

A background image of a seismogram with a yellow-to-orange gradient. The seismogram shows several distinct seismic wave patterns. A pen or stylus is visible on the right side, tracing the lines.

# REFLEXOS NO BRASIL DE TERREMOTOS DISTANTES

*Moradores de prédios em diversas cidades brasileiras, em especial São Paulo, Brasília e Manaus, têm se assustado, nas últimas décadas, com abalos sísmicos que fazem com que os apartamentos balancem, as janelas trepidem e objetos se movam. Muitos deixam suas residências às pressas, acreditando que está ocorrendo um terremoto. O fenômeno, na verdade, é consequência de terremotos, mas em raros casos estes ocorreram no Brasil. Em geral, o que as pessoas sentem são reflexos de terremotos distantes. Tais reflexos são sentidos desde 1906 nos grandes centros urbanos brasileiros, embora tenha havido um aumento de ocorrências na última década. Usando a sismologia, busca-se compreender como e por que ocorrem os reflexos e o que causou o aumento de sua ocorrência no país.*

**George Sand França**

*Observatório Sismológico, Universidade de Brasília*

**Marcelo Assumpção**

*Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas,  
Universidade de São Paulo*

**Em 13 de novembro de 2006**, o jornal *Folha de S. Paulo* publicou notícia com o título 'Reflexos de terremoto na Argentina atingem quatro estados e o DF'. O abalo tinha acontecido, a grande profundidade, na província argentina de Santiago del Estero, e teve magnitude 6.8 na escala Richter (ver 'Tremores sob medida'). Outra notícia no mesmo jornal, em 16 de agosto do ano passado, dizia: 'Tremor de terra sentido por moradores de Manaus.' Nesse caso, os manauaras sentiram os reflexos de um forte terremoto (de magnitude 8) ocorrido no Peru, que causou 510 mortes naquele país.

Ultimamente, essas notícias tornaram-se frequentes, e os 'tremores' chegam a assustar a população e até provocam a evacuação de grandes edifícios. No último dia 22 de abril, um tremor de magnitude 5.2, na plataforma continental brasileira, a 215 km da cidade paulista de São Vicente, foi sentido em várias cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná

e Santa Catarina. Entretanto, muitos dos abalos que assustam moradores de grandes centros urbanos brasileiros são reflexos de terremotos andinos – ocorridos na região da cordilheira dos Andes, no oeste da América do Sul.

O primeiro registro no Brasil de terremotos desse tipo, decorrentes da influência andina, ocorreu em 17 de agosto de 1906, às 0h40 (horário de Greenwich). O terremoto, com profundidade de 35 km e magnitude de 8.4, ocorreu no Chile. Seus reflexos foram sentidos em alguns locais de Mato Grosso. Desde então, foram registrados reflexos de 51 eventos distantes em cidades brasileiras, com notável aumento dessa ocorrência nos últimos 10 anos nas cidades de São Paulo, Manaus, Curitiba e Brasília. Esse aumento nos deixou curiosos, fazendo com que buscássemos, por meio da sismologia, respostas para esses reflexos no Brasil.

## TREMORES SOB MEDIDA

A escala Richter, convenção usada internacionalmente para medir a intensidade de terremotos, foi proposta em 1935 pelos sismólogos norte-americanos Beno Gutenberg (alemão de nascimento, 1889-1960) e Charles F. Richter (1900-1985). Com base na amplitude dos registros sismológicos de grande número de tremores, eles formularam uma escala progressiva, partindo de abalos muito fracos, que convencionaram ser equivalentes a zero (os equipamentos atuais registram abalos até mais fracos), e estabelecendo que cada nível dessa escala (1, 2, 3 etc.) corresponderia a um aumento de 10 vezes na intensidade, em relação ao nível anterior. Não há um limite superior na escala Richter, e os terremotos mais intensos já registrados atingiram magnitudes próximas a 9 (terremotos com essa magnitude são um bilhão de vezes mais intensos que os de magnitude zero).

