



## A matemática que nos governa

Sempre tivemos a convicção que o mundo é decifrável e, como tal, controlável, porque a matemática que o governa mostrava-nos isso.

O que acontece quando essa certeza nos é tirada? Quando a matemática começa a dizer-nos que talvez o mundo não seja tão previsível e controlável como antes pensávamos? Que as nossas "culturas" podem estar erradas? Que as catástrofes de hoje podem gerar medo sobre o amanhã?

Há um conhecimento crescente de que o mundo em que vivemos é imprevisível, caótico. Achávamos que podíamos controlar tudo, agora achamos que não podemos controlar nada e isso é o resultado dessa noção de que o mundo está em caos e que nunca sabemos o suficiente para realmente prever e muito menos para podermos controlar.

Dos simples padrões e da matemática que os controla, surge um novo desafio à nova visão do mundo. Há uma necessidade humana básica de se ter uma previsão do futuro; há um desejo profundo de poder controlar o futuro e uma profunda relutância de aceitar os avanços modernos da matemática que surgem com alto nível de imprevisibilidade fundamental.

Os nossos sonhos de futuro eram um lugar claro e aberto. Então o que é que aconteceu para que a nossa visão do futuro deixasse de ser clara e aberta e passasse a ser escura e obscura?

A principal experiência psicológica da ansiedade é o medo de que algo terrível vá acontecer; é algo que gera apreensão e incerteza.

Há 50 anos atrás, os cientistas tinham todo o vocabulário para descrever o mundo. Hoje, esse mesmo mundo, parece-nos bastante estranho. Antes falava-se numa economia de comando e controle, numa engenharia do clima e em planeamento central. Hoje ninguém aceita que o mundo possa ser descrito nesses termos. Agora

somos muito mais profusos a falar em desordem, instabilidade, turbulência, ponto de viragem, efeito borboleta, etc. Esse é o vocabulário que veio da matemática nos últimos 50 anos e é essa matemática que está a alterar o nosso entendimento da natureza fundamental do mundo em que vivemos, que nos está a dar uma nova linguagem para falarmos das incertezas do mundo que habitamos.

Olhando para trás podemos ver o que não era óbvio; que essas descobertas matemáticas haveriam de destruir a visão otimista do mundo e que nos lançariam na ansiedade em que hoje vivemos.

As raízes matemáticas desta nossa ansiedade começaram, em Paris, em 1885, quando a cidade se preparava para comemorar a visão otimista da ciência e da razão. Houve uma grande exposição para celebrar o progresso e a democracia: era o centenário da República. O símbolo de tudo isto era a Torre Eiffel, que simbolizava tudo aquilo em que na altura se acreditava; era um perfeito hino em jus à visão do mundo racional e ordenado da ciência de Newton, que descreve um lugar que segue regras claras de causa e efeito, tornando-o previsível e portanto controlável.

Nas mãos de um dos maiores seguidores de Newton, o matemático francês e ateu Pierre Simon de Laplace, esta visão newtoniana, tornou-se um confronto de crenças sobre a natureza de tudo; uma crença quase religiosa de que o mundo poderia ser entendido como uma máquina. Havia uma forte noção de mecanicismo e determinismo. Newton e Laplace viam o mundo como uma máquina. Na altura, era essa a visão dominante, ou mesmo única, já que eles eram cientistas e conduziam a humanidade para uma visão determinista do mundo.

Nesta ideia de mundo mecanicista nada acontece sem que exista uma causa e conseqüentemente nada é inexplicável. Nesse mundo, se entendêssemos a matemática, entenderíamos o mundo. Tudo era previsível e a ciência podia garantir segurança e progresso.

Essa visão laplaciana estendia-se à visão do Universo que era entendido como uma máquina. Defendiam que, se fossem colocados recursos suficientes, tudo seria entendido e acreditavam que era possível conhecer e controlar o funcionamento dos sistemas. Existia uma fé profunda de que as coisas acabariam sempre por correr bem!

Sabiam que os desastres aconteciam mas achavam que a matemática podia explicar todos esses acidentes. Foi esta visão do mundo que corroborou o otimismo e

fez o futuro parecer tão claro. Mas por baixo deste otimismo, de que o mundo era conquistável e controlável, havia uma corrente de preocupação que defendia que talvez o mundo não fosse tão domável e seguro quanto queríamos aceitar.

