



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E
CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

Departamento de Geofísica



EXPOSIÇÃO ITINERANTE DO MUSEU DE CIÊNCIAS DA USP

**“ÁGUA: UMA VIAGEM NO MUNDO DO
CONHECIMENTO”**

Tema: **Efeitos da Água no Meio Ambiente**

Título: Os Tsunamis

Autores: Profs. Drs. Jesus A. Berrocal Gómez e
Marcelo S. de Assumpção

Área: Geofísica

Outubro de 2005

EFEITOS DA ÁGUA NO MEIO AMBIENTE

OS TSUNAMIS

Devemos nos preocupar com estes fenômenos no Brasil?

Os tsunamis são ondas oceânicas que invadem o litoral, provocando destruição pelo tamanho das ondas e, principalmente, pelo grande volume de água que carregam, podendo invadir por quilômetros o litoral. Na Fig. 1 podemos observar um tsunami nascendo na falha onde ocorreu o terremoto. Este se propaga para o litoral formando as ondas na arrebentação ao atingir a porção continental. As ondas aumentam de tamanho, devido à diminuição da velocidade de propagação provocada pela menor profundidade do assoalho oceânico.

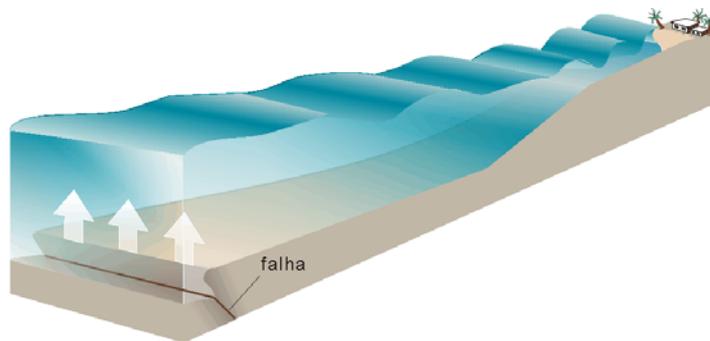


Figura 1

Os tsunamis mais violentos são os provocados por terremotos que ocorrem nas zonas de subducção¹. Um exemplo deste fenômeno é o ocorrido em Sumatra, em 26 de dezembro de 2004, quando morreram mais de 300.000 pessoas, entre Sumatra, nas ilhas e praias mais próximas do Oceano Índico. Na Fig. 2 podemos observar as frentes de ondas desse tsunami, depois de 90 minutos após de ocorrido o terremoto de magnitude 9,3 Mw. Em alto mar as ondas alcançam velocidades da ordem de 800 km/hora.

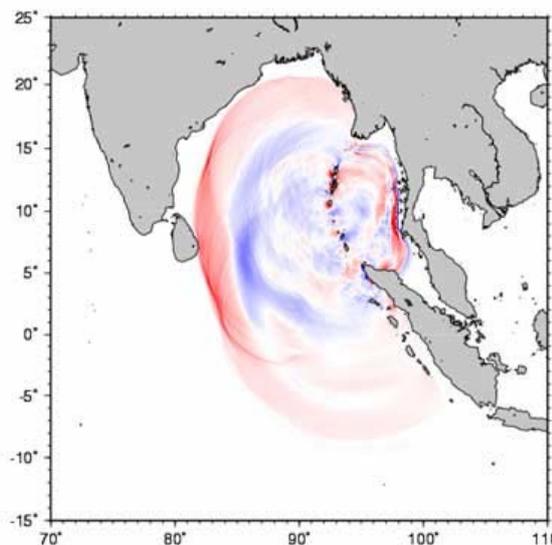


Figura 2

¹ Uma zona de subducção é uma área de convergência de placas tectônicas, onde uma das placas desliza debaixo da outra. As zonas de subducção são potenciais focos sísmicos. Os terremotos de conseqüências mais devastadoras estão normalmente associados a este enquadramento geológico. A fricção das duas placas pode provocar a libertação repentina de enormes quantidades de energia, que resulta no terremoto. (fonte: <http://pt.wikipedia.org/>)

Outro tsunami famoso, de interesse para os países que rodeiam o Oceano Atlântico, é o que destruiu Lisboa em 1755, matando mais de 90.000 pessoas, um terço de sua população nessa época. O terremoto que provocou esse tsunami, com magnitude Mw 8,0, teve seu epicentro a 200 km a SW (sudoeste) de Lisboa. Depois do terremoto, houve um terrível incêndio que, após 40 minutos, foi seguido por um tsunami, que se repetiu mais três vezes. Veja nas gravuras das Figuras 3 e 4, duas cenas dessa catástrofe.