De modo geral, a primeira explicação é a de que qualquer terremoto gera oscilações (ondas sísmicas) que podem, dependendo da energia liberada pelo fenômeno e de fatores geológicos, se propagar na crosta terrestre até longas distâncias. Os prédios mais altos sentem essas ondas sísmicas com maior facilidade.

Quando acontecem terremotos com consequências graves (em 1976, na China, cerca de 250 mil pessoas morreram em um desses eventos), surgem dúvidas e questionamentos sobre certas definições tão distantes da nossa realidade. As mais comuns são as seguintes: O que é um terremoto? Por que tantos terremotos

ocorrem na costa oeste da América do Sul? Acontecem – ou acontecerão – terremotos com a mesma magnitude no Brasil? O fenômeno tem alguma relação com o aquecimento global? Por que um terremoto tão distante é sentido em cidades brasileiras?

## PLACAS EM MOVIMENTO

Para obter as respostas é preciso, em primeiro lugar, compreender um termo científico já bastante usado na mídia: a ‘teoria das placas tectônicas’. A camada exterior da Terra, a litosfera, está dividida em vários blocos que se movem lentamente, formando um quebra-cabeça dinâmico. Tais blocos, chamados de placas litosféricas ou tectônicas, têm espessura em torno de 100 km e se movimentam sobre a camada logo abaixo, denominada astenosfera, onde as rochas, em função das elevadas temperaturas, são mais ‘plásticas’ (não se quebram).

Os limites entre essas placas são de três tipos: a) divergentes, nos quais as placas afastam-se uma da outra, abrindo espaço para material vindo da astenosfera, que é resfriado e se solidifica; b) convergentes, nos quais duas placas colidem e uma é forçada a deslizar para baixo da outra, sendo lentamente destruída ao entrar na astenosfera (figura 1); e c) conservativos, nos quais as placas deslizam

Figura 1. As placas tectônicas distribuem-se por toda a Terra – as setas indicam o movimento relativo nas margens das placas ativas, e as linhas vermelhas indicam os limites convergentes, como o das placas de Nazca e Sul-americana, próximo à costa oeste da América do Sul

FONTES: UNIVERSIDADE DO TEXAS (SOBRE IMAGEM DA NASA)