No coração da mecânica clássica de Newton estava um problema que se não pudesse ser resolvido colocaria em perigo a crença de que tudo era matematicamente previsível. Tratava-se de uma questão que Newton não teria resolvido completamente: as órbitas do sistema solar.

A matemática de Newton permite-nos prever as órbitas de dois corpos que circulam um à volta do outro. A genialidade desta formulação está no facto, não só de prever as órbitas destes corpos, mas também em saber a posição deles em qualquer momento no futuro. O que Newton e Laplace diziam era que se fizéssemos os cálculos corretos poderíamos prever tudo sobre o universo. Os cálculos forneciam as coordenadas e a velocidade de qualquer corpo do Universo.

Defendia-se que, a matemática que governava as órbitas dos planetas, também governava o movimento na Terra. Esse foi o início da ciência de Newton que previa que se dois objetos comesçassem o seu movimento em órbitas quase idênticas, eles podem continuar em órbitas quase idênticas por toda a eternidade e como tal, a diferença entre elas, nunca mudaria. Então, se soubéssemos a órbita de um, poderíamos prever a órbita do outro.

Em teoria a formulação até pode ser aceite mas, na prática, o que acontece, é que assim que se juntar mais um corpo a estes dois iniciais, já não se conseguem resolver as equações e não se pode prever nada.

Todos os matemáticos, de Newton em diante, esperavam ansiosamente pelo dia em que o problema dos três corpos fosse resolvido. Em 1889, o matemático francês Henry Poincarê, descobriu que não havia processo que permitisse prever órbitas. Defendeu que não importa quanto os caminhos fossem similares no início porque, um deles, poderia seguir um caminho diferente e totalmente inesperado e imprevisível. Poincarê concluiu que a previsão se tornava impossível. Ele viu que algo se comportava de uma maneira que não a esperada e percebeu que era algo que tinha a ver com as condições iniciais, com aquilo que hoje chamamos suscetibilidade às condições iniciais. É isso que é inesperado, já que uma pequena mudança no decurso da órbita pode vir a ter uma enorme diferença no resultado. Assim Poincarê descobriu

aquilo a que agora chamamos caos matemático.

Poincarê viu uma profunda verdade sobre os planetas e as suas órbitas. O que o incomodou foi perceber que esse comportamento imprevisível podia estar presente em toda a natureza. Ele percebeu que uma pequena mudança, não mais que o bater das asas de uma borboleta, pode ser o suficiente para criar uma tempestade onde nada foi previsto. Esse era um mundo bem diferente do mundo de Newton.

Até Poincarê, o maior matemático da época, a comunidade científica, estava imersa naquela visão lapalciana, achando que todas as coisas se encaixariam e que tudo no final se comportaria adequadamente.

A descoberta de Poicarê atingiu a raiz de uma visão de mundo que nem ele nem os seus contemporâneos estavam prontos para abrir mão. Esse comportamento muito estranho que ele descobriu foi atenuado pelos críticos. As pessoas não estavam prontas para ouvir que o mundo em que viviam não era tão ordenado como eles sempre acreditaram.

A magia da ciência é essa previsibilidade das coisas através da matemática. A ciência não se resume a provar teoremas, tem que nos dar algum poder sobre a natureza e sobre o que nela acontece. A previsão de um eclipse é um desses poderes; construir máquinas é um outro poder da ciência que aliado à técnica nos permite viver num mundo melhor. A ciência foi inventada, em parte, para isso mesmo.

A noção de Poincarê, de que uma pequena alteração impercetível poderia causar uma tempestade inevitável, foi a primeira descoberta a abrir-nos o conhecimento para a noção de que o mundo é menos previsível e controlável do que gostaríamos que fosse. Essa é uma das raízes matemáticas da ansiedade moderna.

A segunda foi descoberta na Rússia por Alexander Lyapunov. Ele estudava a transição da estabilidade para a instabilidade nos fluidos. Lyapunov estudava o modo como um fluido ou um gás fica turbulento. Era um dos problemas mais refratários de toda a física e ele tentava pôr números nessa transição da ordem para o caos. Estava a tentar estudar como é que os sistemas que parecem ordenados, quase resistindo à mudança, mas que chegando a um ponto crítico, passam repentinamente de tranquilos a turbulentos; da ordem ao caos. Aquilo a que hoje nós chamamos ponto de viragem.

