

## O CLIMA, A ESCALA GLOBAL

É hoje ponto assente entre os físicos da atmosfera que o clima não pode entender-se pelo exclusivo estudo do invólucro gasoso da Terra, uma vez que este sofre importantes modificações no contacto com os oceanos e os continentes; uma verdade que os geógrafos vêm há muito sublinhando, embora por vezes de maneira balbuciante e vaga. Modernamente, a aplicação do conceito de sistema e dos modelos matemáticos ao estudo do clima, acompanhando a crescente riqueza da informação proveniente dos satélites artificiais, tem permitido avanços consideráveis neste ramo da ciência. Uma publicação recente, coordenada por J. T. HOUGHTON <sup>(1)</sup>, director do serviço de meteorologia do Reino Unido, e em que colaboram vários cientistas de reputação, dá-nos uma imagem dessas novas preocupações da climatologia. Estas linhas têm como objectivo chamar a atenção para algumas ideias básicas lançadas neste livro rigoroso e claro, o que não dispensa, evidentemente, a refrescante leitura da obra em si.

O propósito do livro é dar a conhecer à comunidade científica os objectivos do «World Climate Research Programme (WCRP)», pelos próprios cientistas envolvidos no programa. Esses objectivos são, fundamentalmente, dois: a) análise dos limites da previsão do tempo a longo prazo; b) estudo da influência do homem nas modificações do clima. O presente programa deriva de um outro, o «Global Atmospheric Research Programme (GARP)», o qual tinha sido dedicado quase exclusivamente ao estudo dos movimentos da atmosfera, sobretudo dos movimentos de grande escala (escala espacial superior a 1000 km) e à sua simulação matemática. O principal resultado foi a possibilidade da previsão da estrutura pormenorizada da circulação atmosférica para um prazo de cinco dias. O alargamento deste prazo da previsão do tempo só será possível tomando em consideração as interacções que se realizam no contacto da atmosfera com os oceanos, os continentes, a criosfera e a própria biosfera. O clima é, assim, considerado como um grande e complexo sistema físico, composto por vários subsistemas (atmosfera,

<sup>(1)</sup> J. T. HOUGHTON (ed.), *The Global Climate*, Cambridge University Press, 1984, 233 p.

hidrosfera, criosfera, litosfera, biosfera), entre os quais há trocas de calor, momento e de massa, sobretudo de vapor de água <sup>(2)</sup>.

A atmosfera é, de todos os componentes físicos do sistema climático, aquele que evolui com maior rapidez: o tempo de resposta da baixa atmosfera a qualquer mudança de temperatura que lhe seja imposta é de cerca de um mês. A superfície dos oceanos possui um tempo de resposta mais longo (meses, anos) às interacções com a atmosfera e a criosfera, enquanto o ajustamento térmico das águas mais profundas é da ordem das centenas de anos. O tempo de resposta da criosfera é muito diferente conforme se tratar da cobertura de neve ou das grandes massas de gelo continentais. As mudanças na cobertura de neve têm, sobretudo, um ritmo estacional, o que implica uma influência acentuada no ritmo térmico de certas regiões, devido ao albedo muito elevado da neve fresca. Pelo contrário, as grandes massas de gelo (os *inlandsis*) apresentam variações significativas de volume apenas em períodos longos, da ordem das centenas, milhares ou, mesmo, milhões de anos. No que se refere à litosfera, a fisionomia geral dos continentes e dos fundos oceânicos apenas se modifica à escala da própria história da Terra. Mas já não acontece assim com a biosfera, em que o período das transformações pode ir de algumas semanas (áreas cultivadas) até dezenas ou centenas de anos (florestas).

Um outro aspecto sobre o qual interessa insistir é a importância das retroacções, positivas e negativas, que se exercem no interior do sistema climático. As superfícies cobertas de gelo ou de neve reflectem quase toda a energia solar incidente, o que leva a um arrefecimento da atmosfera, logo a uma extensão das neves e dos gelos. Pelo contrário, a fusão de uma parte das neves e dos gelos implica um aquecimento da superfície da Terra, logo um prosseguimento da fusão. São exemplos de retroacções positivas que podem ter grande influência no ritmo climático de certas regiões (é o caso das regiões temperadas continentais) ou gerar, mesmo, modificações climáticas à escala global. A não consideração destes fenómenos de retroacção pode influenciar grandemente os resultados dos modelos numéricos.