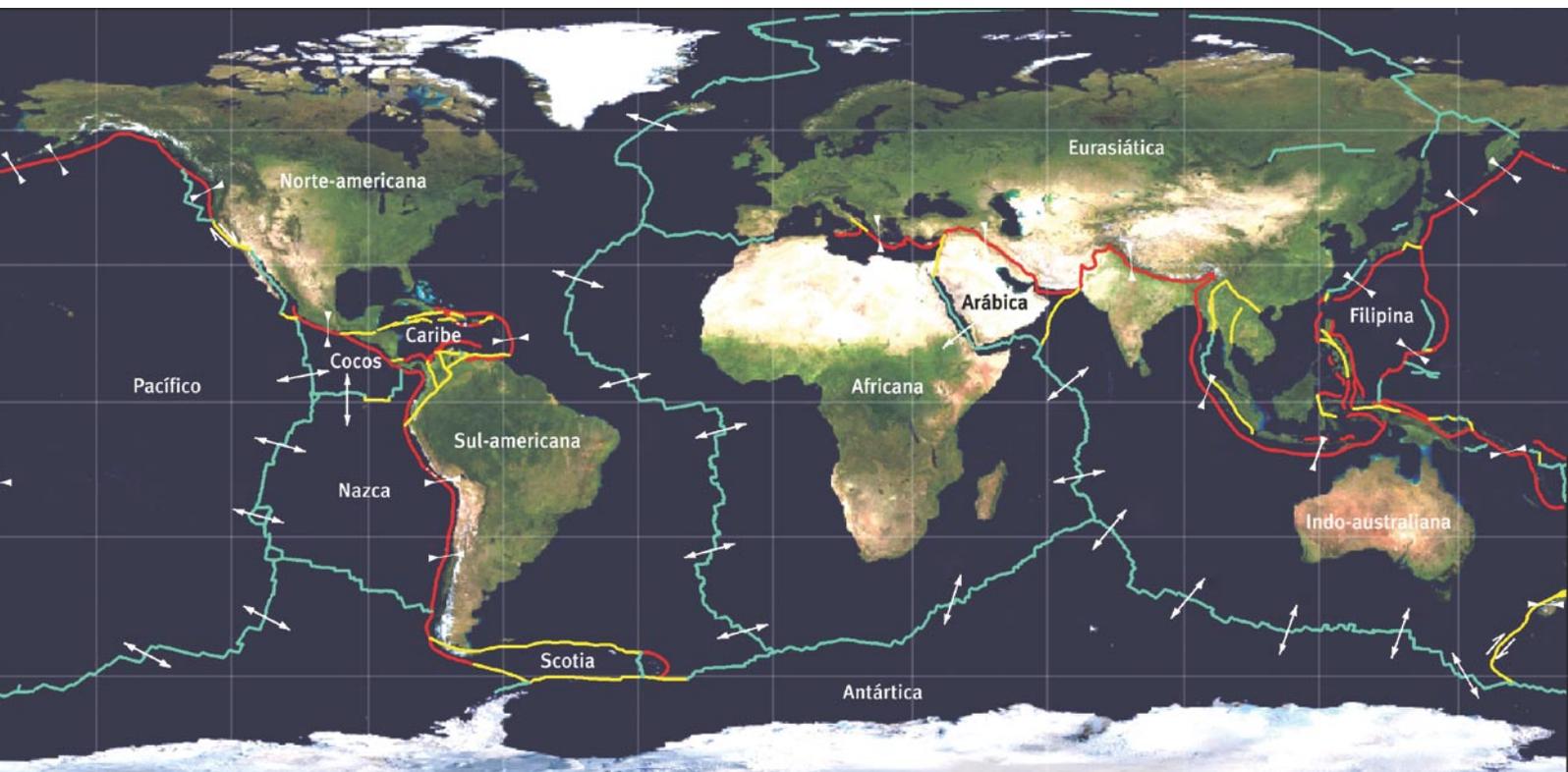


Figura 2. A placa oceânica de Nazca, à esquerda, por ser mais densa, mergulha sob a placa continental Sul-americana, à direita, em um processo que causa tensões. Onde as rochas não suportam essas tensões ocorrem os terremotos (a figura não está em escala)

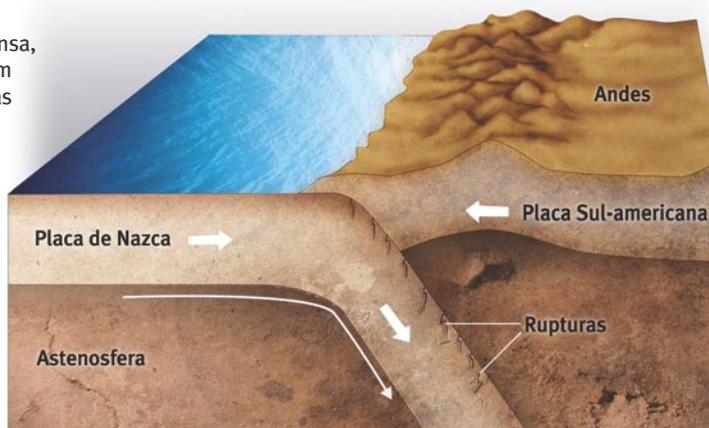
lateralmente uma em relação à outra, sem geração ou destruição de placa. A destruição total de uma placa, nos limites convergentes, vai até 700 km abaixo da superfície, ou seja, essa é a profundidade máxima de um terremoto.

