

## METEOROLOGIA

# Previsões detalhadas

*Inpe desenvolve modelo avançado para prever o tempo com alta resolução*

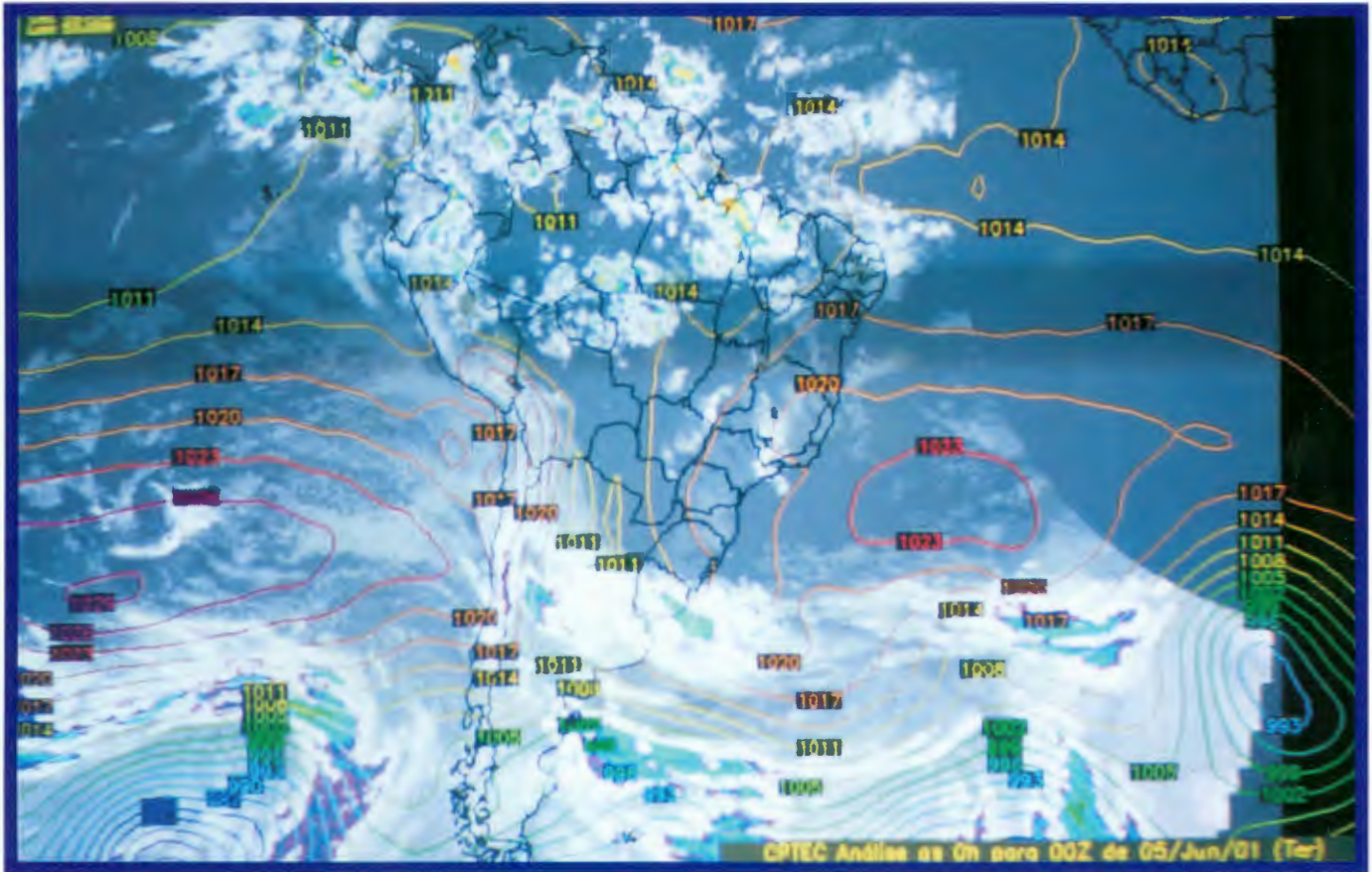
Um novo e avançado modelo de previsão do tempo recebe os últimos retoques no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). Com ele, o Brasil se insere no grupo de países mais desenvolvidos em previsão do tempo, acompanhado dos Estados Unidos, do Canadá, da Austrália e de nove países europeus.

