

1985: um forte terremoto atingiu a Cidade do México. Dez mil pessoas morreram, vinte mil ficaram feridas e centenas de prédios são destruídos, como esse edifício-garagem no centro da capital

TERREMOTO

Placa tectônica, carrasco do Japão

A crosta terrestre é formada por 22 placas, que se movimentam constantemente. O Japão se situa na confluência de três delas, daí a frequência com que seu território sofre terremotos

ROBERTO C. G. CASTRO

A tragédia foi anunciada por um estrondo, forte e ameaçador. Em vinte segundos, um terremoto devastou a cidade de Kobe, no Japão, destruindo mais de 20 mil prédios e matando cerca de 5.000 pessoas. Era mais um das dezenas de fortes tremores que somente neste século sacudiram o Extremo Oriente.

de terra que assolam as ilhas de Java, Sumatra e Indonésia, no Sudeste asiático, têm como causa o encontro das placas Indo-Australiana e do Pa-

cífico.

Toda essa movimentação da crosta terrestre acontece porque as placas tectônicas — que possuem em

média 100 quilômetros de espessura e se situam numa camada rígida denominada litosfera — estão literalmente boiando sobre o manto, uma

"capa" de rochas fundidas de mais de 2.500 quilômetros de espessura que envolve o núcleo da Terra. "Ao contrário do que o leigo pode ▶

Ciência evitou tragédia ainda maior em Kobe

Quem viu a destruição feita em janeiro pelo terremoto em Kobe pode não acreditar, mas a engenharia de estrutura é um avançado ramo da Ciência capaz de projetar edifícios quase imunes aos grandes tremores de terra. "Se esse mesmo terremoto tivesse ocorrido em Kobe há 50 anos, teria havido muito mais mortes e destruição", afirma o professor Reyolando Manoel Lopes Rebello da Fonseca Brasil, da Escola Politécnica da USP e especialista em dinâmica de estruturas.

O segredo dos engenheiros que projetam obras resistentes a tremores está no domínio da frequência da estrutura — a velocidade com que ela pode balançar pendularmente de um lado para outro sem cair, denominada "frequência natural" do edifício e medida em ciclos por segundo. Os terremotos também têm uma frequência, facilmente medida pelos sismólogos. Quando a frequência do terremoto e a frequência do edifício são semelhantes, ocorre o que os engenheiros chamam de "ressonância". O movimento se torna muito mais intenso e exige

do edifício uma frequência maior do que ele suporta. O resultado é a queda do edifício. "Munidos de estatísticas sobre as frequências com que terremotos podem atingir uma certa região, os engenheiros projetam os edifícios com frequências naturais maiores ou menores do que a do possível tremor", explica Reyolando, lembrando que em países como Estados Unidos, Japão e México o código de obras já assinala as frequências dos tremores mais fortes. "Assim eles evitam que a estrutura se perca." Para chegar à frequência ideal de um edifício, os engenheiros utilizam uma fórmula aparentemente simples, em que a frequência é igual à raiz quadrada da rigidez sobre a massa. Qualquer estudante da Poli consegue calcular a massa de uma estrutura, mas a rigidez só pode ser conhecida com o desenvolvimento, a partir do final da década de 50, de programas de computador denominados Métodos dos Elementos Finitos, capazes de elaborar intrincados cálculos sobre dinâmica de estruturas. "Sem esses programas, não teríamos hoje o conhecimento

que permite a construção de edifícios mais seguros contra tremores", lembra Reyolando. Além da frequência correta, a escolha do material com que um edifício vai ser construído é outro cuidado indispensável para que a estrutura resista a um tremor, segundo o professor da Poli. De acordo com ele, o aço é ideal para a construção civil em regiões sujeitas a terremotos. Nos Estados Unidos e no Japão, mais de 80% dos prédios construídos em zonas atingidas por abalos sísmicos são feitos de estrutura metálica. "Com isso, os estragos causados por um tremor são muito menores do que seriam alguns prédios construídos com concreto armado também é indicado para regiões sujeitas a abalos. As fundações dos edifícios, por sua vez, devem ser as mais profundas possíveis, a fim de se sustentar nas rochas firmes. O professor da Poli lembra, porém, que a segurança absoluta não existe. "Um edifício quase 100% seguro