O lento deslocamento das placas tectônicas decorre do movimento de convecção existente no manto plástico, abaixo da litosfera (nesse movimento, a rocha, sob condições de alta temperatura, comporta-se como um material plástico-viscoso, migrando lentamente para cima). Os blocos, ao se deslocar, provocam o acúmulo de tensões, principalmente em suas bordas. Quando essas tensões atingem o limite de resistência das rochas, ocorre a ruptura (ou terremoto), liberando parte da energia acumulada em forma de ondas sísmicas e parte em forma de calor. São essas ondas – vibrações das rochas – que, ao chegar à superfície, provocam danos ou desastres.

Com o conceito de terremoto em mente, vamos para outra pergunta. Por que acontecem terremotos na costa sul-americana? Na América do Sul, a costa do Pacífico é um limite de convergência entre duas placas tectônicas, a de Nazca e a Sul-americana. Como a placa de Nazca é mais densa, ela mergulha sob a placa Sul-americana (figura 2). Esse mergulho contínuo levará à destruição completa da placa de Nazca, que será absorvida pelo manto da Terra. Por causa do contato entre as placas, os terremotos acontecem em toda a costa sul-americana do Pacífico e na costa do Atlântico, ao norte, onde a placa Sul-americana encontra a Caribenha.

## TERREMOTOS NO BRASIL

O Brasil, então, está livre de terremotos? Em parte essa afirmação é pertinente, já que nosso país situa-se no centro da placa Sul-americana. Na verdade, porém, não estamos totalmente livres de terremotos, pois ocorrem abalos sísmicos no interior de placas (terremotos intraplacas). No entanto, a ocorrência destes é menor no Brasil que em qualquer região de limites de placa. O maior tremor de terra registrado no país aconteceu em 1955 em Porto dos Gaúchos (MT), e teve magnitude 6.2. Não causou preocupação ou danos à população, já que era uma região pouco habitada na época. Em 1986, em João Câmara (RN), um terremoto de magnitude 5.1 abalou a cidade, destruindo algumas casas e assustando a população da zona rural. Nessa região a atividade



sísmica continua até hoje, com magnitudes menores. Há alguns meses, em 9 de dezembro de 2007, um tremor de magnitude 4.9 na localidade de Caraíbas, no município de Itacarambi (MG), destruiu várias casas e causou a morte de uma criança – a primeira vítima fatal por terremoto no Brasil.

Várias hipóteses procuram explicar essa sismicidade intraplaca. A mais aceita, proposta pelo sísmólogo norte-americano Lynn R. Sykes em 1978, é a de que a área de atividade sísmica provavelmente é uma zona de fraqueza. Portanto, qualquer alteração de esforço local causaria um tremor. No território brasileiro, além das áreas citadas, existem outras com atividade sísmica no Nordeste (Rio Grande do Norte e Ceará), no Sudeste (na plataforma continental, ao largo da costa) e no Centro-oeste (na chamada ‘faixa sísmica Goiás-Tocantins’) (figura 3).

