

Autor do livro *1755 o terramoto de Lisboa*, o geofísico João Fonseca Duarte, professor do Instituto Superior Técnico, falou à *Gazeta* sobre aquele evento e sobre os riscos sísmicos em Portugal.

Entrevista a João Fonseca Duarte

## “SABE-SE POUCO SOBRE O TERRAMOTO DE 1755”

P. - Passados 250 anos sobre o terramoto de 1755, em Lisboa, ainda subsistem dúvidas sobre as suas origens?

R. - Sabe-se surpreendentemente pouco sobre o terramoto de 1755. Na década de 80 o assunto era dado por encerrado: acreditava-se que o banco de Gorringe, uma enorme montanha submarina a Sudoeste do Cabo de São Vicente, era a estrutura responsável por esse grande sismo e pelo subsequente *tsunami*. Durante a década de 90 surgiram outras ideias quanto à geodinâmica da Península Ibérica, com destaque para o modelo de subducção incipiente, proposto por António Ribeiro e seus colaboradores. Foram então publicados novos estudos sobre os tempos de propagação do *tsunami* de 1755, baseados na interpretação dos relatos da época, que numa fase inicial pareciam apoiar esse modelo.

A descoberta por investigadores da Universidade de Bolonha, em 1999, de uma importante estrutura geológica activa ao largo da costa do Alentejo, baptizada de Falha do Marquês de Pombal, veio desviar a ênfase para essa região. Mas as dimensões da estrutura recém-descoberta eram insuficientes para explicar a dimensão do sismo – a magnitude de um sismo cresce com o logaritmo da área da rotura geológica – e vários modelos propostos em seguida tentaram combinar essa falha com outras roturas,



por vezes para Norte (caso da Falha Pereira de Sousa, entretanto detectada em estudos de geologia marinha por investigadores da Universidade de Lisboa), outras vezes para Sueste, ao largo da costa do Algarve.

Mais recentemente, foi proposto por um investigador da Universidade da Bretanha Ocidental, França, que o terramoto de Lisboa tenha sido devido a subducção no Arco de Gibraltar. Além disso, o grupo a que pertença propôs, num artigo de 2003, que a rotura geológica inicial, ao largo da costa, teria desencadeado poucos minutos depois uma rotura secundária em terra, ao longo do Vale Inferior do Tejo, a qual teria sido responsável pela extensão dos danos em Lisboa. Este modelo baseia-se no princípio, recentemente estabelecido, de que falhas geológicas separadas no espaço podem interagir através das alterações estáticas do campo de tensões que resultam dos grandes sismos. Uma das vantagens que vemos nesta interpretação para o terramoto de 1755 é uma explicação alternativa para a inundação da zona baixa de Lisboa, difícil de atribuir a um *tsunami* vindo do oceano e que, segundo este modelo, teria origem no interior do Mar da Palha. O artigo contendo esta teoria, no *Bulletin of the Seismological Society of America*, foi destacado no *Editor's Choice* da *Science* em Outubro de 2003, o que mostra como a questão é seguida com interesse pela comunidade científica. Aliás, durante a conferência internacional

comemorativa dos 250 anos do terramoto de 1755, que decorreu recentemente em Lisboa, a sessão dedicada à sismogénese do terramoto foi muito animada. O que não surpreende, em face da diversidade das propostas apresentadas, com fontes sísmicas alternativas que se distribuem por cerca de 600 km. Uma versão resumida desta controvérsia pode ser encontrada na *Science* de 1 de Abril de 2005.

Pessoalmente, creio que é necessário voltar ao ponto de partida no que respeita à interpretação dos relatos dos tempos de propagação do *tsunami*, informação crucial para localizar o epicentro do terramoto.

**P. - Até que ponto foi o acidente importante para o desenvolvimento da sismologia moderna?**

R. - É habitual referir-se que o inquérito do Marquês de Pombal, enviado a todos os párocos do país pedindo uma descrição detalhada dos efeitos do sismo na sua paróquia, foi o primeiro documento da sismologia moderna. E não é exagero porque as perguntas do questionário são bem elaboradas, tendo em conta o pouco que se sabia sobre os fenómenos sísmicos no século XVIII. Ainda hoje as respostas que foram localizadas graças a Francisco Pereira de Sousa, no início do século XX, são a fonte para quem queira investigar o assunto. O Marquês teve o mérito de ordenar a

realização do inquérito, mas o critério da elaboração das perguntas foi provavelmente do padre oratoriano Luís Cardoso, que alguns anos mais tarde publicaria um *Dicionário Geográfico* em cuja preparação adoptou metodologia semelhante.