contra terremotos terá um custo tão alto que se tornará inviável", explica. Uma estrutura considerada segura, diz, pode ter vidros quebrados e paredes rachadas por um abalo sísmico. "O importante é que ela fique de pé depois do tremor." Essa preocupação se tornou lei em cidades norte-americanas e japonesas, que exigem a construção de edifícios essenciais — como hospitais, por exemplo — de acordo com normas de segurança contra terremotos. A construção de estruturas capazes de assimilar abalos sísmicos esbarra na arquitetura. Quanto mais seguro for o edifício, maiores serão os pilares e colunas — que ocuparão um espaço que o proprietário certamente preferiria deixar livre. Preocupado com a beleza da estrutura, o arquiteto pode projetar um prédio com menor largura — o que vai torná-lo menos rígido e, com um tremor, mais suscetível a queda. "O edifício tem que ser construído tendo em vista todos esses aspectos — segurança, economia e beleza. Do contrário, será inviável", conclui o professor.



Marcelo Assumpção, do Instituto Astronômico e Geofísico: é muito remota a probabilidade de ocorrer um grande tremor no Brasil

▶ pensar, o interior do planeta está em constante movimento", diz Sadowski. Composto por uma liga de ferro e níquel, o núcleo da Terra tem um raio de 3.000 quilômetros e está sob uma temperatura de 4.000 graus Celsius.

Previsões limitadas

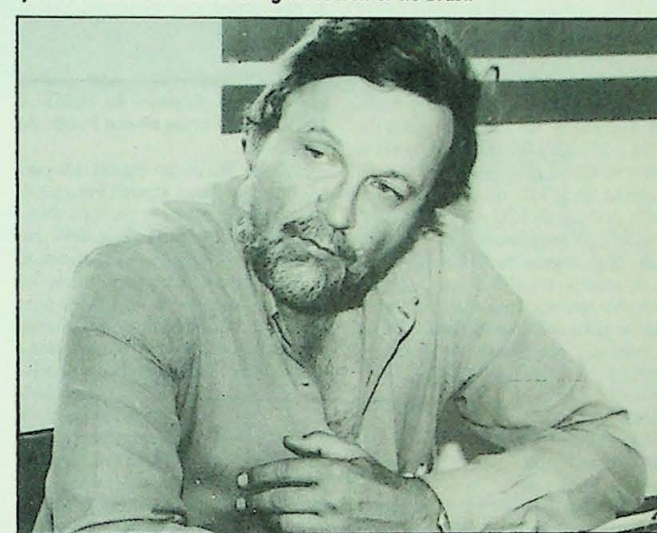
Embora conheça o comportamento das placas tectônicas, a Ciência ainda não conseguiu prever com exatidão a ocorrência de um tremor. Os instrumentos que medem a pressão sobre as rochas chegam no máximo a cinco quilômetros de profundidade, enquanto o hipocentro de um terremoto — o local abaixo da superfície terrestre onde se inicia a rachadura — pode se localizar a até 700 quilômetros, embora nesse caso as vibrações cheguem à superfície com intensidade mínima. Depois dessa profundidade — a maior que uma placa atinge quando mergulha por baixo de outra placa —, as rochas se "plastificam" com a alta temperatura ambiente e não produzem mais tremores. Também imprevisíveis, os tremores mais temíveis e destruídos têm o hipocentro a menos de 60 quilômetros de profundidade, chamados de "rasos" e capazes de abrir grandes fendas na superfície.

Os diferentes tipos de rocha existentes também representam uma dificuldade para a previsão de terremotos. Como a resistência das placas é variável, uma pequena pressão sobre rochas menos resistentes já é suficiente para provocar grandes tremores. Outras rochas, muito resistentes, são capazes de agüentar pressões imensas sem se romper. "O controle da Ciência sobre os terremotos ainda é muito limitado", analisa Sadowski. "Nós não conseguimos medir a pressão sobre rochas a grandes profundidades e mesmo próximo à superfície a medição não tem precisão suficiente."

Os cientistas contam apenas com indícios que acusam a possibilidade de um terremoto. Um deles são as deformações do solo, que se aceleram antes de um tremor — daí o esforço dos cientistas do Japão em realizar levantamentos topográficos constantes em todo o país. Também a velocidade do som nas rochas — que varia de 5.000 a 6.000 metros por segundo — pode indicar a iminência de um tremor. Antes do abalo, essa velocidade tende a se alterar. Os terremotos podem ser previstos também através da análise dos microtremores, que ocorrem continuamente na crosta terrestre e aumentam ou diminuem às vésperas de um grande tremor. "Essas observações podem ser usadas para a previsão de terremotos, mas o que ocorre numa região pode não ser válido para outra região", diz Sadowski.