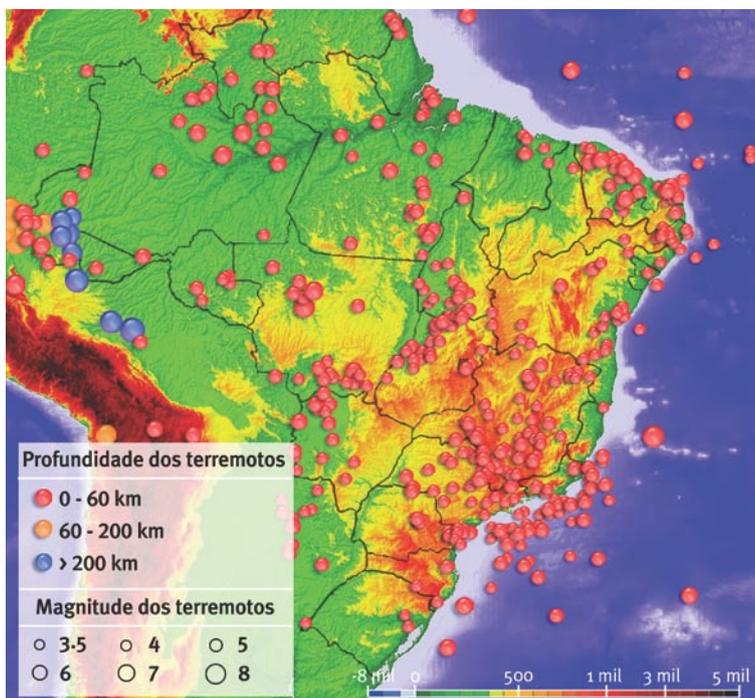
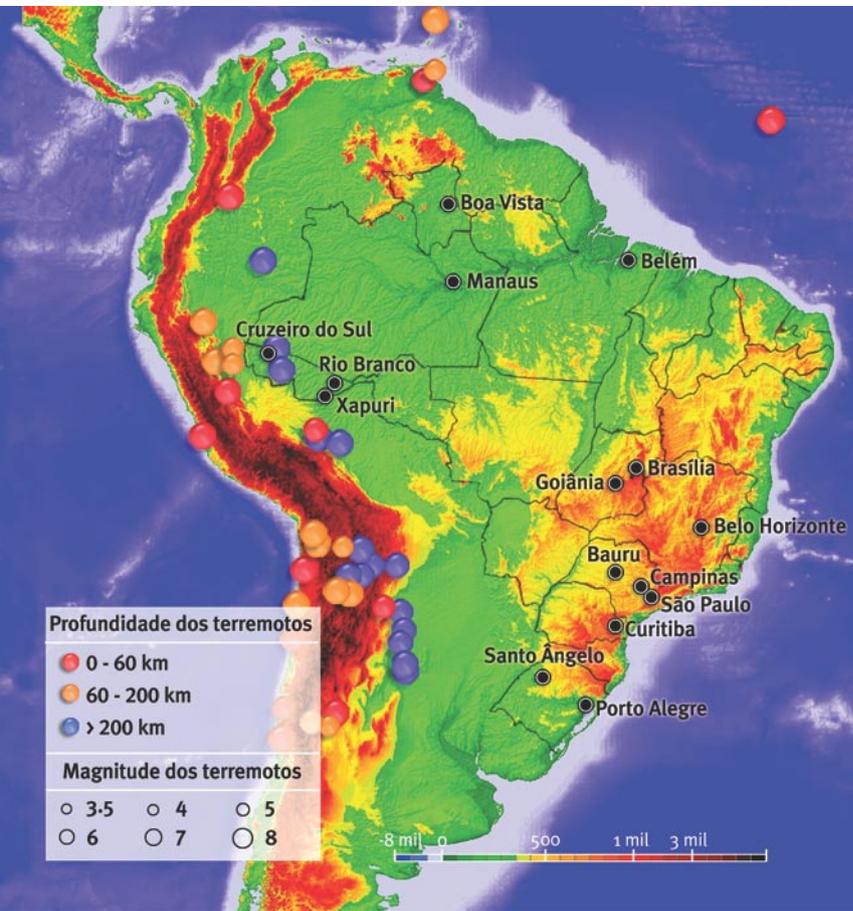


Figura 3. O mapa da sismicidade brasileira mostra que desde 1720 (e até 2007) ocorreram tremores de terra com magnitude acima de 3.5 em diversas áreas do país, embora nenhum deles tenha atingido a magnitude 7



