente de seu tempo — era muito superior à ENIAC (a primeira das chamadas “máquinas de von Neumann”), que estava agora quase pronta nos Estados Unidos, e mais avançado que outros projetos em andamento na Inglaterra. Mas a ACE enfrentou mais do que dificuldades de engenharia. É muito provável que tenha sido tolhida pela escassez de verbas, e pela política científica.

Em contraste com o que ocorre em outros campos do empreendimento científico, a política científica prospera com a falta de verbas. Em meio às agruras do pós-guerra, a política científica da Grã-Bretanha (onde até o pão era racionado) conseguiu realizar uma proeza histórica de máxima importância — ingressar na idade bizantina. Essas complexidades sutis estavam muito além do alcance de um mero bruxo matemático como Turing. Nunca tendo sido um diplomata no melhor dos tempos, não tardou a ver recusadas as verbas que pleiteava.

A explicação que geralmente se dá para isso é que Turing era uma personalidade desagradável, e sua aparência de garoto desleixado fazia com que as pessoas não o levassem a sério. (Quando comparecia a uma reunião externa em algum departamento do Whitehall, preferia correr 15 quilômetros ou coisa parecida através de Londres a usar o transporte público. Qualquer pessoa que tenha assistido ao final de uma maratona será capaz de visualizar o impacto da chegada de Turing num comitê de funcionários públicos.) Mas a deficiência de Turing no campo das relações públicas — para não usar um rótulo menos caridoso — não esgotava a história. Ele tinha a melhor máquina, mas outros maquinavam melhor.

Em 1947 Turing pôde perceber que não estava indo a parte alguma. A versão oficial é que nessa época ele se demitiu do National Physical Laboratory, deixando para os outros o encargo de concluir o projeto ACE. Não fica claro se ele saltou fora ou foi empurrado.

Ironicamente, isso foi o melhor que podia lhe ter acontecido. Voltou para Cambridge, onde iniciou imediatamente um trabalho revolucionário na teoria do computador. Apesar de seu envolvimento com a Colossus, de ter estabelecido os fundamentos para a ACE (que acabou sendo construída e se provou bem-sucedida) e de seu futuro envolvimento com o desenvolvimento do computador, é sobretudo por seu trabalho teórico que Turing é lembrado.

Como vimos, desde o início ele havia visualizado a máquina de Turing empreendendo funções realizadas pela mente humana. Mas seria uma máquina capaz de se tornar equivalente à mente humana? Desta vez Turing propôs e analisou o conceito de “mecanismos inteligentes”. Objeções morais, humanas e religiosas foram descartadas com tato característico: “Sendo puramente emocionais [elas] não precisam realmente ser refutadas.” Objeções científicas e filosóficas eram mais sérias. Uma máquina capaz de inteligência implicava uma abordagem mecanicista da inteligência, o que por sua vez implicava determinismo. A inteligência humana, por outro lado, parecia incluir um elemento de livre-arbítrio.

O debate cansativo e vão em torno de livre-arbítrio e do determinismo é irrelevante aqui. A idéia central de Turing era que a mente humana, vista de fora, *parece* ter livre arbítrio. *Comporta-se* como se tivesse.

Portanto as operações da inteligência não são meramente mecânicas; no entanto Turing estava sugerindo que elas podiam ser executadas por uma máquina. Estava certamente sendo ilógico aqui, não? No sentido verbal, talvez. Mas sua experiência — no trabalho com Colossus e Delilah durante a guerra — lhe ensinara coisa diferente. Aquelas duas máquinas eram absolutamente determinísticas, no entanto verificara-se que eram também capazes de exibir comportamento aleatório. (Não era à toa que a Colossus havia exigido uma equipe de dúzias de “zeladores” para mantê-la nos trilhos.)

Num nível, essas máquinas computadoras primitivas haviam sido completamente determinísticas. Em outro nível, contudo, haviam exibido comportamento inquestionavelmente aleatório, que parecia

imitar o livre-arbítrio. Havia uma fenda na armadura: uma fenda minúscula, mas real.