Figura 3. Cena mostrando os efeitos do terremoto e do incêndio que afetaram Lisboa em 01 de novembro de 1755.

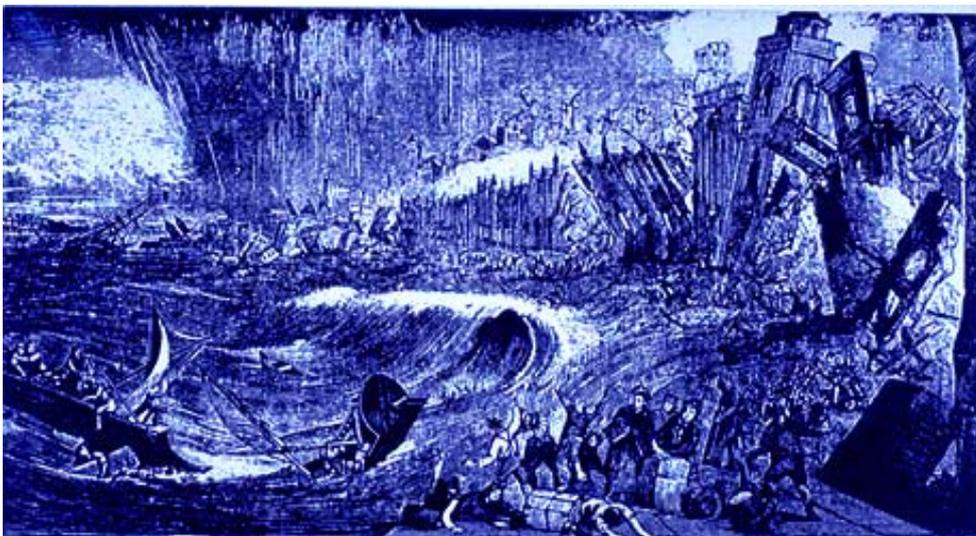


Figura 4. Cena de um dos tsunamis que ocorreram depois do terremoto de Lisboa de 01 de novembro de 1755.

O terremoto de Lisboa ocorreu na Dorsal Azores-Gibraltar, onde se encontram as placas tectônicas da África e a Euro-asiática, provocando um processo de subducção motivo pelo qual os terremotos nessa dorsal provocam deslocamentos verticais do assoalho oceânico, que originam os tsunamis.

A sismicidade existente no Oceano Atlântico, principalmente nas dorsais meso-oceânicas, é composta por sismos associados a falhas transcorrentes ou transformantes, que provoca deslocamentos horizontais do assoalho oceânico, com exceção da Dorsal Azores-Gibraltar e as zonas de subducção das micro-placas do Caribe que provocam pequenos tsunamis de efeitos locais, e do Arco de Scotia, que não provocou até agora tsunamis conhecidos. Ver Figura 5.