O salto de qualidade que permitirá uma previsão mais detalhada em escala regional foi proporcionado pelo modelo Eta (nome de uma letra do alfabeto grego), desenvolvido na Universidade de Belgrado, Iugoslávia, e aprimorado nos Estados Unidos. No Brasil, as adaptações do sistema foram coordenadas pelo físico Prakki Satyamurty, chefe do Laboratório de Meteorologia e Oceanografia do CPTEC e presidente da Sociedade Brasileira de Meteorologia. A instalação do Eta é um avanço em termos de confiabilidade e, sobretudo, de resolução, com previsões mais detalhadas para toda a América do Sul.

O CPTEC já abastece todo o país com previsões de prazo curto (72 ho-

ras), médio (sete a dez dias) e longo (até um trimestre). E também em particular uma carteira de 30 clientes que inclui Petrobras, Eletrobrás, Eletropaulo, Operador Nacional de Sistemas Elétricos, Cargill, Nova Dutra, Folha de S. Paulo, TV Record, TV Vanguarda e Band-Vale. “Direta ou indiretamente, toda a previsão de tempo feita no Brasil passa pelo CPTEC”, diz Satyamurty. “Nossa homepage – [www.cptec.inpe.br](http://www.cptec.inpe.br) – atualiza a cada 12 horas mais de 600 páginas de previsões meteorológicas e contabiliza 25 mil acessos por mês.”

Além da previsão do tempo, a equipe monitora queimadas e risco de queimadas – especialmente no grande arco do desmatamento, que



Mapas abrangentes: à esquerda, distribuição das áreas de alta e baixa pressão à 0 hora de Greenwich do dia 5 de junho e, acima, a nebulosidade vista pelo satélite no mesmo instante

inclui Rondônia, Mato Grosso, leste do Pará, Tocantins e Maranhão. Mas o principal foco de atenção do grupo é o desenvolvimento do modelo Eta.

**Seis parâmetros** - O objetivo dos modelos matemáticos usados em meteorologia é calcular a evolução de seis parâmetros: temperatura, pressão, umidade relativa do ar e vento – este com três componentes, um para cada eixo cartesiano do espaço. Conhecidos os valores desses parâmetros num determinado instante, é possível prever, por meio de extrapolações matemáticas, os valores futuros.

Para o cálculo do chamado modelo global, dividiu-se a superfície do planeta em quadrículas (quadra-