A idéia central proposta por Turing era que máquinas podiam aprender. Desse modo, podiam ampliar suas operações além do meramente mecânico. Uma máquina podia ser ensinada a aperfeiçoar o próprio comportamento até o nível em que exibiria “inteligência”.

Com isso Turing superou uma outra objeção potencial, que poderia ter limitado sua tese: uma máquina poderia exibir inteligência, mas esta seria apenas um reflexo da inteligência de seu criador. Turing discordava. Usou a analogia de um professor e um aluno. O aluno podia eclipsar o mestre, desenvolvendo uma inteligência qualitativamente superior, usando somente a informação programada para ele por seu mestre. Turing levou o raciocínio à frente. Era possível produzir uma máquina que jogasse xadrez (seguindo as regras que nela tivessem sido introduzidas). Mas “o jogo contra uma dessas máquinas proporciona a clara sensação de que se está numa queda de braço contra uma coisa viva”. Porque o computador podia aprender, seu comportamento transcendia o determinismo mecanicista e exibia um elemento de liberdade que parecia semelhante ao de uma inteligência viva (não necessariamente humana).

Turing estava fazendo perguntas que haviam sido formuladas desde as origens da filosofia. Que significa ser humano? Que é precisamente inteligência humana? Mas estava abordando essas questões de um ponto de vista original. Seria possível para uma máquina adquirir essas qualidades? Como sabemos que uma inteligência é humana ou maquinal?

Turing estava pensando num nível que transcendia a matemática, os números computáveis ou mesmo os computadores. Na verdade, ele se envolveu tanto em seus próprios processos de pensamento que começou a olhar o mundo como se ele, Turing, fosse um computador também. A mecânica do computador tornou-se o meio de seu pensamento — enquanto ele explorava as possibilidades do pensamento. Que é inteligência?

Numa certa medida, essa identificação com uma máquina logo começou a permear toda a sua vida. Ver a si mesmo como uma máquina lhe proporcionava um grande refrigério psicológico em face da contínua agitação de sua vida interna.

A volta de Turing para Cambridge foi a melhor coisa que podia ter acontecido tanto para seu trabalho quanto para sua vida. Durante vários períodos da vida dele essas duas categorias permaneceram indistinguíveis. Neste isso não aconteceu. Turing podia estar psicologicamente identificado com um computador, mas com certeza isso não se revelava em seu comportamento.

Tinha agora 35 anos, embora ainda parecesse ter cerca de dez anos menos. Tinha aposentos no King's College, onde seu intelecto era reconhecido (pelos poucos que o entendiam) como dos mais brilhantes de Cambridge. Lamentavelmente, seu comportamento estava numa categoria muito inferior. Começou a fazer ponto na praça da universidade, convidando rapazes para subir e tomar chá em seu apartamento. À noite, fazia visitas inesperadas aos quartos de outros rapazes. Nas palavras dele: "Às vezes você está sentado conversando com alguém e sabe que dentro de três quartos de hora estará tendo uma noite maravilhosa ou sendo expulso da sala." A identificação com um computador parece tê-lo liberado de quaisquer apreensões inibidoras com relação à sua sexualidade.

Turing deve ter sido uma carga perigosa nessa época. Mas felizmente para todos os interessados, ela não iria durar. Antes que as autoridades da universidade considerassem que seu comportamento havia ultrapassado os limites aceitáveis da excentricidade, ele encontrou um namorado regular. Era Neville Johnson, que ganhara uma bolsa da Sunderland Grammar School, e estava agora no terceiro ano de seus estudos de matemática. Neville havia prestado dois de seus anos de serviço no exército e Turing sentia-se atraído pelas maneiras desabridas desse nativo de Newcastle. Neville Johnson parece ter sido uma das pouquíssimas pessoas que penetraram a carapaça de Turing, as defesas que erguera contra o mundo. Um dia, quando estavam deitados lado a lado, Turing lhe confessou: "Tenho mais contato com esta cama do que com qualquer outra pessoa." Mas, apesar de sua profunda

afeição por Neville, Turing continuava a perambular pela praça. Naquela altura a submissão completa ao amor lhe era provavelmente impossível. Um computador tinha a sua inteligência — se podia ter emoções continuava sendo uma questão teórica.