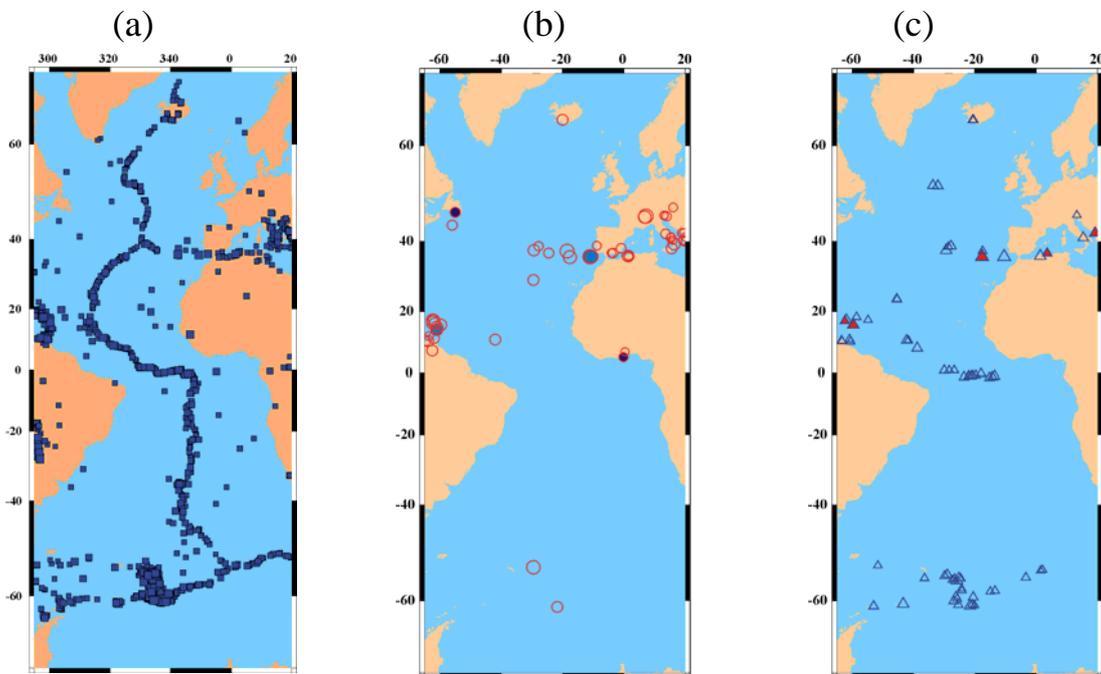


Figura 5. Mapas de epicentros dos sismos ocorridos no Oceano Atlântico (a) com magnitude $\geq 5,0$ ocorridos entre 1964 e 2002; (b) com magnitude $\geq 6,5$ ocorridos entre 1511 e 1963; e (c) com magnitude $\geq 6,5$ ocorridos entre 1964 e 2002. Nas duas ultimas figuras são destacados os sismos associados a tsunamis.

De acordo com os mapas acima e aos tsunamis associados com os terremotos que ocorrem no Oceano Atlântico, a única fonte sísmica que poderia provocar tsunamis que possam afetar o Brasil, seriam os que ocorrem na Dorsal Açores-Gibraltar, como o de 1755 que afetou Lisboa e cujas ondas chegaram ao litoral NE da América do Sul, com ondas de menos de 1 metro de altura.

Outras fontes que provocam tsunamis são as erupções vulcânicas. A erupção vulcânica mais famosa, seguida por um tsunami, ocorreu no vulcão Kracatoa em 27 de agosto de 1883, localizado no estreito de Sunda que fica entre Sumatra e Java, na Indonésia, uns mil quilômetros ao sul onde ocorreu o terremoto e tsunami de Sumatra de Dezembro de 2004. Nessa erupção dois terços da Ilha de Kracatoa foram submersos (Fig. 6) o que provocou o tsunami. Os efeitos do tsunami foram devastadores, ondas de até 37 m de altura destruíram em uma hora 295 cidades e povoados do Estreito de Sunda, matando mais de 37.000 pessoas (Fig. 7).

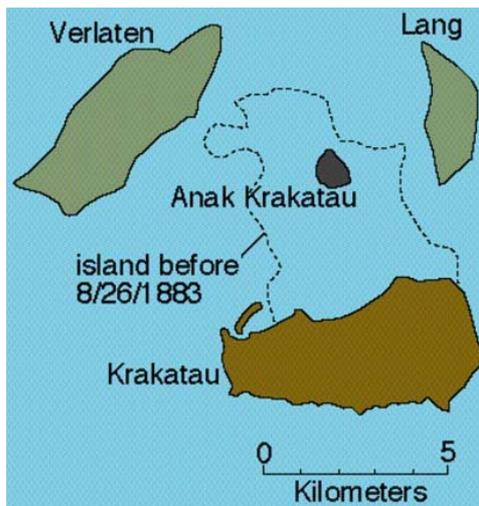


Figura 6. A Ilha de Kracatoa, depois da erupção do vulcão.

