

# Matemática ajuda a entender por que a previsão do tempo às vezes erra

Natureza caótica do sistema atmosférico e imprecisão nas medidas contribuem para incerteza

## A MATEMÁTICA EXPLICA

Gabriel Alves

**SÃO PAULO** Levantar o guarda-chuva ou deixá-lo em casa? E o casaco? Se chover ou fizer frio, é praga da mãe que avisou ou azar? Existe muita matemática por trás da área que se conhece como meteorologia, que estuda o comportamento da atmosfera e a previsão do tempo.

O primeiro passo para saber o que vem adiante é obter boas informações do tempo no presente, as chamadas condições iniciais. Para isso, são usados milhares de estações meteorológicas em terra, que aferem coisas como umidade, temperatura de superfície, direção e velocidade do vento e precipitação. Também são usadas informações coletadas por milhares de navios, boias, aviões, balões atmosféricos e satélites.

Com esse conjunto de dados, é possível alimentar modelos matemáticos de como o futuro do tempo poderia ser.

Esse modelo não é tão diferente de conjunto de equações matemáticas cujas variáveis precisam ser desvendadas. Só que, nesse caso, é preciso encontrar bem mais do que só  $x$ ,  $y$  ou  $z$  — temperatura, umidade e direção do vento, por exemplo — e essas grandezas nem sempre podem ser obtidas diretamente.

Como o número de contas a realizar é gigantesco, é necessário usar supercomputadores. Caso as contas fossem feitas à mão ou em computadores comuns, as previsões demorariam tanto que seriam "previsões" do passado.

Hoje, os modelos mais usados fazem boas previsões para um prazo de sete a dez dias. Mas, como sabemos, as previsões às vezes erram, e o tamanho do erro tende a ser maior quanto mais longe tentamos enxergar. A matemática também explica isso.

A atmosfera pode ser definida como o que os matemáticos chamam de sistema caótico, ou seja, no qual pequenas mudanças nas condições iniciais podem acarretar um futuro completamente diverso.

Na década de 1960, o matemático Edward Lorenz, a partir de modelos de equações que regem a dinâmica atmosférica, chegou a um sistema que ilustra bem a questão. Pequeníssimas variações nas coordenadas do ponto

## Como é feita a previsão do tempo?

### 1 Medições

O primeiro passo para conseguir fazer previsão do tempo é ter boas medidas do tempo no presente

Entre os fatores medidos estão:

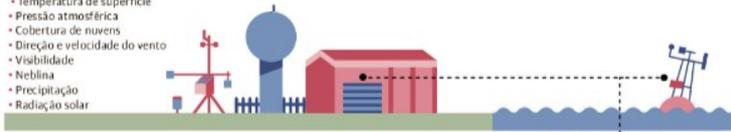
- Umidade
- Temperatura de superfície
- Pressão atmosférica
- Cobertura de nuvens
- Direção e velocidade do vento
- Visibilidade
- Nebulosa
- Precipitação
- Radiação solar

### 2 Estações

Mas não basta saber o tempo em um só lugar, é preciso conhecê-lo em vários pontos diferentes do globo; há cerca de 10 mil estações terrestres espalhadas em todo o mundo

### 3 Aviões e boias

Não há estações meteorológicas em toda a superfície do planeta: as informações também vêm de medidas feitas por aviões, navios, boias e satélites



### 4 Modelo

Com todas essas medidas, o objetivo é tentar estimar o tempo em cada casa de uma malha esférica teórica que subdivide toda a superfície da Terra. Quanto mais precisas essas medidas, melhor o resultado da previsão. Sabe-se que o tempo em cada uma das casas interfere bastante nas casas adjacentes



### 5 Daqui a pouco

Conhecendo o tempo no presente e em alguns instantes atrás, no passado, é possível fazer previsões para um instante próximo, no futuro

### 6 Lá na frente

Usando agora as informações calculadas para esse futuro próximo, é possível ir um pouco além e prever como estará o tempo adiante, e assim sucessivamente

### 7 Contas

Como o número necessário de contas para fazer essas previsões é imenso, são empregados supercomputadores. Sem eles, demoraria tanto para as previsões ficarem prontas que elas não seriam do futuro, mas do passado

de partida levam a comportamentos bastante distintos, com padrões de movimentos complexos e não repetitivos — um sistema matematicamente caótico.