Enquanto isso, grandes avanços estavam sendo feitos no campo prático. Uma máquina de computar conhecida como EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Computer) estava de fato sendo montada em Cambridge, mas surpreendentemente Turing optou por evitar contato com a equipe responsável. Em vez disso, depois de um ano em Cambridge ele assumiu o cargo de vice-diretor do laboratório de computação da Universidade de Manchester. Ali eles estavam construindo a Manchester Automatic Digital Machine (popularmente conhecida como MADAM).

MADAM foi o primeiro computador eletrônico com programa armazenado a funcionar. Entrou em ação no dia 21 de junho de 1948, usando seu primeiro programa armazenado — para decompor um número em seus fatores primos constituintes (por exemplo, $4620 = 2^2, 3, 5, 7, 11$).

A MADAM preenchia as especificações teóricas de uma máquina de Turing (tal como descritas em “On computable numbers”), embora não tivesse sido construída de acordo com o projeto de Turing. Isso não o impediu de participar entusiasticamente da expansão das faculdades originais da máquina. Projetou circuitos para seu *hardware de input e output* e chegou até a conseguir de Bletchley a teleimpressão de uma máquina codificadora alemã. Logo estava despendendo longas e árduas horas de análise matemática, para muitas vezes resolver problemas graças a típicos lampejos intuitivos.

O trabalho com a MADAM não envolvia só intelecto e engenharia. Operar aquela máquina monstruosa em permanente expansão era uma tarefa hercúlea. Segundo o assistente de Turing: “Começando na sala da máquina, alertávamos o engenheiro e em seguida usávamos os comutadores manuais para chamar e introduzir o programa de *input* ... Feito isso, corríamos para o andar de cima, púnhamos a fita no leitor e depois voltávamos para a sala da máquina.” Se a máquina começasse a ler a fita e a seguir as

instruções corretamente, o operador chamava o engenheiro para que ele ligasse a corrente que ativava a função de escrever. “Assim que o padrão no monitor mostrava que o *input* havia terminado o engenheiro desligava a corrente de escrever ... em geral eram necessárias muitas tentativas para introduzir uma fita — cada tentativa exigindo mais uma viagem à sala da fita.” Sorte de Turing ter se mantido em forma.

Apesar dessas dificuldades atléticas, MADAM logo foi capaz de empreender tarefas mais complexas. Seus tubos eram capazes de armazenar até 128 palavras (grupos de dígitos binários contendo instruções que o computador podia usar) de 40 *bits*. Esse foi não só o primeiro computador operante como pode ser considerado o primeiro a servir a uma finalidade construtiva de grande porte. Algum tempo depois seria usado para o cálculo do projeto do St. Lawrence Seaway, uma das grandes maravilhas da engenharia do século XX.

As primeiras tarefas da MADAM, porém, foram um tanto menos construtivas. Turing estava mais interessado em ensiná-la a jogar xadrez e dedicou muitas horas felizes a esse trabalho, procurando maneiras de aperfeiçoar a estratégia de jogo da máquina. Outros membros da equipe não ficavam assim tão contentes ao ver seu vice-diretor e MADAM engalfinhando-se num combate intelectual, e acharam menos graça ainda de sua aventura seguinte. Turing programou MADAM para compor uma carta de amor. Esse foi com certeza um feito inédito, e produziu uma missiva típica da paixão desajeitada de alguém que não está habituado a expressar emoções desse tipo:

Meu Benzinho Querido,

Você é meu ávido envolvimento. Minha afeição se prende curiosamente a seu desejo apaixonado.