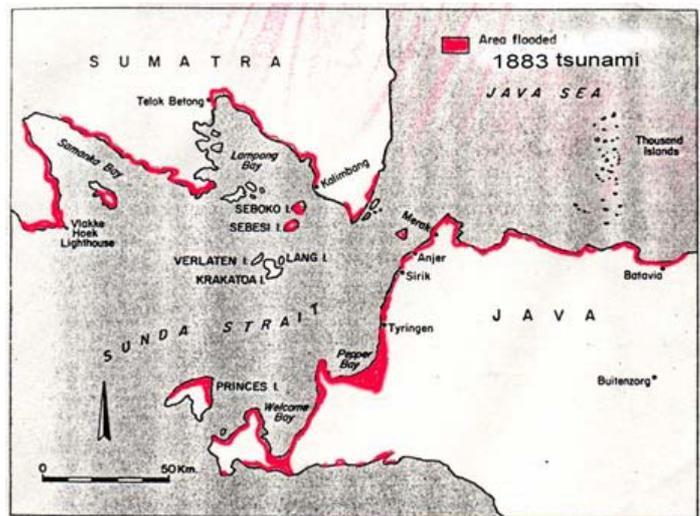


Figura 7. Em vermelho as partes do litoral do Estreito de Sunda afetadas pelo tsunami

Na região das Antilhas, no Caribe, também existem alguns casos de tsunamis gerados por erupções vulcânicas, entretanto esses tsunamis provocam efeitos muito localizados e são mais propensos de atingir a borda sul e sudeste da América do Norte. Esses tsunamis não atingiram o litoral do Brasil.

Por outro lado existe a previsão da ocorrência de um provável tsunami que seria provocado pela queda de um bloco de meio milhão de toneladas de uma das paredes do vulcão “Cumbre Vieja”, que está localizado na Ilha “La Palma” que faz parte do arquipélago Ilhas Canárias na borda NW da África (Ver Fig. 8)

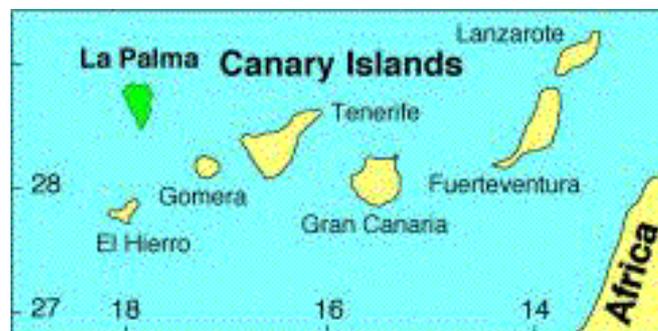


Figura 8. O arquipélago Ilhas Canárias na região NW da África, mostrando a Ilha “La Palma” onde está localizado o vulcão “Cumbre Vieja”.

Segundo a previsão apresentada por Ward & Day (2001), a queda violenta desse imenso bloco no Oceano Atlântico (Fig. 9), que ocorreria, provavelmente, durante a próxima erupção desse vulcão, provocaria uma onda gigantesca de 650 m de altura que chegaria em Europa e África com 100 m de altura e na região leste de Estados Unidos e NE da América do Sul com ondas de 50 m de altura, viajando com velocidade de 700 km/h. Esse tsunami poderia atingir o litoral da região NE, SE e Sul do Brasil com ondas de até 20 m de altura. Esta previsão não considerou o efeito de atenuação rápida no caso do tsunami provocado pela erupção do vulcão Krakatau, conforme foi apresentado antes.

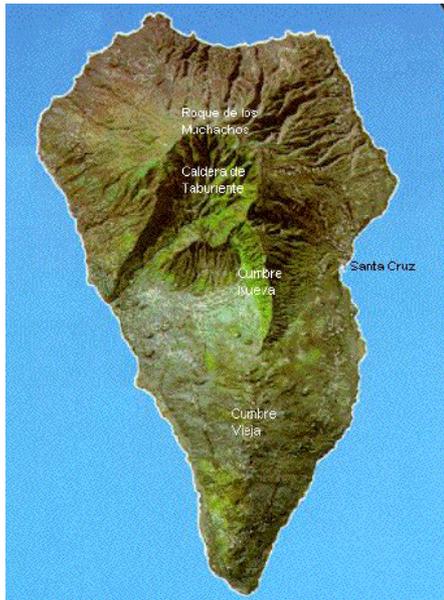


Figura 9. A Ilha “La Palma” com o vulcão “Cumbre Vieja” na porção sul dessa ilha. O bloco que desabaria e que provocaria o tsunami, está localizado no flanco SW desse vulcão.