Gravura alemã do século XVIII

Mas também a nível internacional o terramoto de 1755 impulsionou a sismologia. Os modelos que à data explicavam os terremotos pouco acrescentavam às concepções aristotélicas, que invocavam vapores subterrâneos devidos ao fogo do interior da Terra. Era no escape accidental desses ventos que residia a causa dos terremotos. Kant, nos ensaios que escreveu sobre o terramoto de Lisboa logo em 1756, adopta ainda esse modelo, embora identifique algumas contradições.

O terramoto causara *seiches* em diversos lagos da Europa, fenómeno que consiste na agitação das águas por ressonância com as ondas sísmicas, as quais podem não ser detetadas pelas pessoas nas margens. Para Kant, era forçoso que as condutas subterrâneas que levavam os vapores para baixo dos lagos passassem também sob as suas margens, e o filósofo postulou que também aí se deveriam verificar pequenas "vacilações". Surge aqui pela primeira vez a sugestão de uma onda elástica a propagar-se num meio sólido, fazendo a ligação entre a região onde o fenómeno inicial ocorreu - a região focal - e a área mais vasta em que os efeitos são sentidos. A mesma ideia foi avançada pelo físico inglês John Michell, num artigo apresentado à *Royal Society* em 1760, inspirado pelos relatos que chegaram de Lisboa. Michell usou como analogia um tapete em que um dos bordos é rapidamente levantado e baixado de novo, propagando-se essa perturbação a todo o tapete. Pela primeira vez, a fonte do sismo é explicitamente dissociada da região onde o efeito é sentido, mas, tal como Kant, Michell não abandonou totalmente o vapor aristotélico (que, capturado sob o tapete, é empurrado pelas forças elásticas e se propaga forçando a elevação das outras zonas).

Os fundamentos da elasticidade eram conhecidos desde os trabalhos de Hooke (1676), mas só no século XIX com Navier, Cauchy e Poisson se tornou possível um salto qualitativo na compreensão das ondas sísmicas, salto efectuado pelo irlandês Robert Mallet em 1846 (*On the Dynamics of Earthquakes*). A prevalência das concepções aristotélicas nos modelos sismológicos durante mais de dois mil anos é um exemplo da hesitação dos cientistas em abandonar um paradigma, antes que um outro (neste caso, a transmissão de energia através de ondas, sem transporte de um suporte material) o possa substituir.

P. - Como estão os institutos em Portugal com responsabilidades na monitorização de sismos? Estão bem equipados? Têm bons especialistas?

R. - Como o Prof. Mariano Gago declarou em 1995, quando iniciou o seu mandato como Ministro da Ciência e Tecnologia, a investigação em sismologia tem implicações ao nível da segurança das pessoas e dos bens, e por isso deve ser uma incumbência dos laboratórios do Estado.

Dada a natureza da tarefa em apreço, e as suas consequências normativas quanto à mitigação do risco, esta investigação não pode ser deixada apenas à esfera académica, por muito meritórios que sejam os seus contributos. Mas vem-se assistindo entre nós a um surpreendente desinvestimento nas geociências ao nível dos laboratórios do Estado, primeiro com a extinção dos Serviços Geológicos de Portugal e sua integração no Instituto Geológico e Mineiro (IGM), e depois com a extinção do IGM e sua integração no Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI). Parece existir a convicção de que a investigação em sismologia se reduz à operação de uma rede sismográfica nacional pelo Instituto de Meteorologia (IM), onde aliás a expressão da geofísica é residual após a reestruturação do antigo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG). Entre 1977 e 1987, sob a liderança do Prof. Luís Mendes Victor, o INMG foi um parceiro credível no esforço internacional que conduziu a extraordinários avanços na compreensão do funcionamento do planeta.