Tremores no Brasil

Ao contrário do Japão, o Brasil é



Georg Sadowski, do Instituto de Geociências: o fundo do Oceano Pacífico está entrando embaixo do Japão

um país geologicamente privilegiado. Localizado no centro da placa da América do Sul, o território brasileiro se encontra a milhares de quilômetros de qualquer falha geológica. A energia liberada pelo encontro das placas de Nazca e da América do Sul abala com violência toda a região dos Andes, mas chega ao Brasil com intensidade quase imperceptível. Isso não significa, porém, que o País está definitivamente livre dos terremotos. "Não há motivos geológicos que impeçam a ocorrência de terremotos no Brasil", afirma o sismólogo Marcelo Assumpção, do Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) da USP. "Apenas a probabilidade de um grande tremor ocorrer aqui é muito pequena."

Mesmo assim, o Brasil apresenta regiões mais propensas a tremores. Elas estão localizadas no Ceará, Rio Grande do Norte, Mato Grosso, Amazonas e na Plataforma Continental. Segundo os cientistas, vários fatores contribuem para a ocorrência desses abalos, quase sempre de intensidade muito baixa. No Nordeste, os tremores ocorrem porque a região tem uma crosta fina, inferior à média de 100 quilômetros, está mais próxima da cordilheira Meso-Atlântica — a falha geológica que separa as placas da América do Sul e a da África — e sente o rebatimento da Plataforma Continental, sobrecarregada pelos sedimentos que o continente deposita sobre ela.

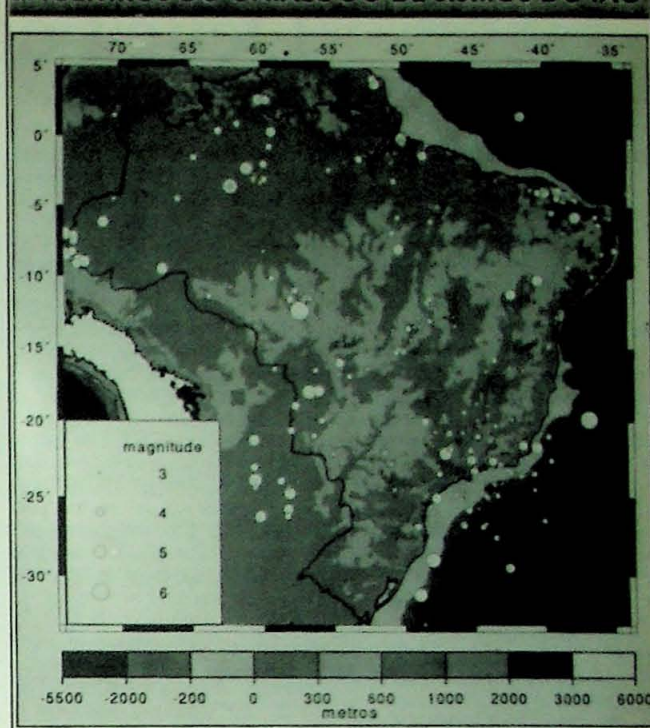
Vinte segundos, cinco mil mortos

O terremoto que devastou Kobe no dia 17 de janeiro foi o pior dos últimos 70 anos no Japão. A tragédia matou cerca de 5.000 pessoas, deixou 300 mil desabrigados — um quinto da população da cidade — e destruiu mais de 20 mil prédios. Entre os mortos estão oito dekassegui, os brasileiros descendentes de japoneses que trocaram o Brasil pelo Japão em busca de melhores condições de vida. As autoridades japonesas calcularam os prejuízos em US\$ 50 bilhões.