Meu gostar anseia por seu coração. Você é minha sôfrega simpatia: meu terno bem-querer.

Seu lindamente,

MUC

Nesse caso MADAM preferiu assinar-se Manchester University Computer (MUC) — escolha cujas associações teriam provavelmente interessado Freud.

As atividades de Turing aqui são de igual interesse psicológico. Não havia amado propriamente desde sua paixão escolar por Christopher Morcom. A morte prematura de Christopher certamente tinha um papel em sua incapacidade de se entregar de maneira completa e duradoura a qualquer outra pessoa — embora o mero perigo que cercava o amor homossexual nessa época não deva ser subestimado como um fator neste caso. Fosse como fosse, Turing tinha consciência de sua deficiência e sofria com ela. (A franqueza com que admitiu para Neville seu modo de recordar o passado — “penso na pessoa que eu estava *amando* na época” — vem no mínimo reforçar esta idéia. Esses casos amorosos davam em nada ou culminavam numa breve e insatisfatória conflagração.)

À luz de sua identificação com um computador, o projeto de Turing de programar MADAM para escrever cartas de amor assume uma pungência particular. Não era algo inconsciente. Turing sabia o que estava fazendo, ainda que os outros não soubessem. Nessa altura, vinha sendo fragorosamente, ainda que extemporaneamente, franco com relação às suas preferências homossexuais; por isso mesmo, contudo, seus colegas continuavam ignorando sua agonia secreta. Podia ter resolvido o problema do Enigma, mas não era capaz de resolver o problema do seu próprio enigma.

As questões provocativas que Turing propôs (e com que muitas vezes se identificou) estabeleceram os fundamentos de todo esse campo. Eram questões profundamente filosóficas, sem ser confusas — e ao mesmo tempo permaneciam rigorosamente científicas, sem produzir os meros “milagres” isolados em que a ciência experimental pode degenerar tão facilmente. Como a filosofia, mas em contraste com tão grande parte da ciência contemporânea, ali estava um campo de conhecimento pelo qual se podia viver: ele lançava luz sobre a condição humana.

Turing expôs suas idéias em alguns artigos, dos quais o mais importante foi “Computing machinery and intelligence”, publicado em 1950. Nele, insistiu em que os computadores podiam ser

ensinados a pensar por si mesmos: eram capazes de pensamento original. A oposição generalizada a essa idéia foi por ele reveladoramente rotulada de "sentimental". Para que procedimentos de um computador pudessem ser levados a se assemelhar com os caprichos da inteligência humana, Turing sugeriu a incorporação nele de um elemento aleatório, como uma roleta.

Muitas objeções filosóficas, no entanto, eram vistas como tediosas e vãs. Ele não tinha nenhum desejo de ver o problema do computador atolado em meio a questões acerca de livre-arbítrio, ética, a definição da vida e assim por diante. Assim, contornou brilhantemente tais temas. Havia uma maneira de determinar se uma máquina era inteligente ou não: pô-la atrás de um biombo e deixar que um ser humano a interrogasse. O ser humano podia então decidir, com base em respostas escritas, se estava lidando com um ser inteligente ou com uma mera máquina. Seria uma máquina capaz de enganar um ser humano, levando-o a julgá-la humana? Esse foi o "jogo de imitação" proposto por Turing (hoje conhecido como o "teste de Turing").

Turing mostrou como um interrogador habilidoso poderia investigar a máquina, evocando decisões e julgamentos sutis, e possivelmente até respostas emocionais. Ou assim pareceria, à leitura das respostas impressas. Mas Turing não evitou as objeções filosóficas por completo (simplesmente contornou aquelas tediosas e improdutivas). Seu próprio raciocínio filosófico era quase incontestável. Ele insistiu em que o "jogo da imitação" devia ser aceito como critério básico. Por quê? Porque é assim que nós reagimos *uns aos outros*. Não dispomos de nenhum meio imediato para verificar se uma outra pessoa possui inteligência ou não. Só podemos inferir que elas são seres pensantes e conscientes comparando-as com nós mesmos. Turing não via razão para que nossa atitude com relação a computadores não devesse ser a mesma. "Por que eu deveria ser considerado de maneira diferente de um computador?", perguntou. (O fato de esta pergunta ter sido formulada por um homem que de fato se encarava como um computador suscita algumas questões intrigantes. Há algum ser humano por aí me ouvindo?)