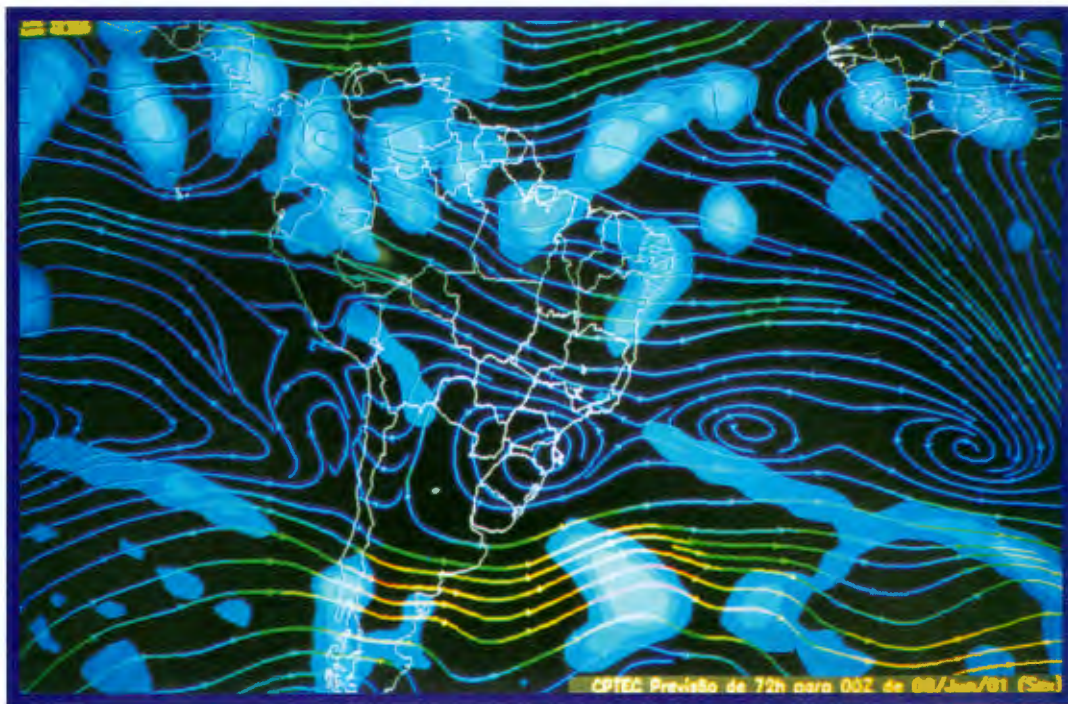
dos) com 100 quilômetros (km) de lado – o que significa um nível de resolução de 100 km x 100 km. Ou seja, localidades que tenham até essa distância entre si recebem a mesma previsão. Assim, o máximo que se consegue em previsão de tempo é estimar valores médios para áreas relativamente extensas.

Já com o modelo regional Eta será possível obter, para toda a América do Sul e oceanos adjacentes, uma resolução de 40 km x 40 km – o que, na prática, equivale a uma ampliação de mais de seis vezes, ou seja, a um mapa meteorológico seis vezes mais detalhado que os atuais.

Profissionais envolvidos no projeto foram treinados nos Estados

Unidos, onde se produziu a primeira versão do Eta, que entrou em funcionamento em 1997, ainda precariamente. Desde então, a equipe empenhou-se em melhorar o modelo regional, adaptando cada vez mais seus parâmetros à realidade brasileira. “Com isso, chegamos à versão atual, cuja principal novidade é a incorporação dos efeitos meteorológicos produzidos pela vegetação, que não faziam parte do modelo original”, informa a meteorologista Chou Sin Chan, chefe da divisão de operações do CPTEC. O novo Eta ganhou também uma descrição mais detalhada da topografia e uma avaliação mais sofisticada do mecanismo de formação de chuva.

O modelo cobre uma área que vai de 55 graus de latitude sul (extremo sul do continente) até 15 graus de latitude norte (mar das Antilhas) e de 30 graus de longitude oeste (Oceano Atlântico, pouco além de Fernando de Noronha) até 90 graus de longitude oeste (Oceano Pacífico, altura das Ilhas Galápagos). Estendendo-se, portanto, bem além das fronteiras do país, o que ajuda a detectar e incorporar interferências de fatores externos, como a temperatura dos oceanos.



Fluxo atmosférico 1,5 km acima do mar: manchas brancas são a chuva prevista 72 horas antes

#### Cálculos e fluidos - Nes-

sa escala continental, o modelo permite previsões de hora em hora para prazos de 12, 24, 36, 48, 60 e 72 horas. “Este último intervalo de tempo”, ressalta Satyamurty, “é o limite máximo, porque, em meteorologia, o preço que se paga pelo maior detalhamento é a diminuição do prazo de previsão. Previsões de longo prazo são necessariamente genéricas – algo como dizer que, no mês de setembro, a região do Vale do Paraíba terá um clima mais seco do que o normal. Não é possível quantificar esse ‘seco’, apenas qualificá-lo com palavras como ‘pouco’, ‘muito’ ou ‘mais ou menos’. Quando se quer mais do que isso – e é isso que o modelo regional quer –, deve-se sacrificar o prazo”.