Esta noção remete para uma mudança relativamente à conceção de que o mundo é previsível e remete-nos para uma noção de imprevisibilidade mais associada,

climática e ambientalmente, a essa noção de um ponto de viragem. É uma ideia que nos conduz à percepção de que, ao empurrarmos um sistema, ele move-se, mas não se sabe até onde.

Peter Cox, climatólogo inglês, dá-nos o seguinte exemplo: se estivermos a empurrar uma bola para o cimo de uma montanha e a largarmos, ela vai descer; mas se houver um pico na montanha e rolarmos a bola até esse ponto, ao largá-la, ela pode ir para qualquer lado; basta dar um impulso mínimo nessa bola e ela cai para um dos lados. Há uma relação entre o deslocamento e a força do impulso. Trata-se pois de um sistema instável. Lyapunov colocou um número nesse ponto de viragem mas infelizmente os acontecimentos pessoais levaram-no a cometer o suicídio.

Poincarê descobriu que o nosso mundo pode não ser tão previsível e controlável quanto pensávamos e o trabalho de Lyapunov pôs um número no momento de transição entre a ordem e o caos e abriu a porta para a ideia moderna de ponto de viragem.

Eles tinham descoberto aquilo que seria o início de um novo e profundo entendimento do mundo; de que o caos é uma parte do sistema e não só parte do colapso desse mesmo sistema. Mas Lyapunov estava morto, Poincarê não quis prosseguir com o seu trabalho e o resto do mundo queria acreditar que o caos e a imprevisibilidade eram apenas um pesadelo do qual poderíamos acordar.

Ficamos no ponto em que surgia um entendimento mais claro da realidade, mas não fomos capazes de avançar nesse entendimento do mundo. Voltou-se à física clássica, aos sistemas de equilíbrio onde há um limite fixo de atuação. Voltamos a ver o mundo como uma máquina estável, imutável e em equilíbrio, mas o modelo de mundo que desejávamos e a forma como ele realmente era, não eram a mesma coisa.

O clima e a economia foram os primeiros sistemas a por em causa esta visão mecanicista do mundo. Nos Estados Unidos, a crise económica dos anos 30 e as tempestades de areia que assolaram uma parte significativa do seu território, levaram a quem alguns cientistas voltassem a por em causa a ideia de previsibilidade e controle dos sistemas.

Mas, mais uma vez, a necessidade de sentirmos que podíamos controlar o mundo prevaleceu. A descoberta dos computadores veio dar um novo ânimo à ideia de controlo e previsibilidade.

Assim, como os telescópios nos tinham permitido ver os céus e o microscópio nos deixara ver os blocos construtores da vida, o computador prometia deixar-nos ver e controlar outra dimensão: o futuro. Com o computador poderíamos prever e controlar o clima e a economia.

Ao mesmo tempo que políticos e cientistas tinham confiança nesse mundo previsível e sem falhas, um meteorologista chamado Eduard Lorenz, descobriu, em 1962, algo radicalmente oposto a essa ideia. Enquanto os militares estavam concentrados em tentar prever o clima, usando enormes computadores, Lorenz, usando uma calculadora, construiu um modelo simplificado para chegar à matemática básica e ver se o clima tinha padrões escondidos.

A descoberta de Lorenz surgiu quando ele usou o seu modelo com um grupo de números e depois, de novo, com o que ele achou que fossem os mesmos números, mas que a calculadora tinha arredondado, tornando-os ligeiramente diferentes. Lorenz descobriu que pequenas variações nos números iniciais mudavam drasticamente o resultado final.

Uma das concepções fundamentais que os cientistas, desde Newton, tinham era a de que, um pequeno erro, num sistema suficientemente grande, desapareceria ao fim de algum tempo; não teria consequências.