Adotando magnanimamente o ponto de vista humano, Turing chegou mesmo a sugerir algumas objeções a seu próprio raciocínio. A mais séria delas é hoje conhecida como a “objeção de Lady Lovelace” — em homenagem à colega de Babbage, que foi a primeira a expressá-la. Lady Lovelace estava convencida de que os computadores eram incapazes de pensamento original porque só podiam fazer o que lhes mandavam. Em outras palavras, só poderiam operar dentro dos limites em que os programamos.

A resposta de Turing a isso foi tão calculada quanto a de qualquer computador. Quando programamos um computador, temos somente uma idéia nebulosa do que o ajustamos para fazer. Certamente não avaliamos todas as implicações de sua tarefa.

Por analogia, vimos que a matemática foi outrora considerada uma simples concepção de números e alguns procedimentos simples — tais como os que poderiam ser introduzidos num computador. No entanto, as implicações desse sistema revelaram-se tudo, menos simples. Na verdade, não só se provaram quase inesgotáveis como desenvolveram até sua própria incoerência. Como Ehrensvard observou: “Há ocasiões em que até a matemática parece ter mente própria.”

Essa reflexão acabou por levar Turing além do campo dos computadores para ingressar no da morfogênese — o desenvolvimento de padrões em organismos por crescimento. Turing observou que, do mesmo modo que a matemática, qualquer sistema simples cresce no sentido da complexidade. Uma estrutura simétrica uniforme se desenvolve através da difusão de sua forma, que se converte numa estrutura assimétrica com um padrão próprio. Em 1952 Turing publicou seu artigo inicial sobre esse assunto: “The chemical basis of morphogenesis”.

Esse artigo propõe a questão: como as coisas crescem? Como a matéria *ganha forma*? (“Morfogênese” vem das palavras do grego antigo para “forma” e “origem”.) Por co-incidência, nesse exato momento, em Cambridge, Crick e Watson estavam tentando resolver esse mesmo problema de um ponto de vista microbiológico, tendo acabado por chegar à hélice dupla do DNA. Mas Turing estava atacando o problema de um ponto de vista matemático. Como a

sopa química relativamente simples da Terra havia se desenvolvido em organismos de imensa complexidade? Crick e Watson tentavam descobrir uma explicação de como isso ocorreu. Turing estava buscando uma resposta de *como e por que* isso aconteceu. Estava buscando uma resposta matemática que pudesse explicar o padrão da própria vida nos termos dos padrões da matemática. (Se Einstein pudera explicar o funcionamento básico do universo em fórmulas matemáticas, Turing iria descrever a própria vida de maneira semelhante. Ambição era o que não lhe faltava.)

De que maneira a sopa química primeva continha a informação que lhe permitia desenvolver complexidade? (Os paralelos com a questão de como um computador podia desenvolver inteligência são evidentes.) Mas que tinham esses problemas a ver com matemática? Vários exemplos apontavam essa relação. Tomemos uma solução química inorgânica saturada em que cristais estão se formando — ou *crescendo*, que é o que parecem fazer, desenvolvendo-se de uma maneira assimétrica e misteriosamente “orgânica”. No nível químico não há nenhuma explicação para qualquer falta de simetria. No nível molecular, porém, os movimentos individuais das moléculas e as colisões entre elas na solução são aleatórios. Portanto não é de espantar que os cristais se formem de maneira assimétrica. De certo modo, a complexidade está sendo *criada* no momento mesmo em que ocorre.