Mas, durante as duas últimas décadas, a sismologia nacional, remetida para uma apagada e vil tristeza ao nível dos laboratórios do Estado, perdeu o comboio em relação aos grandes esforços a nível internacional. A situação é agravada pelo facto de os desenvolvimentos científicos no estrangeiro não poderem ser aplicados de forma automática no nosso país, pois a investigação que falta fazer é justamente o melhor conhecimento do nosso território, das suas falhas geológicas activas e das respectivas características. Não nos podemos defender do que não conhecemos. A operação de uma rede sismográfica nacional é apenas uma parte desse esforço, e mesmo essa é feita com equipamentos obsoletos e desenquadrados da cooperação sis-

mológica internacional, baseada na partilha de registos sísmicos em tempo real. Há aqui uma grave falta de atenção dos decisores políticos, mas creio que é oportuno a comunidade geofísica nacional reflectir se tem feito o que está ao seu alcance para ganhar credibilidade e respeito. O desinvestimento nesta área tem ainda o efeito perverso de desencorajar a formação avançada. Felizmente, vai-se formando apesar de tudo uma nova geração de sismólogos portugueses, alguns a trabalhar em boas instituições internacionais. Mas seriam desejáveis condições para trazer para Portugal, e fixar, esses jovens investigadores.

P. - Como é que se prevê um terramoto? E um tsunami?

R. - No estado actual do conhecimento, a sismologia não sabe prever terramotos. Na década de 70 verificou-se um grande entusiasmo quanto à previsão sísmica - entendida como a capacidade de indicar antecipadamente o local, a hora e a magnitude de um terramoto - mas essa expectativa viu-se gorada por repetidos insucessos. O falhanço mais mediático terá sido a previsão de um sismo em 1988 em Parkfield, na Califórnia, na Falha de San Andreas. Nada se passou até 2004, tendo então ocorrido o sismo com as características previstas mas com um atraso de 16 anos!

Nas últimas duas décadas, foi-se generalizando a ideia de que os sismos poderiam ser intrinsecamente imprevisíveis, pela natureza caótica do processo de geração, associada à incerteza inerente à caracterização do estado de um sistema geológico num dado instante.

No entanto, em 1992 o sismo de Landers, na Califórnia, trouxe um dado novo, ao mostrar, sem margem para dúvida, que a ocorrência de uma rotura sísmica numa dada falha geológica podia alterar significativamente o estado de uma outra falha distinta, a uma distância de centenas de quilómetros, aproximando-a ou afastando-a da rotura, e eventualmente conduzindo a uma rotura sísmica secundária. Ficou claro a partir daí que qualquer hipótese de previsão implicaria o estudo de todas as falhas numa dada região, e a modelação numérica da tensão de Coulomb na região envolvente de uma falha que acaba de sofrer um sismo passou a ser prática corrente. É por isso que a comunidade científica está muito preocupada com a situação de Istambul, pois a sequência de sismos na Falha do Norte da Anatólia tem "empurrado" no sentido da rotura o segmento da falha situado sob o Mar de Marmara, perto de Istambul. Espera-se por isso um terramoto de dimensões trágicas naquela cidade turca nos próximos anos, mas não há previsão dada a incerteza quanto à data. Em língua inglesa este tipo de antecipação é designado por *forecasting*, para o distinguir de *prediction*. A situação é mais promissora quanto a um *tsunami*, principalmente se for gerado a uma distância considerável da

costa. A velocidade das ondas sísmicas na crosta é da ordem de 6000 m/s, o que é bem superior à velocidade de um *tsunami*, ainda que no mar alto esta possa ser muito elevada. Para comprimentos de onda muito superiores à profundidade  $h$  da água, a velocidade de fase de um *tsunami* é  $(gh)^{1/2}$ , sendo  $g$  a aceleração da gravidade. Se, imediatamente após um terramoto ao largo da costa, as ondas sísmicas forem detectadas, o epicentro, a profundidade focal e a magnitude forem calculados, e se se proceder a uma estimativa do mecanismo focal (orientação do plano de rotura, direcção do movimento relativo dos bordos da falha) no intervalo de alguns minutos, é possível avaliar com segurança a geração de um *tsunami*, e modelar o seu tempo de chegada aos diferentes pontos da costa. Estações maregráficas em ilhas ou junto à costa, ligadas em tempo real aos centros de monitorização, permitem validar as previsões. Trata-se de um grande desafio tecnológico, em que as palavras-chave são "tempo real". É também imperativo que a generalidade dos cálculos seja feita automaticamente, sem intervenção de um operador.

No Pacífico, a detecção de *tsunamis* é feita também por via directa, através da instalação de sensores de pressão no fundo oceânico (sistema DART) e transmissão dos respectivos sinais em tempo real para o centro de alerta de *tsunamis* no Hawaii. Um sensor semelhante foi recentemente instalado no Mediterrâneo, junto à costa italiana. Contudo, prevejo que a observação sismológica convencional continue por muito tempo a ser a coluna vertebral de qualquer sistema de previsão de *tsunamis*. Resta notar que, com o tipo de sensores utilizados na rede sismográfica nacional, é irrealista querer avaliar o potencial tsunamigénico de um terramoto ao largo da nossa costa.