Um meio de tentar garantir a confiabilidade das previsões no médio prazo, explica Saulo Barros, professor do Instituto de Matemática e Es-

tatística da USP que trabalha com o tema, é fazer as projeções também com pequenas perturbações nas condições iniciais, a chamada previsão por conjuntos, que já é empregada há cerca de 25 anos.

Se essas previsões forem bastante parecidas entre si, há confiança de que a realidade será muito parecida com a

média desse conjunto. Se as pequenas variações gerarem previsões muito divergentes, o futuro torna-se mais nebuloso, figurativamente falando.

Outra maneira de tentar acertar mais é criando melhores modelos matemáticos, área na qual atuam matemáticos, engenheiros, meteorologistas e outros cientistas.

Um exemplo didático para ilustrar como pode se tornar mais complexa a modelagem de um fenômeno é a queda livre de um objeto: via de regra utiliza-se uma equação conhecida como movimento uniformemente acelerado. Dependendo do tamanho da queda e do formato do objeto, pode ser necessário incluir na equa-

ção um termo que representa a resistência do ar; caso contrário, a previsão sobre a queda (tempo que vai levar para o objeto tocar o solo) se torna muito equivocada e, de certo modo, imprestável.

Na previsão do tempo, há muitas camadas de complexidade que podem entrar em jogo, como a radiação solar e o comportamento das nuvens. E quanto mais complexidade, mais poder computacional é necessário para solucionar as equações — acumulam-se as possíveis fontes de erros.

Para poder fazer as contas e previsão propriamente dita (ou, no jargão matemático, integrar o modelo), é necessário antes fazer previsões para uma malha de pontos teóricos espalhados de modo uniforme pelo globo terrestre.

É preciso ter informações das condições iniciais (temperatura, pressão, direção do vento etc.) para cada um deles. Só então tenta-se descobrir o que vem adiante. Buscar a melhor maneira de estabelecer as condições iniciais de um sistema por si só já é uma área de pesquisa, conhecida como inicialização de modelos.

Os melhores modelos da atualidade, explica Barros, têm resolução de cerca de 10 km. Isso quer dizer que cada ponto dessa malha teórica está localizado 10 km distante dos outros mais próximos dele. Ter uma resolução menor (e melhor), de 1 km, por exemplo, pode ser vantajoso para ter uma previsão mais acurada, mas o preço disso, novamente, é o custo computacional.

Uma das fronteiras da dinâmica meteorológica são os chamados cloud-resolving models (CRM ou modelos de resolução de nuvens, em tradução livre), que buscam, com uma resolução baixa (como 1 km, por exemplo), entender o comportamento das nuvens, cruciais para o tempo.

Se houver uma maneira eficaz de resolver essa questão, conta o matemático, é possível que os modelos sejam complementados com essa informação e se tornem ainda mais precisos.

Por ora, existem outras áreas de pesquisas que tentam capturar essas informações, como cobertura de nuvens, radiação solar e convecção a partir de outras grandezas, como temperatura e vento, ou seja, de forma indireta.

Outro elemento no qual é possível haver otimização é a chamada computação paralela: fazer um supercomputador, com vários núcleos de processamento, trabalhar de maneira mais eficiente.

Barros explica: "Nem sempre é possível que dez pessoas façam dez vezes mais rápido o trabalho de uma. Raramente isso acontece. Uma tem que esperar a outra acabar a parte dela, elas têm que se comunicar etc."

Ilustração: William War / Reprodução