Um dos temas mais discutidos hoje pela mídia é o aquecimento global. Mas esse aquecimento tem alguma influência sobre o número de terremotos que acontecem no mundo? A resposta mais sensata é: não. O movimento das placas resulta dos fluxos de rochas no interior do planeta, ou seja, do lento movimento de rochas 'amolecidas' pelas elevadas temperaturas – que chegam a 3.000°C – em grande profundidade. Já a variação de temperatura na superfície decorrente do acúmulo de gases como o

Figura 4. Vários terremotos andinos com magnitude acima de 5 foram sentidos em diferentes cidades brasileiras – as principais cidades onde isso aconteceu estão indicadas no mapa

dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera é, segundo os cientistas, de cerca de 3°C, no máximo. Além disso, a litosfera é uma camada rígida que vai da superfície ao nível onde a temperatura atinge 1.200°C. Portanto, até o presente momento, a influência do aquecimento global no movimento das placas – e, portanto, nos terremotos – é desprezível.

FONTE: FRANÇA E ASSUMIÇÃO

## OS REFLEXOS DISTANTES

Por que cidades como São Paulo, Manaus, Brasília e Curitiba sentem um terremoto ocorrido nos Andes ou no Caribe? Desde 1906, 51 terremotos na costa oeste sul-americana, com magnitude maior que 5, foram sentidos no Brasil (figura 4). As regiões sísmicas que mais provocam esse fenômeno são Jujuy, Santiago Del Estero e San Juan, na Argentina; área costeira e centro do Peru; área costeira do Chile; e região sudeste da Bolívia. Dos abalos distantes sentidos no Brasil, 80% aconteceram em profundidade superior a 100 km.

Quando ocorre um terremoto, são geradas vibrações sísmicas. Tais vibrações, conhecidas como ondas sísmicas, propagam-se pelo interior da Terra e são registradas em sismógrafos do mundo inteiro (figura 5). A velocidade e a amplitude dessas ondas dependem do meio que atravessam. Como as cidades de São Paulo, Curitiba e Manaus estão sobre uma bacia sedimentar, ou seja, uma região menos consolidada, as ondas são amplificadas ao entrar na bacia. Brasília é um caso particular, pois se situa sobre metassedimentos, ou seja, rochas sedimentares

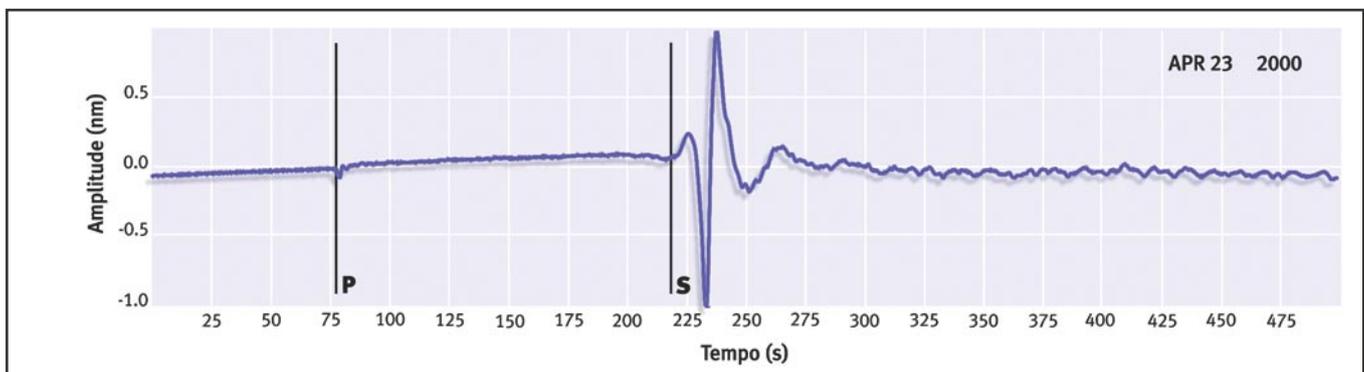


Figura 5. Os terremotos distantes são registrados em sismógrafos instalados no Brasil na forma de gráficos – o registro mostrado nesta figura, obtido na estação SPB, em Sorocaba (SDP), é de um terremoto ocorrido a 23/04/2000 em Santiago del Estero, na Argentina. As letras 'P' e 'S' indicam os dois tipos de ondas sísmicas registradas pela estação e a 'altura' das ondas 'S' indica a intensidade do abalo sentido em São Paulo