Há duas décadas, a previsão do tempo ainda tinha muito de interpretação e dependia criticamente da habilidade do meteorologista em interpretar os dados disponíveis. Já a meteorologia moderna baseia-se essencialmente num estudo da dinâmica dos fluidos, que combina o conhecimento das leis físicas com técnicas de cálculo numérico e de computação. No Brasil, ela começou de fato em janeiro de 1995, com a chegada ao CPTEC do supercomputador

NEC SX-3, capaz de processar diariamente o modelo global numa resolução de 200 km x 200 km.

O computador atual, um SX-4, aumentou a resolução para 100 km x 100 km e o novo modelo regional permitirá alcançar a marca de 40 km x 40 km. “Já estão sendo feitos testes com quadrículas de 20 km x 20 km. E a expectativa, para daqui a dois anos, é chegar a uma resolução de 15 km x 15 km”, estima Satyamurty. “Más, para isso, é imprescindível construir uma rede de observação meteorológica mais densa e, principalmente, aumentar a capacidade de processamento de dados.”

O país já conta com cerca de 400 estações meteorológicas, automáticas ou controladas por técnicos. Elas são mantidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), que dispõe ainda de 22 estações lançadoras de balões meteorológicos: são cerca de 15 lançamentos por dia, a um custo de cerca de US\$ 300 cada. Às estações do Inmet somam-se 200 estações automáticas do Inpe e da Agência Nacional de Energia Elétrica. Os dados colhidos em todas essas sondagens acabam chegando via satélite ao mesmo destino: o supercomputador

SX-4 do laboratório do CPTEC em Cachoeira Paulista.

Capaz de realizar 16 bilhões de operações aritméticas por segundo no momento de pico, essa máquina de US\$ 5 milhões já está perto do limite de utilização: roda duas vezes por dia o modelo global, duas vezes o modelo regional e ainda é usada no aperfeiçoamento de modelos. Para chegar à resolução de 15 km x 15 km – e o maior detalhamento horizontal também implica maior detalhamento vertical –, é necessário um equipamento ainda mais potente.

A máquina da vez é o SX-6, que alcança, no pico, uma performance de 800 bilhões de operações por segundo. Junto com todos os seus acessórios, esse supercomputador vale cerca de US\$ 20 milhões. Sua compra foi autorizada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, mas falta ser efetivada. Se tudo ocorrer conforme as previsões mais otimistas, o SX-6 deverá entrar em operação em fevereiro de 2002.

**O caos do tempo** - É espantoso que um computador de 16 gigaflops (16 bilhões de operações por segundo) esteja se tornando insuficiente para as demandas do CPTEC. Ocorre que os

processos atmosféricos fazem parte da categoria de fenômenos caóticos – ou seja, nem totalmente previsíveis, como os fenômenos periódicos, nem totalmente imprevisíveis, como os aleatórios. Situados entre um extremo e outro, sua evolução pode ser estimada, mas só para um intervalo restrito de tempo. A partir daí, a alta sensibilidade de um sistema caótico a pequenas perturbações inviabiliza qualquer previsão (ver O Controle do Caos em Pesquisa FAPESP 65). Em outras palavras, os processos atmosféricos podem ser traduzidos em equações, o que não ocorre com os fenômenos aleatórios, mas não em equações lineares, só possíveis para os fenômenos periódicos. As equações da meteorologia são altamente não-lineares.

Tudo se resume a um exercício de extrapolação matemática: conhecidos os valores dos parâmetros no instante atual, determinam-se os valores futuros. O problema é que, para extrapolar uma única variável, são necessários cerca de mil cálculos. E, devido à não-linearidade das equações, ou seja, à caoticidade dos fenômenos, essas extrapolações só podem ser feitas para prazos muito pequenos.

No modelo regional, usam-se intervalos de tempo de 2 minutos. Isso significa que, para uma previsão de apenas 1 hora, é preciso fazer 30 x 1.000 cálculos. Para um dia, a quantidade de cálculos sobe para 24 x 30 x 1.000. Para o limite máximo de três dias, serão 3 x 24 x 30 x 1.000. Isso para uma única variável. Como são seis as variáveis, a conta tem que crescer um pouco mais: 6 x 3 x 24 x 30 x 1.000. E ainda estamos longe do número final, já que essa cifra diz respeito a uma só unidade atmosférica de pesquisa.