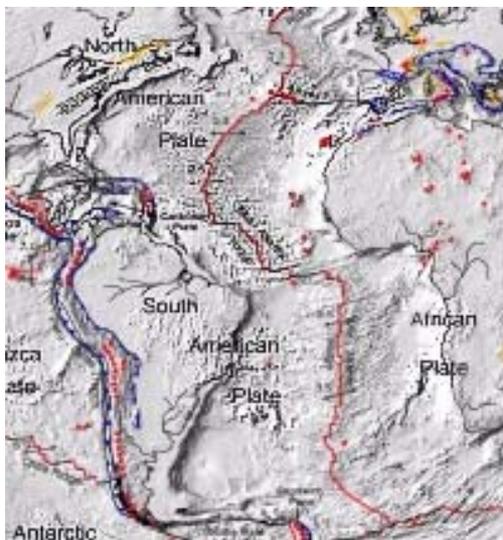


Figura 10. Trajetórias do provável tsunami que seria provocado pela erupção do “Cumbre Vieja”.

A modelagem efetuada por Mader (2001) de esse fenômeno, considera que o bloco SW do “Cumbre Vieja”, não cairia de forma violenta e sim por partes ou deslizaria, o que provocaria uma onda de no máximo 350 m de altura. Além disso, considerou a variação mais real da profundidade do fundo marinho assim como o fato de este tipo de tsunamis apresentar ondas de alta frequência, que se atenuam mais rapidamente, e concluiu que o tsunami atingiria Europa e África com ondas de 10 m (e não de 100 m, como na previsão anterior), chegaria na porção leste dos Estados Unidos, nas Antilhas e na região NE da América do Sul, com ondas de 3 m (e não 50 m, como na previsão anterior). No resto do litoral do Brasil, as ondas desse tsunami não passariam de mais de 2 m de altura (ver Fig. 10).

Os tsunamis conhecidos que ocorreram no Oceano Atlântico entre 1530 e 2003 estão apresentados no mapa da Fig. 11

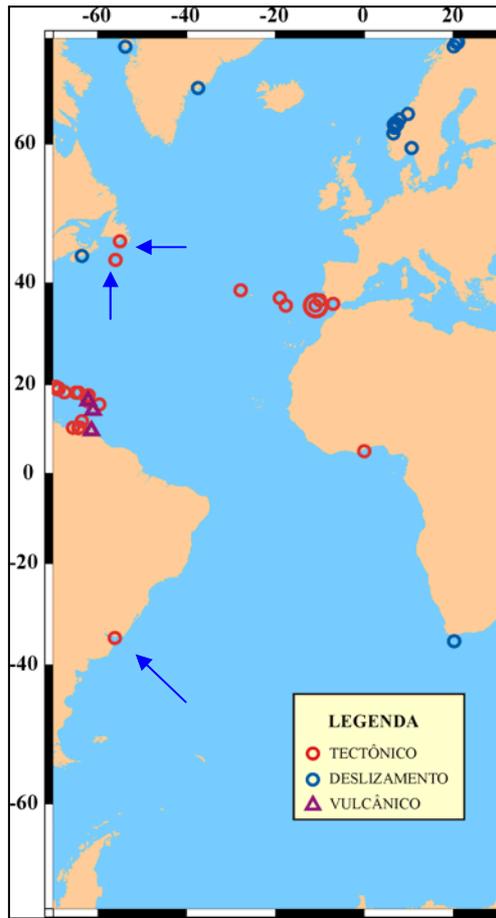


Figura 11. Tsunamis conhecidos no Oceano Atlântico, ocorridos entre 1530 e 2003

As duas regiões com maior ocorrência de tsunamis são a Dorsal Açores – Gibraltar e as Antilhas, inclusive nesta região tem ocorrido tsunamis provocados por terremotos e por erupções vulcânicas. Fora esses tsunamis, outras fontes importantes são os deslizamentos, provocados pela queda de grandes blocos de gelo, principalmente em Groenlândia e na Noruega. Os casos de tsunamis associados a terremotos, com a ocorrência simultânea de deslizamentos de grandes quantidades de sedimentos, estão marcados com uma seta de cor azul no mapa da Fig. 11