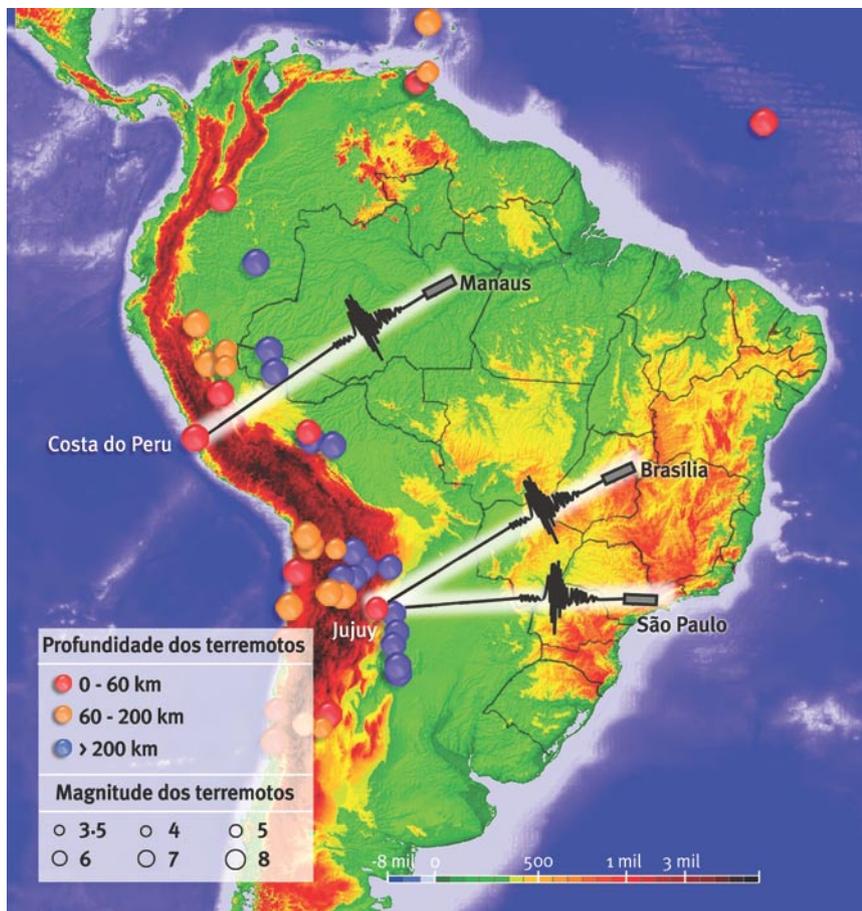
Figura 6. A orientação dos edifícios pode potencializar os reflexos de terremotos distantes. Em edifícios retangulares ‘alinhados’ com a direção de propagação da onda, e portanto perpendiculares ao deslocamento lateral do solo provocado pelas ondas S, os abalos são mais sentidos que em outros

FONTE: FRANÇA E ASSUMPÇÃO

que já começaram a se transformar em outro tipo. Situação semelhante à de São Paulo e Manaus é observada na cidade do México, onde, em setembro de 1985, o reflexo de um terremoto de magnitude 8.0 e com epicentro a mais de 370 km de distância, no oceano Pacífico, abalou toda a cidade, destruindo muitos edifícios e deixando milhares de mortos. Assim, as estruturas geológicas sob as cidades são a primeira condição para que aconteçam reflexos de terremotos distantes.