O «World Climate Research Programme» desenvolve-se em três direcções de pesquisa: previsão do tempo a longo prazo; variabilidade interanual do clima; variações do clima em períodos de várias décadas. No que se refere à primeira direcção de pesquisa, «existe um limite teórico de cerca de duas semanas para a previsão de fenómenos atmosféricos individuais» (p. 6). Para além deste limite, as interacções complexas e relativamente rápidas no seio do fluxo atmosférico produzem modificações imprevisíveis, a que se pode dar o nome de «ruído atmosférico». Todavia, o estudo concreto das situações sinópticas tem revelado a persistência de certos padrões da circulação de grande escala que permanecem para além dos limites temporais teóricos deduzidos dos

(2) Os diferentes componentes do sistema climático foram definidos em *The Physical Basis of Climate and Climate Modelling*, GARP Publications, Series N° 16, WMO, Geneva, 1975.

modelos matemáticos. É o caso de situações de bloqueio que, intermitentemente, ocorrem nas latitudes médias, e que podem durar várias semanas, durante as quais o estado do tempo não sofre grandes modificações, à escala regional. Este e outros factos levam a pensar que será possível estabelecer as bases de uma previsão do tempo por períodos de um ou dois meses. Para tal é necessário um refinamento dos modelos matemáticos de previsão do tempo já existentes e, sobretudo, um melhor conhecimento dos efeitos do atrito da superfície terrestre e do obstáculo imposto pelos relevos à circulação atmosférica, assim como o estudo mais detalhado dos fluxos de momento, massa e energia que se efectuam no contacto da atmosfera com a superfície da Terra.

No que diz respeito à variabilidade interanual, várias observações empíricas conduzem à ideia de que modificações climáticas de grande escala e com duração de vários meses ou anos podem estar relacionadas com anomalias térmicas dos oceanos, nomeadamente dos oceanos tropicais. Verificou-se, recentemente, que anomalias negativas da precipitação na Índia coincidem com anomalias positivas das águas superficiais do Pacífico oriental, o conhecido fenómeno «El Niño», que se manifesta ao longo das costas do Chile e do Peru. Também, a alternância de baixas e altas pressões que surgem, periodicamente e com sinal contrário, no Norte da Austrália e no Centro-Sul do Oceano Pacífico, fenómeno a que se convencionou chamar «Oscilação Austral» («Southern Oscillation»), está relacionada com mudanças de temperatura do Oceano Pacífico equatorial. E outros exemplos se poderiam dar. Por outro lado, há fundamentos teóricos que permitem defender a ideia de que as interações entre o oceano e a atmosfera são particularmente eficazes nos trópicos. Parece cada vez mais claro que os oceanos tropicais têm uma mais rápida capacidade de resposta às modificações da circulação atmosférica, criando eles próprios condições que, mais tarde, irão reflectir-se na atmosfera, não só tropical mas também das médias e altas latitudes.

O estudo das variações climáticas em períodos da ordem das dezenas ou das centenas de anos só poderá efectivar-se pela análise conjunta da circulação atmosférica e da circulação oceânica, à escala planetária. Os fluxos de energia assegurados pela circulação oceânica são tão importantes como os que derivam da circulação atmosférica no que concerne a definição dos contrastes térmicos e o regime dos ventos. Outro aspecto fundamental, ainda muito mal conhecido, é o das interacções entre a atmosfera e os ecossistemas terrestres, entre os quais se dão trocas de calor e de vapor de água. Neste plano ganham significado as actividades humanas, pelas modificações que introduzem não só na vegetação, com reflexos importantes, por exemplo, no albedo, mas também na constituição do ar, sobretudo na concentração do dióxido de carbono e de poeiras troposféricas e estratosféricas. As consequências climáticas do aumento de concentração do dióxido de carbono, que se prevê seja dupla da actual no ano 2100, constituem, aliás, uma das preocupações mais salientes desta terceira via de investigação. Mais uma vez, cabe sublinhar a importância dos oceanos, que constituem o

principal regulador da concentração do gás carbónico na atmosfera; além disso, como os oceanos representam um enorme reservatório de energia, pois absorvem a maior parte da radiação solar incidente, podem, por isso, protelar os efeitos térmicos do aumento da concentração do dióxido de carbono.