Nestes casos, se pensa que o terremoto provocou o deslizamento de sedimentos e que este, por sua vez, teria provocado o tsunami correspondente. Esses terremotos são de magnitude M 7,2 no caso dos sismos da região NE do Canadá e no caso do sismo de Uruguai, a magnitude calculada foi de M 7,0. Ambas regiões não apresentam altos índices de atividade sísmica, conseqüentemente, não tem como explicar a ocorrência desses sismos de magnitude elevada. Por outro lado em ambas regiões existe uma plataforma continental bastante extensa (O Grand Bank, no Canadá e a Baía do Rio da Plata, no Uruguai) maior que 200 km, o que permite o acúmulo de grandes quantidades de sedimentos, que de tempo em tempo deslizam para a região abissal provocando terremotos de grande magnitude e tsunamis, com ondas de até 15 m, porém de pequeno comprimento de onda, motivo pelo qual essas ondas são atenuadas rapidamente e os efeitos do tsunami são percebidos com maior tamanho em regiões relativamente limitadas, como é o caso do tsunami ocorrido no Grand Bank , Canadá, em novembro 18, de 1929. (Ver fig 12).

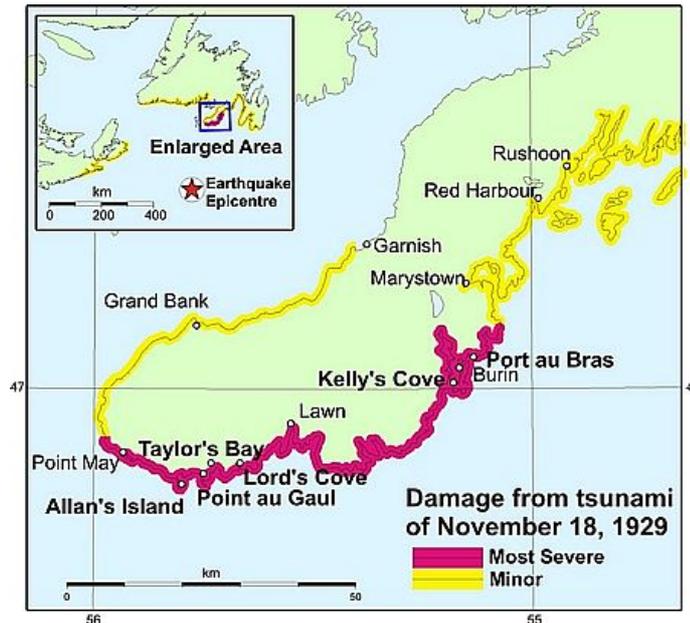


Figura 12. Região afetada pelo tsunامي de 18.11.1929 no Grand Bank, Canadá, com o epicentro localizado exatamente onde ocorreu o deslizamento de quase um trilhão de toneladas de sedimentos.

Os epicentros dos sismos ocorridos junto com os tsunamis do Grand Bank, em 1774, e do Uruguai, em 1884, aparecem nos locais em que os tsunamis foram mais destrutivos, e não nos locais onde ocorreram os deslizamentos, como é o caso do epicentro do sismo de novembro 1929 ocorrido no Grand Bank, que foi localizado com dados de estações sismográficas no local onde ocorreu o deslizamento de sedimentos, na borda da plataforma continental.

A quantidade de material deslizado no tsunami do Grand Bank de 1929, foi estimada em quase um trilhão de toneladas de sedimentos, que provocou o sismo de magnitude M 7,2 e que causou a morte de 28 pessoas. O tsunami de 1884, na mesma região provocou a morte de 300 pessoas, o que nos leva a pensar que teria sido maior que o ocorrido em 1929, 150 anos antes, para poder justificar esse número maior de mortes. Ou seja a quantidade de material deslizado em 1774 pode ter sido superior a um trilhão de toneladas.