Outro aspecto importante é o fenômeno da ressonância entre a vibração do solo e os grandes edifícios. Cada objeto – inclusive edifícios – tem um período característico de oscilação natural. Quando a onda sísmica gerada em um terremoto (que também apresenta uma oscilação característica) atinge a base de um prédio, pode coincidir com sua oscilação natural. Nesses casos, surge o fenômeno físico denominado ressonância, no qual ocorre transferência de energia de um sistema oscilante para o outro. Empiricamente, calcula-se que o período de oscilação natural em edifícios com 30 andares seria próximo dos períodos predominantes nas ondas sísmicas dos terremotos andinos e, por isso, esses prédios são mais afetados pelos reflexos (ou seja, ‘balançam’ mais). O acentuado crescimento urbano no Brasil, com a construção de grande número dos chamados arranha-céus, certamente também contribuiu para o aumento das ocorrências de reflexos nas últimas décadas.

Por fim, há o aspecto – ainda em estudo – da posição dos edifícios nas áreas em que é maior o deslocamento lateral do solo (decorrente da chamada onda S), em relação à direção de propagação da onda sísmica (figura 6). Isso explicaria por que, em uma região com diversos edifícios, apenas alguns sentem de modo mais intenso os reflexos dos terremotos. Em 2000, após um terremoto em Jujuy, na Argentina, com reflexos na capital paulista, a Universidade de São Paulo fez um levantamento para diagnosticar os bairros e os prédios paulistanos que sofreram com o problema. Usando essas informações, estimamos as orientações de cinco edifícios que sentiram o abalo. Quatro desses prédios apresentavam uma orientação com risco potencial, ou seja, estavam ‘alinhados’ com a linha de propagação da onda e posicionados perpendicularmente ao deslocamento do solo. Portanto, em condição de receber toda a energia da máxima amplitude da onda S. Nesses quatro prédios, a diferença entre a orientação



do edifício e a da máxima amplitude da onda S ficou entre 5° e 37°. Os prédios onde foi realizada a análise têm formato retangular – em prédios redondos, por exemplo, a análise é mais difícil, já que não têm uma orientação definida.

Portanto, são três os aspectos que reforçam a ocorrência de reflexos distantes, principalmente de terremotos andinos, nas cidades brasileiras: prédios altos, geologia da área e orientação preferencial dos prédios. Certamente, as cidades de São Paulo, Curitiba e Manaus reúnem essas características e são suscetíveis aos reflexos de eventos distantes. Brasília reúne dois aspectos: prédios altos e orientação preferencial dos edifícios (a grande maioria deles tem formato retangular). Como a geologia, na região da capital federal, difere da observada nos outros centros citados, ainda é necessário um estudo detalhado para entender melhor os reflexos dos abalos sísmicos em Brasília.

Como os terremotos distantes, principalmente andinos, sempre ocorrerão, seus efeitos continuarão a ser sentidos no Brasil. Portanto, precisamos saber que, quando estivermos em um grande centro e dentro de um edifício com mais de 15 andares, se esse prédio começar a balançar será grande a possibilidade de que seja reflexo de um evento sísmico distante. ■

#### SUGESTÕES PARA LEITURA

- ASSUMPÇÃO, M. 'Terremotos no Brasil', in *Ciência Hoje*, v. 1, nº 6, p. 13, 1983.
- BERROCAL, J.; ASSUMPÇÃO, M.; ANTEZANA, R.; DIAS NETO, C.M.; ORTEGA, R.; FRANÇA, H. & VELOSO, J. *Sismicidade do Brasil*. São Paulo, IAG/USP, 1984.
- FRANÇA, G. S. 'Brazil seismicity', in *Bulletin of IISSE*, nº 40, p. 23, 2006.
- TEIXEIRA, W.; DE TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R. & TAIOLI, F. (Orgs). *Decifrando a Terra* (cap. 3 e 5). São Paulo, Oficina de Textos, 2001.