E quantas unidades são? O modelo regional divide o território sul-americano e mares adjacentes em 40.000 quadrículas de 40 x 40 km. E cada quadrícula é a base de uma coluna atmosférica, que deve ser subdivida em camadas de 250 metros de altura – o que dá cerca de 50 níveis na vertical. Multiplicando-se o número de quadrículas pelo número de

níveis, chega-se a 40.000 x 50 paralelepípedos ou unidades atmosféricas. Trata-se então de multiplicar o número de unidades pela quantidade de operações necessárias em cada unidade, o que dá 40.000 x 50 x 6 x 3 x 24 x 30 x 1.000. Fazendo as contas, chega-se a 25.920.000.000.000, ou seja, quase 26 trilhões de cálculos.

E esses cálculos não podem ser feitos no prazo de um ano, um mês, sequer um dia. Para a previsão ter alguma utilidade prática, é preciso que esteja pronta em no máximo 1 hora. Daí a necessidade de uma máquina capaz de bilhões de operações por segundo. “Nenhuma outra ciência depende tanto da computação de alto desempenho como a meteorologia”, resume Satyamurty.

**Equipe integrada** - Além da máquina, o centro precisa dispor de pessoal altamente qualificado para operá-la. Um código de previsão de tempo geralmente tem 200 mil linhas de instruções. Para dominar um conjunto de conhecimentos dessa ordem, é preciso integrar um grupo de especialistas, cuja importância fica mais evidente quando levamos em conta que os modelos meteorológicos estão em permanente evolução – não só em resoluções sempre mais altas, como em representações cada vez mais completas dos processos físicos.

A passagem do modelo global para o regional foi uma revolução na meteorologia brasileira. “Podemos estimar melhor a influência do

relevo, da vegetação e dos recursos hídricos”, diz Chou Sin Chan. Ela exemplifica: “Aquilo que, numa visão de 100 por 100, parecia ser uma floresta contínua revelou áreas de pastagem, rios, lagos, etc”.

E continua: “Em baixa resolução, podemos falar em chuva entre Cachoeira Paulista e o Rio de Janeiro. Quando aumentamos a resolução, percebemos que a chuva, na verdade, se estende apenas até Resende e não atinge o Rio. Em baixa, somos capazes de prever que uma frente fria entrará no país amanhã. Em alta, chegamos a um intervalo mais próximo do horário real”.

“No enfoque global não existe, por exemplo, o Vale do Paraíba”, destaca Chou. O modelo 100 por 100 só considera uma média entre as influências do Vale, da Serra da Mantiqueira e da Serra do Mar. Perde-se, portanto, a informação de um fenômeno típico da região, que é a “circulação de vale”, responsável pela formação de nevoeiros. “Esse processo é contemplado pelo Eta, que permite prever também fenômenos como a geadada, muito difíceis, senão impossíveis de determinar a partir do modelo global. O mesmo vale para a influência das montanhas no bloqueio da entrada da brisa marítima.”

**Especialistas avançados** - “A maior resolução é mais uma questão de engenharia, relacionada com o desenvolvimento de máquinas”, diz Chou. “Outra coisa é a representação de processos físicos que possuem escala bem menor e, por isso, escapam ao modelo global.” São fenômenos como as turbulências e a troca de energia entre solo, biosfera e atmosfera. “Então, temos um grupo especializado em convecção – transmissão de calor na atmosfera –, outro em superfície e vegetação e um terceiro em orografia para o estudo das montanhas. Ao lado da aquisição de máquinas mais potentes, nosso desafio é melhorar o conhecimento dos processos físicos – e isso depende de pesquisa e formação de pessoal.” •

## O PROJETO

*Processos Físicos em Modelos Regionais e Melhoria na Qualidade das Previsões de Tempo na América do Sul*

### MODALIDADE

Linha regular de auxílio à pesquisa

### COORDENADOR

PRAKKI SATYAMURTY – CPTEC-Inpe

### INVESTIMENTO

R\$ 65.876,21 e US\$ 163.344,79