Essas informações sobre os tsunamis provocados por grandes deslizamentos, nos indicam que o provável tsunami que pode ser originado durante a próxima erupção do vulcão “Cumbre Vieja”, nas Ilhas Canárias, deverá ter características semelhantes aos deslizamentos do Grand Bank de 1929 ou de 1774, que deslocaram uma quantidade de massa muito maior, que provocaram terremotos com magnitude M 7,2, mas que o tsunami resultante desses deslizamentos tiveram um efeito localizado, sem atingir distâncias transoceânicas com ondas de altura considerável, a não ser pequenas oscilações registradas por mareógrafos no outro extremo do Oceano Atlântico.

Como conclusão podemos inferir que o tsunami que poderia atingir com severidade o litoral do Brasil, não será originado na dorsal Açores Gibraltar, nem nas zonas de subdução das Antilhas ou do Arco de Scotia, nem na erupção do vulcão “Cumbre Vieja”. Seria um tsunami, como o ocorrido no Uruguai em 1884, que poderá ser provocado por um gigantesco deslizamento de grande quantidade de sedimentos depositados na plataforma continental do Brasil.

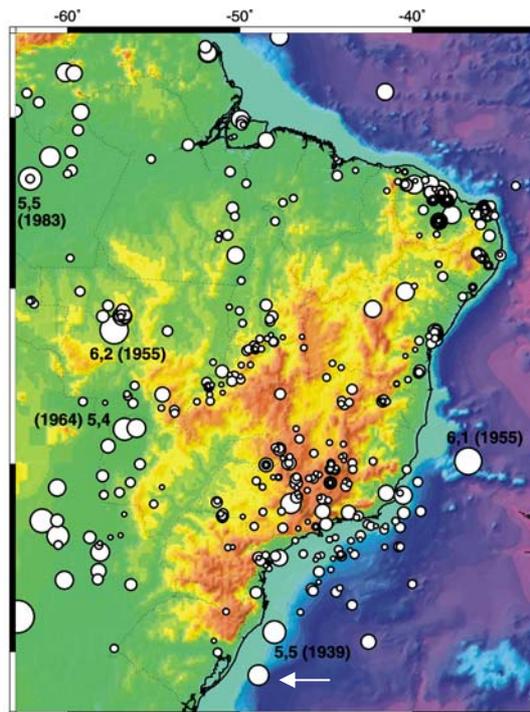


Figura 13. Mapa de sismicidade do Brasil de sismos ocorridos entre 1768 e 2002, mostrando o epicentro do sismo de magnitude m_b 5,3 ocorrido em 1990, em frente ao litoral de Rio Grande do Sul (assinalado com uma seta branca), que pode ter sido provocado por um deslizamento de sedimentos.

Na Fig. 13 se mostra o mapa de sismicidade do Brasil onde se assinala um sismo de magnitude m_b 5,3 ocorrido em 1990 em frente ao litoral do Estado de Rio Grande do Sul, que provavelmente teria sido provocado por um deslizamento de sedimentos depositados na plataforma continental, como que ocorreu em 1884 na Baía do “Rio de La Plata” no Uruguai, porém de menores dimensões que não chegaram a provocar um tsunami, tendo em vista que o sismo do Uruguai teve magnitude M 7,0 e que o tsunami originado por esse deslizamento chegou a matar algumas pessoas. Podemos observar no mapa da Fig. 13 que existem outros sismos de menor magnitude localizados na borda da plataforma continental, principalmente em frente à região Sudeste do Brasil, que podem corresponder a sismos provocados por deslizamentos de menor tamanho que o que teria provocado o sismo de 1990 em frente ao litoral de Rio Grande do Sul.

A plataforma continental do Brasil, com exceção da existente no Cone Amazônico, não é tão extensa como a do Grand Bank no Canadá, ou a da Baía do “Rio de La Plata” no Uruguai, por esse motivo provavelmente não será possível que sejam acumuladas quantidades gigantescas de sedimentos que possam deslizar e provocar terremotos de magnitude M 7,0 ou maior e tsunamis que afetem o nosso litoral.

São Paulo, outubro de 2005.