Depois de um capítulo introdutório (J. T. HOUGHTON e P. MOREL, p. 1-11) onde são brevemente explicitados os objectivos e os meios do «World Climate Research Programme», segue-se outro (C. E. LEITH, p. 13-24) em que se faz um balanço dos progressos atingidos na observação e análise, na modelação e na interpretação teórica dos factos climatológicos. O terceiro capítulo (J. K. ANGELL e G. V. GRUZA, p. 25-36) discute as tendências da evolução da temperatura da superfície no hemisfério norte, durante o último século, como exemplo de um indicador capaz de evidenciar a variabilidade do clima. No capítulo quarto (A. J. SIMMONS e L. BENGTESSON, p. 37-62) faz-se uma revisão dos modelos numéricos que procuram simular a evolução diária dos sistemas da circulação atmosférica de grande escala, com vista a uma previsão do tempo a médio prazo. No capítulo seguinte (P. J. WEBSTER e G. L. STEPHENS, p. 63-78) discute-se a influência das nuvens no balanço radiativo e suas implicações no sistema climático. Segue-se um importante ensaio (Y. MINTZ, p. 79-105) onde se analisa uma série de experiências, utilizando os actuais modelos da circulação atmosférica geral, para avaliar em que medida a evapotranspiração à superfície dos continentes influencia o sistema climático. O capítulo sétimo (S. I. RASOOL, p. 107-120) é uma interessante síntese das causas possíveis de episódios climáticos tão importantes para a vida das populações como sejam as secas do Sahel, da Austrália e do Brasil, assim como do colapso frequente da monção indiana. A seguir (N. UNTERSTEINER, p. 121-140), faz-se uma breve revisão das características dos vários componentes da criosfera (cobertura da neve estacional, gelos marinhos, glaciares regionais, glaciares de montanha, solo sempre gelado). O capítulo nono (J. D. WOODS, p. 141-187), certamente um dos mais importantes desta série de ensaios, trata das interacções entre a superfície dos oceanos e a atmosfera e seus reflexos no clima, à escala planetária. O capítulo décimo (C. WUNSCH, p. 189-203) é dedicado à circulação oceânica e o seguinte (M. N. KOSHYLAKOV e A. S. MONIN, p. 205-212) analisa, brevemente, os progressos recentes e os programas previstos para o próximo decénio, no que se refere à observação das propriedades oceânicas, nomeadamente a estrutura da circulação, transporte de calor e interacções com a atmosfera. O penúltimo capítulo (B. BOLIN, p. 213-223) refere-se a um domínio ainda pouco conhecido, o das relações entre a biosfera e o sistema climático, enquanto o último capítulo (K. Y. KONDRATYEV e N. I. MOSKALENKO, p. 225-233) analisa o candente problema dos efeitos da concentração do dióxido de carbono e dos aerossóis no balanço radiativo.

Este livro não é, de modo algum, «mais um» manual de climatologia. Trata-se de um conjunto original de ensaios onde o clima é visto como um sistema complexo de interacções entre a superfície da Terra e a atmosfera, cujas tendências de evolução só podem entender-se

na sua globalidade, isto é, à escala planetária. A preocupação fundamental é, sem dúvida, a previsão do tempo a longo prazo e, por isso, simular numericamente a resposta da atmosfera às modificações da superfície terrestre. Os mecanismos da circulação atmosférica são hoje bem conhecidos. O grande desafio, a nível internacional, orienta-se agora para o estudo dos outros componentes do sistema climático. E se, na última quinzena de anos, houve progressos espectaculares na compreensão das influências oceânicas no clima, uma nova fronteira do conhecimento parece situar-se agora no papel desempenhado pelos ecossistemas terrestres, nomeadamente no comportamento da biosfera e suas interacções com a atmosfera.

*ANTÓNIO DE BRUM FERREIRA*