Por se tratar de instrumentos de banda passante estreita, estes sensores não permitem calcular magnitudes muito elevadas, "saturando" por volta da magnitude 6,3, para a qual um sismo não é considerado tsunamigénico. Há mais de vinte anos que se generalizou a utilização de sensores de banda passante larga ou muito larga, que permitem registar o espectro completo das ondas sísmicas e extrair informação sobre o mecanismo focal e a magnitude a partir da modelação das formas de onda, mas essa tecnologia tarda a ser integrada na rede sismográfica nacional.

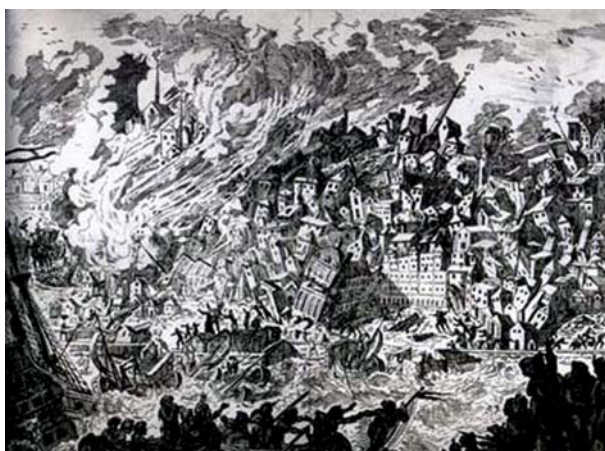
P. - Que factores é que contribuem para uma menor ou maior capacidade destruidora de um terramoto?

R. - O principal factor é a magnitude, que se conjuga com a distância ao epicentro e a profundidade do foco para determinar a amplitude das ondas sísmicas no lugar em análise. Se se tratar de uma zona construída, e para uma dada amplitude das ondas sísmicas, o factor determinante é a qualidade da construção. A prática moderna



da engenharia sísmica tende a prestar mais atenção ao conteúdo espectral das vibrações, em detrimento dos valores de pico da aceleração ou do deslocamento do solo, pois a resposta das estruturas é fortemente condicionada pela frequência da solitação.

Factores como a duração do sismo podem ser igualmente importantes, nomeadamente para sismos mais distantes mas de grande magnitude, em que a dispersão das ondas conduz a uma maior duração e a um possível efeito de fadiga. A hora de ocorrência é também decisiva, por determinar o tipo de ocupação dos diferentes edifícios. Como os engenheiros sísmicos afirmam repetidamente, são os edifícios que causam mortos num terramoto, não as ondas sísmicas. Urge tirar partido das forças do mercado, levando os compradores de casa nova a exigir um certificado de qualidade de construção (o que passa pela criação de entidades certificadoras), em lugar de se preocuparem apenas com a qualidade das torneiras ou o acabamento dos rodapés.



Gravura francesa do século XVIII

**P. - Qual é a probabilidade de um acidente desta natureza se repetir?**

R. - Os sismos são fenómenos cíclicos. Os processos geológicos que estão na origem da acumulação de tensão elástica no interior da crosta têm durações da ordem das dezenas de milhões de anos, e a essa escala a deformação ao longo das falhas geológicas é um processo contínuo. Mas, segundo o modelo consensual do "ressalto elástico", as tensões acumulam-se lentamente em torno de uma falha durante décadas, séculos ou milénios, até que ocorre a rotura e a energia é libertada em segundos ou minutos, propagando-se uma fracção dessa energia na forma de ondas elásticas. Uma falha activa não deixa de um dia para o outro de ser activa, e actualmente utiliza-se como critério para classificar uma falha geológica o seu comportamento durante os últimos cem mil anos. Só na ausência de actividade durante um período dessa

ordem é que uma falha é considerada inactiva. Uma falha com actividade sísmica no período histórico tem forçosamente que ser encarada como potencialmente sismogénica. Claro que a ciclicidade do fenómeno não acarreta periodicidade, e só em sentido estatístico se pode falar do período de retorno de uma falha. Para complicar a questão, uma região como Lisboa pode estar sujeita ao efeito de várias fontes sísmicas, cada qual com o seu período de retorno. Muito provavelmente o próximo desastre sísmico em Lisboa não será uma repetição do terramoto de 1755, forçosamente raro, dada a sua excepcional magnitude, mas sim um sismo mais próximo mas de menor magnitude (logo, exponencialmente mais frequente). O terramoto de 1531 no Vale Inferior do Tejo, que causou grandes danos em Lisboa, é um exemplo do que pode vir a acontecer.