Com duração de vinte segundos, o terremoto atingiu 7,2 graus na escala Richter. A alta magnitude do tremor se deu devido à proximidade da rachadura. O epicentro, o ponto na superfície de onde a energia é irradiada, localizou-se na baía de Osaka, a apenas 30 quilômetros do centro de Kobe. O hipocentro —

o local abaixo da superfície em que a rachadura começa — foi registrado também a cerca de 30 quilômetros, uma das mais baixas ocorridas até hoje. O tremor foi consequência dos movimentos das placas tectônicas do Pacífico, da Ásia e das Filipinas, cujas bordas se localizam próximo ao território japonês. Pelo menos 40 mil casas ficaram sem água e eletricidade. Os incêndios provocados por escapamento de gás destruíram mais de 1 milhão de metros quadrados de área construída. Após o tremor, a cidade apresentava um cenário de guerra, com a queda de edifícios, pontes e viadutos. Fendas de dezenas de metros foram abertas no solo. Kobe foi uma das cidades destruídas pelos ataques dos Estados Unidos no final de Segunda Guerra Mundial, que deixaram

EPICENTROS DO CATÁLOGO DE SISMOS DO IAG



O Mato Grosso está sujeito a tremores devido à sua relativa proximidade com a falha da placa da América do Sul. Quanto à Amazônia, os pesquisadores brasileiros ainda não têm uma explicação para os tremores de terra registrados na região. "Sabemos que ali há uma compressão no sentido norte-sul, mas não temos uma resposta definitiva", destaca Assumpção.

Os tremores registrados no Brasil dificilmente atingem a marca dos 5 graus na escala Richter, considerados de média intensidade. O mais forte tremor verificado no País ocorreu em 1955 no Mato Grosso. Apesar de sua magnitude relativamente alta — 6,2 graus na escala Richter —, o terremoto atingiu uma desabitada região a 400 km ao norte de Cuiabá e, por isso, quase não foi percebido. Tremores de magnitude de 5 graus Richter já foram sentidos em São Paulo (1922), Amazonas (1986) e no litoral do Rio Grande do Sul (1990). "Mesmo as regiões que estão distantes de áreas de risco podem sofrer abalos devido às fraturas das rochas a grandes profundidades", explica Assumpção. "É como uma grande mesa de vidro que se quebra numa ponta. As rachaduras podem chegar até a outra extremidade da mesa."

Elaborada em 1935 pelo sismólogo norte-americano Charles Richter, a escala que leva seu nome registra a magnitude dos terremotos através das vibrações que produzem. Cada grau dessa escala — que não tem um

limite máximo — corresponde a vibrações dez vezes maiores. Assim, um terremoto de grau 5 produz vibrações dez vezes superiores a um terremoto de grau 4, enquanto as vibrações de um tremor de grau 6 são dez vezes maiores do que as do tremor de grau 5. Os maiores terremotos ocorreram no Chile, em 1960, e na Colômbia, em 1906. Ambos atingiram a marca de 9 graus na escala Richter, o máximo até hoje registrado.

Vulcões e maremotos

A movimentação das placas tectônicas é responsável também pela existência dos vulcões e maremotos. Enquanto os maremotos são provocados por tremores de terra que ocorrem no fundo dos oceanos, os vulcões surgem nos pontos em que uma placa mergulha sob outra placa. Ao descer até as profundezas da Terra e tocar no manto, ela é aquecida a ponto de ter suas rochas derretidas. Com a pressão do vapor produzido pelo contato da água do oceano com o manto, as rochas são expelidas na forma de lava através de fraturas na superfície da Terra.

Os vulcões existentes na Itália — a exemplo do Vesúvio, que destruiu as cidades de Pompéia e Herculano no ano de 79 d.C. e hoje dado como extinto — são detonados pelos movimentos da placa Africana, que desliza para baixo da placa Européia. O mergulho da placa do Pacífico sob a placa Asiática e o deslizamento da placa de Nazca para baixo da placa da América do Sul deram origem, respectivamente, aos vulcões existentes no Japão e nos Andes.

Os vulcões podem ocorrer também nos oceanos. No fundo do Oceano Atlântico, movendo-se em direções opostas, as placas da América do Sul e Africana estão se separando. O espaço vazio que resulta dessa separação é preenchido pelas rochas fundidas do manto, que são expelidas sob forte pressão e se solidificam, "fechando" novamente o espaço aberto pelo deslocamento das placas.

Ao descobrir esses fenômenos, os cientistas provaram a teoria da separação dos continentes. As rochas próximas aos continentes possuem a idade de 130 milhões de anos — data do início da separação. Simetricamente, de um e de outro lado do oceano, à medida que se afastam do continente, as rochas vão se tornando mais jovens até chegar na cordilheira Meso-Atlântica, onde novas rochas fundidas se solidificam para preencher o vazio deixado pela separação. "Está tudo escrito no fundo dos oceanos", diz o professor Sadowski.