Um exemplo revelador desse processo pode ser encontrado na música contemporânea. O compositor húngaro Georg Ligeti “compôs” uma peça para cem metrônimos, todos regulados em diferentes velocidades. Os metrônimos começam todos ao mesmo tempo e depois começam a perder a sincronia. Isso soa como uma receita do caos — mas o que de fato se desenvolve é uma curiosa “música virtual”, que num certo sentido *é criada pelos próprios metrônimos*.

Turing estava convencido de que desenvolvimentos matemáticos semelhantes ocorrem na natureza. Todas as flores, plantas e células que estudou exibiam e desenvolviam padrões. Muitos deles revelam assombrosas seqüências matemáticas.

Por exemplo, tanto as espirais de um cone de abeto quanto as sementes aglomeradas de um capítulo de girassol refletem uma seqüência de Fibonacci. Trata-se da série 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21 ... em que cada número é a soma dos dois precedentes. As intrigantes e misteriosas propriedades dos números de Fibonacci ecoam por toda a matemática (triângulos pitagóricos, números primos e a razão áurea estão todos relacionados com eles) e, na natureza, abacaxis, o crescimento das folhas e as distâncias que separam os planetas do Sol exibem todas características de Fibonacci).

Os padrões da natureza eram profundamente matemáticos. Seria possível que alguma coisa na natureza da *matemática* controlasse o desenvolvimento de tal complexidade?

Essas eram as questões que ocupavam Turing no início da década de 1950. Ele continuou a fazer uso da MADAM durante essas investigações complexas, embora tenha sido em grande parte liberado de desenvolvimentos práticos adicionais no campo do computador. Esperava-se que a moderna MADAM fizesse mais que escrever cartas de amor.

A essa altura Turing havia comprado uma casa em Wilmslow, um bairro agradável nos arredores de Manchester, e para todos os efeitos era uma figura de certa eminência. Em 1951 foi eleito membro da Royal Society na idade excepcionalmente precoce de 39 anos. Um dos que propusera seu nome fora o filósofo Bertrand Russell, um dos primeiros a reconhecer a profunda significação *filosófica* do trabalho dele. (Quase meio século mais tarde, esse aspecto ainda estava por ser plenamente explorado.)

Em se tratando de Turing, porém, a respeitabilidade era um verniz muito fino. Ele continuava trabalhando longas horas — fazia jornadas regulares de 12 horas no laboratório e costumava “reservar” MADAM para as noites inteiras das terças e das quintas-feiras. Mas com isso restavam outras longas e solitárias noites em que não tinha nenhuma MADAM para ocupá-lo. O que fazia então, ocasionalmente, era sair à caça de jovens homossexuais.

Desenvolveu-se uma espécie de amizade entre Alan e um de seus parceiros, um rapaz de Manchester louro e de olhos azuis chamado Arnold Murray. Num fim de semana Alan deixou Arnold sozinho em

sua casa e, ao voltar, descobriu que havia sido roubado. Estavam faltando umas coisinhas pequenas — entre elas uma camisa e uns dois pares de sapatos, algumas facas de prata para peixe e uma bússola. Turing ficou indignado e deu queixa do roubo à polícia.

Isso se provou um equívoco catastrófico. O investigador farejou rapidamente o elemento homossexual e, em fevereiro de 1952, Turing foi detido sob acusação de “indecência flagrante”.

Turing tinha um caráter adaptável, mas a desonra pública tinha um preço inevitável. Ele teve de viajar para o sul para advertir a mãe do julgamento que logo teria lugar e da possível publicidade que receberia. Segundo seu biógrafo Hodges: “A sra. Turing não tinha uma percepção muito clara do significado do que havia acontecido, mas sabia o bastante sobre o assunto para que ocorresse uma discussão perturbadora, em que as duas partes não se compreendiam.”