Sendo assim, a descoberta acidental de Lorenz, teve imensas implicações no mundo real. Ficou claro que, quando um sistema mudava, não queria dizer que algo no seu percurso o tinha feito mudar; podia ter mudado porque as sementes dessa mudança já estava no sistema, escondidas e crescendo devagar. A divergência num sistema era o resultado final de uma mudança mínima e imperceptível, ocorrida há muito tempo. Lorenz redescobriu o que Poincaré apenas vislumbrou. Para os meios de comunicação social este trabalho ficou conhecido como “efeito borboleta”. É claro que a batida das asas de uma borboleta vai provocar um efeito muito pequeno no início; não se vai notar nada mas, depois de algum tempo, algumas flutuações no ar vão mudar e passados seis meses aparecem as alterações mais significativas.

Com o aparecimento dos computadores a análise dos sistemas tornou-se muito mais completa e os sistemas lineares revelaram a sua complexidade. Perante este conjunto alargado de informação os cientistas tenderam a eliminar tudo aquilo que não consideravam importante transformando, deste modo, sistemas não lineares em sistemas lineares que se adaptavam melhor à sua ânsia de previsibilidade e controlo. O

que Lorenz fez foi precisamente dar a devida importância a este conjunto de dados que fazem parte integrante do sistema e que sem eles o sistema deixa de ser o que é.

A partir daqui, o Departamento de Meteorologia dos Estados Unidos, começou a questionar-se sobre a quantidade de caos que havia no sistema atmosférico: em quantos aspetos da natureza a matemática do caos se aplica? A natureza instável do fenómeno natural existe apenas porque ele é complicado e nesse caso, um dia, nos poderíamos compreendê-lo, ou ele é governado por essa sustentabilidade às condições iniciais do efeito borboleta? o quanto caótico esperamos que seja o mundo?

Tal como Lyapunov, que estudou a instabilidade dos sistemas, David Well estudou o início da turbulência, propondo que a turbulência hidrodinâmica aconteceria onde há essa dependência da suscetibilidade às condições iniciais. A verdade é que essa suscetibilidade acontece em todos os lugares e permanece no tempo. Então Well, combinando experiências e matemática, provou que a turbulência não resultava da complexidade mas era causada pela suscetibilidade às condições iniciais. O efeito borboleta e a turbulência estavam em todos os lugares.

Matematicamente, a turbulência e o caos foram estabelecidos e psicologicamente era difícil de acreditar que o mundo era ainda newtoniano. A linguagem do caos começava a entrar no nosso vocabulário.

A turbulência dos anos 70, do século XX, convenceu os economistas e ambientalistas que a fé, que tinham na previsão e controle em larga escala, estava errada. Acabaram por aceitar que não podiam controlar a economia tal como não podiam controlar o clima.

A era do comando e do controle tinha acabado, mas havia uma segunda parte mais controversa para a matemática da qual eles discordavam. Well e outros descobriram que mesmo sistemas muito simples, como pêndulos, podiam chegar a um comportamento caótico e altamente complexo. A partir daqui descobriram que, quanto mais interligados os sistemas se tornassem, mais estariam propensos a tornarem-se caóticos e turbulentos e que, quanto mais se pressionasse o sistema, mais rápido ele giraria e mais caótico se tornaria.

Os economistas, perante um mercado que está completamente interligado e que é global, perceberam que não o podiam controlar, já que se tratava de um sistema natural e como tal não deveria ser regulado. A economia global começou a crescer de

uma forma exponencial, mas a sua imprevisibilidade também cresceu.

A questão do crescimento está no centro da economia, mas também está no centro dos problemas climáticos. Quanto mais se mexe num sistema não-linear, mais provável é que ele se torne caótico.

Os registos meteorológicos preocupam-nos mas, quando temos uma economia próspera, esquecemo-nos do ambiente e o resultado é uma mudança ambiental que é provocada pelo homem mas que não reage às suas tentativas de remediação.

Atualmente o crescimento económico pode ser retardado pelos impactos que causam no ambiente, até porque o ambiente é a fonte da sua riqueza.

Ignorando os avisos da nova matemática, nós carregamos o sistema com tudo. Os economistas do livre-mercado asseguraram-nos que, se não interviéssemos nos mercados, eles próprios encontrariam um equilíbrio natural.

A verdade é que vivemos num mundo que cada vez mais se distancia de tudo aquilo que seja equilíbrio. Sabemos que o crescimento exponencial da economia é um sistema linear e que esse sistema linear vai ser interrompido por um sistema não linear; por um sistema que não podemos controlar.