**P. - Quais são as zonas mais problemáticas em Portugal? Há motivos para preocupação?**

R. - Há que distinguir entre a perigosidade sísmica – a probabilidade de que seja excedido um dado nível de vibração sísmica do solo num dado período – e o risco sísmico, que mede o potencial de destruição e combina, por isso, a perigosidade com a vulnerabilidade. Portugal é um país de perigosidade sísmica baixa a moderada, segundo os estudos que temos vindo a realizar (este assunto foi objecto da tese de doutoramento concluída em 2004 por Susana Vilanova no Departamento de Física do Instituto Superior Técnico). As zonas mais críticas são os Açores, Lisboa e Vale do Tejo, e o Algarve. É geralmente tomado como limiar entre a perigosidade baixa e a perigosidade moderada a probabilidade de 10% de excesso em 50 anos de uma aceleração de pico do solo igual a 25% da aceleração da gravidade. É nessa ordem de valores que se situa a perigosidade sísmica de Lisboa e Vale do Tejo, a mais elevada do território de Portugal Continental segundo os resultados mais recentes. Contudo, há que sublinhar que estas estimativas estão afectadas de uma grande margem de incerteza devido ao profundo desconhecimento geológico do território nacional, no que respeita à tectónica activa. Esta é uma falha que, em meu entender, urge colmatar com urgência, mobilizando recursos e criando condições de investigação na rede de laboratórios do Estado. Quanto ao risco sísmico, pode ser muito significativo em zonas de perigosidade baixa a moderada, se a vulnerabilidade for elevada. É claramente o que se passa na região de Lisboa e Vale do Tejo, e no Algarve. O esforço de mitigação do risco deve ser motivado não apenas pela probabilidade de ocorrência do fenómeno, mas pela dimensão das suas consequências.

**P. - Qual é o papel da física na sismologia?**

R. - A sismologia teórica é essencialmente a aplicação da teoria da elasticidade ao interior da Terra, pelo que estamos em face de uma aplicação da física. A compreensão dos mecanismos de rotura das falhas geológicas implicou

o desenvolvimento de sofisticados modelos para o atrito, para o que se cruzaram a física e as ciências dos materiais. Mas eu diria que é limitativo para quem aborda a sismologia, ou qualquer outra área científica interdisciplinar, focar demasiado a atenção na ferramenta que se domina. Olhar para o processo de geração dos sismos através de um espartilho disciplinar, qualquer que ele seja, conduzirá sempre a uma visão parcelar. Sem negar a necessidade da especialização, há que reconhecer que o grande desafio das geociências, sismologia incluída, reside na sua transversalidade em relação a diversas áreas do saber. Tal reconhecimento levou a que se generalizassem nas universidades mais avançadas (com destaque para as anglo-saxónicas) os departamentos de Ciências da Terra, em que os desafios científicos respeitantes ao nosso planeta são abordados de forma integrada com as ferramentas da geofísica, da geoquímica, da geologia estrutural, da geodesia e outras disciplinas começadas por "geo".

#### A GAZETA ERROU

Na entrevista publicada no último número da *Gazeta* deveriam ter sido indicados os seus autores e respectivos endereços do modo seguinte:

PATRÍCIA FAÍSCA<sup>1</sup> e PEDRO PATRÍCIO<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Física Teórica e Computacional  
da Universidade de Lisboa  
Av. Prof. Gama Pinto, 2  
1649-003 Lisboa

<sup>2</sup> Instituto Superior de Engenharia de Lisboa  
Rua Conselheiro Emídio Navarro, 1  
1950-062 Lisboa

patnev@cii.fc.ul.pt  
patricio@cii.fc.ul.pt

No texto da entrevista, na pergunta número seis, onde está "na teoria dos sólidos" deveria estar "em física do estado sólido".

A *Gazeta* apresenta desculpas por estas incorrecções.

Visite o nosso "site"

<http://spf.pt>

e faça-se sócio da Sociedade Portuguesa de Física