Felizmente o julgamento não foi muito divulgado pelos jornais. (Apareceu uma matéria curta na edição para o norte de *News of the World*, sob o título “Acusado tinha cérebro poderoso”.) O caso foi quase certamente abafado por autoridades mais altas. Isso era talvez o mínimo que podiam fazer por um homem que havia desempenhado papel capital na vitória aliada. Suspeita-se que se Turing fosse um sujeito mais agradável, e tivesse mais disposição para jogar o jogo social, toda a questão poderia ter sido esquecida. Afinal, a homossexualidade estava longe de ser desconhecida no *establishment* britânico. O problema é que Turing decididamente *não* era um membro do *establishment*.

No final, Turing confessou-se culpado e teve a sorte de escapar da prisão. Em vez disso, foi posto sob *sursis* — sob a condição de se submeter a um tratamento hormonal que iria “curá-lo” de sua doença.

Esse tratamento medicamentoso inepto teve efeitos colaterais grotescos. De imediato, tornou-o impotente; e, como ele confidenciou a um amigo numa visita a Cambridge: “Estou criando *peitos!*”

Turing tentou se entregar ao trabalho mais uma vez. Agora estava tentando atacar as questões que havia proposto em “The chemical

basis of morphogenesis". Mas viu que estava se atolando nas pequenas variações de sistemas de equações diferenciais de primeira ordem que pareciam dar origem a assimetria. Elas pareciam ser a explicação da teoria química da morfogênese quando a complexidade se criava a si mesma. Complexidade criando-se a si mesma era evidentemente um negócio complexo.

Tudo isso logo pareceu a Turing tão desanimador quanto sua investigação frustrada dos números primos para o doutorado, em relação à hipótese de Riemann. Como antes, as fontes iniciais de inspiração secaram dando lugar a um deserto de cálculos. E novamente a possibilidade de suicídio surgiu.

Dessa vez a perspectiva era mais atraente. Seu trabalho havia estancado e a essa altura ele tinha sido excluído de todo trabalho criativo adicional com computadores — a despeito de suas qualificações sem paralelo. Sua identidade sexual estava praticamente obliterada; e a excepcional forma física que havia mantido como atleta corredor fora transformada numa zombaria pelos medicamentos.

Seguiu-se a representação final de uma cena que certamente fora ensaiada pelo menos numa ocasião. Durante a noite de 7 de junho de 1954 Alan Turing se deitou e comeu sua maçã de costume na hora de dormir, uma maçã que ele havia tratado com cianeto.

POSFÁCIO

—

Turing foi amplamente ignorado e esquecido após sua morte. Seu trabalho com a Colossus durante a guerra continuou sendo um segredo oficial, sua exclusão final do trabalho criativo prático com os primeiros computadores britânicos significou que os vencedores ficaram com os louros, e seu brilhante trabalho teórico era reconhecido apenas pelos *connoisseurs*.

Tudo poderia ter continuado assim, não fosse a brilhante e exaustiva biografia de Turing produzida por Andrew Hodges em 1985. Ela trouxe para Turing o reconhecimento público mais amplo que ele merecia, além de expor um escândalo sexual afrontoso. (Neste caso, perpetrado por uma autoridade ingrata.) Todos os que escreveram depois sobre Turing permanecem credores de Hodges. No entanto, apesar das pesquisas exaustivas de Hodges, Turing continuou sendo para ele um enigma tão grande quanto havia sido para seus contemporâneos. Ainda assim, as realizações de Turing falam por si mesmas. Ele está sendo cada vez mais reconhecido como o pioneiro da teoria dos computadores, o pai do computador contemporâneo — e, quase por acaso, o homem que ganhou a guerra.

As questões da inteligência artificial e da morfogênese — que ele foi o primeiro a formular com alguma abrangência — continuam centrais e não foram respondidas até hoje.