O problema com a matemática do caos é que ela não nos dá o que queremos: previsão e controle. Pelo contrário, ela tira-nos aquilo em que queremos acreditar. Nega-nos os velhos ícones de salvação e de liberdade através do crescimento e não nos dá nada importante em troca.

Vivemos num mundo cada vez mais imprevisível e mais instável. A questão que se põe é o que é que queremos fazer com este estado do mundo.

Por um lado, os economistas insistem que, como não podemos regular e controlar a economia, como achávamos que podíamos, a única salvação é obedecer ao mercado e seguir com o crescimento e que qualquer intervenção levará ao caos económico e ao colapso.

Por outro lado, os ambientalistas, dizem que é exatamente esse crescimento económico desenfreado que vai impulsionar os sistemas naturais para o seu próprio caos e colapso, dos quais não haverá volta. Os mapas de lyapunov mostram umas regiões de instabilidade e outras de caos e entre elas há pontos onde o sistema pode ir

de um a outro extremo rapidamente.

Ninguém queria acreditar que a economia pudesse partir de momentos de glória ou fracasso, mas ela parte. Ninguém quer acreditar que o clima se pode estar a aproximar da sua própria catástrofe, mas quando isso acontecer afetará a todos: os ricos; os pobres; os culpados e os inocentes.

Num sistema climático há a ideia de um ponto de viragem, associado a um certo calor, que impulsiona o sistema “montanha a cima”. O lençol de gelo da Gronelândia vai derreter e sabemos que, num prazo relativamente longo, teremos uma elevação de sete metros no nível das águas do mar. Há a possibilidade de que a floresta amazónica sofra uma destruição rápida, que pode estar associada a incêndios ou outros cataclismos.

Quanto aos sistemas humanos e à sua capacidade de adaptação, o que importa saber é até que ponto essas mudanças são mais ou menos rápidas.

A questão é saber se temos mais tempo para nos iludirmos. James Lovelock teme que ainda não tenhamos aprendido as lições da matemática do caos e que ainda queiramos acreditar na previsão e no controle. Essa é, na sua opinião, a grande falha dos modelos climáticos; todos sugerem que se reduzirmos o CO<sub>2</sub> tudo irá ficar bem; que podemos lidar com a situação.

A verdade é que, depois de o sistema começar a escorregar, não há volta. É bem possível que já tenhamos ultrapassado o ponto de viragem e que agora já estejamos num declive que se vai tornando mais íngreme, num determinado ponto e mais suave noutra, para voltar outra vez a um novo ponto mais íngreme. O declive, ao contrário do ponto de viragem, sugere que já não é possível voltar atrás; que já se foi longe demais.

Se analisarmos a história do mundo, verificamos que o clima passa por pontos de estabilidade. Fez muito frio durante a última Era Glaciar, depois chegou a um ponto que escorregou e aí a temperatura subiu para o nível de estabilidade anterior à glaciação, levando-nos para uma fase interglacial. A temperatura, anterior à última glaciação também tinha subido para outro nível estável; um estado de calor. Isso aconteceu há 55 000 000 de anos quando a mesma quantidade de CO<sub>2</sub> que hoje colocamos na atmosfera entrou no ambiente de então e provocou a subida repentina de 5 graus. Foram precisos 200 000 anos para que o nível de CO<sub>2</sub> voltasse a ser o mesmo que era antes, mas a temperatura não baixou. Isto destrói toda a falsa ideia de previsão e

controle.

O mais grave de tudo isto é que os políticos, baseados nos modelos climáticos, acreditam que, se tomarem as medidas acertadas, podem reverter a alteração climática em curso e por isso tomam medidas erradas, já que isso não é possível. Neste momento o que deveriam estar a fazer, era construir políticas que permitissem encarar essa mudança inevitável com alguma perspetiva de sucesso adaptativo às novas condições climáticas.

Não podemos voltar atrás; não podemos concertar o que já está errado. Ainda estamos a caminho do caos, estamos numa posição em que ainda há futuros possíveis. Desta vez, tivemos uma centena de anos, para aprender as lições matemáticas; talvez desta vez possamos fazer o que não pudemos fazer antes: encarar a realidade como ela é, porque essa realidade está diante de nós.



**Fonte:** adaptado, PORTOCARRERO, António, Cinfães, 2015