DATAS SIGNIFICATIVAS NO DESENVOLVIMENTO DO COMPUTADOR

1998 2001 2004 2007 10

- 400 a.C.* Formas primitivas de ábaco usadas na China e na Babilônia
- séc.I a.C.* Uma única máquina de calcular datada desse período foi descoberta e continua sendo um mistério
- 1623* Schickard começa a construir o “relógio de calcular” em Tübingen: reconhecido em geral como o primeiro computador digital
- 1630* Oughtred inventa a régua de cálculo: considerada por muitos o primeiro computador analógico
- 1642* Pascal inventa uma excelente máquina de calcular, capaz de manipular números de oito dígitos
- 1673* Leibniz inventa uma máquina de calcular mais simples e mais eficiente, capaz de calcular raízes quadradas
- início
séc.XIX* O tecelão francês Jacquard cria cartões para controlar padrões de tecelagem em seus teares — a primeira programação de uma máquina
- 1823* Babbage começa a trabalhar em sua Máquina de Diferenças nº 1
- 1854* Boole publica seu artigo sobre lógica binária
- 1896* Hollerith usa sua máquina de leitura de cartões para o censo dos Estados Unidos
- 1937* Turing publica “On computable numbers”, delineando os limites teóricos de qualquer computador futuro

1948

MADAM torna-se o primeiro computador eletrônico digital com programa armazenado a entrar em ação

LEITURA SUGERIDA

Andrew Hodges: *Alan Turing: the enigma* (Vintage) — A biografia brilhante e pioneira de 580 páginas, ainda a obra definitiva sobre a vida de Turing.

J. David Bolter: *Turing's Man: Western Culture in the Computer Age* (Duckworth) — Inteligência artificial, como os computadores atuais operam e suas implicações sociais.

Joel Shurkin: *Engines of the Mind* (Norton) — a evolução do computador dos mainframes até os microprocessadores numa linguagem que não-computadores humanos podem compreender.

Título original:
Turing and the Computer

Tradução autorizada da primeira edição inglesa,
publicada em 1997 por Arrow Books, de Londres, Inglaterra

Copyright © 1997, Paul Strathern

Copyright da edição brasileira © 2000:
Jorge Zahar Editor Ltda.
rua Marquês de São Vicente 99, 1º andar
22451-041 Rio de Janeiro, RJ
tel (21) 2529-4750 / fax (21) 2529-4787
editora@zahar.com.br
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)

Ilustração: Lula

ISBN: 978-85-378-0577-0

Arquivo ePub produzido pela **Simplíssimo Livros**

FILÓSOFOS

em 90 minutos

www.estrada.com.br

por Paul Strathern

Aristóteles em 90 minutos
Berkeley em 90 minutos
Bertrand Russell em 90 minutos
Confúcio em 90 minutos
Derrida em 90 minutos
Descartes em 90 minutos
Foucault em 90 minutos
Hegel em 90 minutos
Heidegger em 90 minutos
Hume em 90 minutos
Kant em 90 minutos
Kierkegaard em 90 minutos
Leibniz em 90 minutos
Locke em 90 minutos
Maquiavel em 90 minutos
Marx em 90 minutos
Nietzsche em 90 minutos
Platão em 90 minutos
Rousseau em 90 minutos
Santo Agostinho em 90 minutos
São Tomás de Aquino em 90 minutos
Sartre em 90 minutos
Schopenhauer em 90 minutos
Sócrates em 90 minutos
Spinoza em 90 minutos

Wittgenstein em 90 minutos

CIENTISTAS *em 90 minutos*

978-0-14-103311-9

por Paul Strathern

Arquimedes e a alavanca em 90 minutos
Bohr e a teoria quântica em 90 minutos
Crick, Watson e o DNA em 90 minutos
Curie e a radioatividade em 90 minutos
Darwin e a evolução em 90 minutos
Einstein e a relatividade em 90 minutos
Galileu e o sistema solar em 90 minutos
Hawking e os buracos negros em 90 minutos
Newton e a gravidade em 90 minutos
Oppenheimer e a bomba atômica em 90 minutos
Pitágoras e seu teorema em 90 minutos
Turing e o computador em 90 minutos