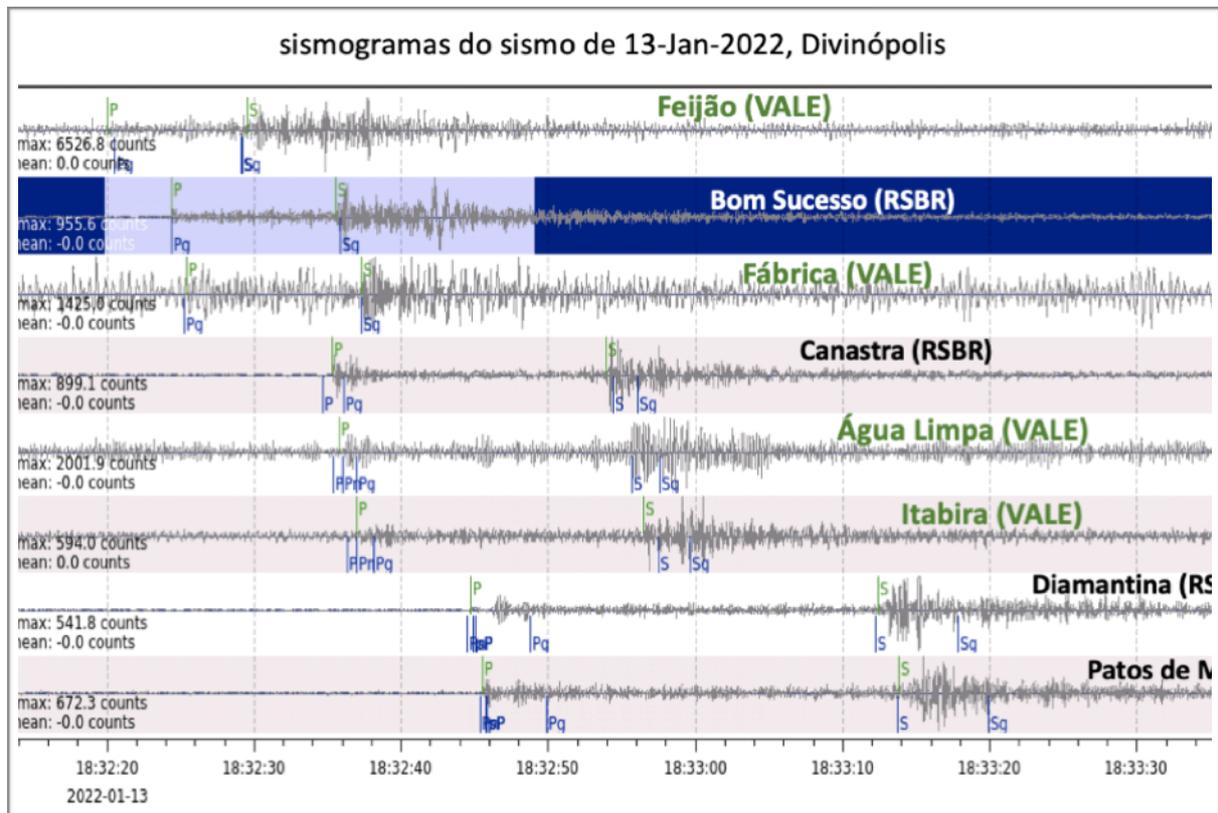


# Tremores em Divinópolis-MG



Centro de Sismologia da USP

19 /01/2022



# Tremores em Divinópolis-MG

*Enxame sísmico de 10 a 19 de Janeiro de 2022*

## Resumo

Entre 10 e 19 de Janeiro (até 17h), 29 tremores de terra em Divinópolis foram localizados pelas estações da Rede Sismográfica Brasileira e da Rede Sismográfica da VALE no Quadrilátero Ferrífero. As magnitudes variam entre 3,0 (o maior do primeiro dia, 10/Jan) a 1,6. Os epicentros estão próximos do Bairro Candidés, na parte NE da cidade onde o tremor foi mais sentido. As máximas intensidades foram IV a V na escala Mercalli Modificada (correspondendo a barulho de portas e janelas, e queda de alguns objetos, por exemplo), sem danos comprovados. Mais de 500 relatos da população foram enviados ao Centro de Sismologia da USP, o que permitiu melhor estimar a localização do epicentro.

Esses tremores ocorreram numa região de Minas Gerais, em torno de Belo Horizonte, com um longo histórico de sismos no passado. Não há razão para acreditar que não se trate de atividade sísmica natural, sem relação com atividade exploratório de pedreiras, ou com enchimento rápido do reservatório de Gafanhoto. Possível relação com chuvas intensas no último mês é pouco provável e muito difícil de comprovar. O padrão de tremores ocorrendo durante vários dias ("enxame" de sismos) não é incomum.

Sismos de magnitude 3,0 são bastante comuns no Brasil e em Minas Gerais. O estado já presenciou sismos de magnitudes bem maiores, como os de São Francisco de 1931 e o de Itacarambi de 2007, no norte do estado, ambos com magnitudes 4,9 e intensidades máximas de VI e VII MM (trincas e rachaduras em paredes). Essa série de tremores em Divinópolis parece fazer parte de uma zona de sismos mais frequentes que inclui o Quadrilátero Ferrífero.

Sismos naturais são totalmente imprevisíveis e não é possível saber até quando a atividade continuará, se as magnitudes vão diminuir ou se vão aumentar.

# 1. Introdução

Em 10/Janeiro, um sismo de magnitude 3,0 iniciou uma série de tremores de terra em Divinópolis, MG. O epicentro está próximo do bairro Candidés, o mais afetado com intensidades até IV ou V na escala Mercalli Modificada. Um informe preliminar foi emitido pelo Centro de Sismologia da USP em 11/Jan. Este segundo Relatório atualiza a lista dos eventos, seus epicentros e magnitudes. São analisados os relatos enviados pela população ao Centro de Sismologia da USP, o que muito contribuiu para melhorar a estimativa do epicentro. Discutem-se também as várias hipóteses veiculadas nas mídias sociais para explicação do fenômeno.

## 2. Lista dos Sismos em Divinópolis (até 19/01)

A Tabela 1 lista os sismos analisados pelo Centro de Sismologia da USP com base nos registros da Rede Sismográfica Brasileira (RSBR) e da Rede Sismográfica da VALE no Quadrilátero Ferrífero (RSVL-QF).

A estação mais próxima está a 80 km de distância (Feijão, RSVL-QF), seguida das estações de Bom Sucesso, RSBR) e Fábrica (RSVL-QF), ambas a 100 km (Fig. 1). Essas grandes distâncias não permitem uma precisão do epicentro melhor do que 5 a 10 km. Tampouco é possível determinar com precisão a profundidade focal dos sismos, razão pela qual ela é fixada em 0 km no cálculo de epicentro. Baseado na presença de ondas de superfície (Fig. 2) estima-se que a profundidade deve ser de poucos km.

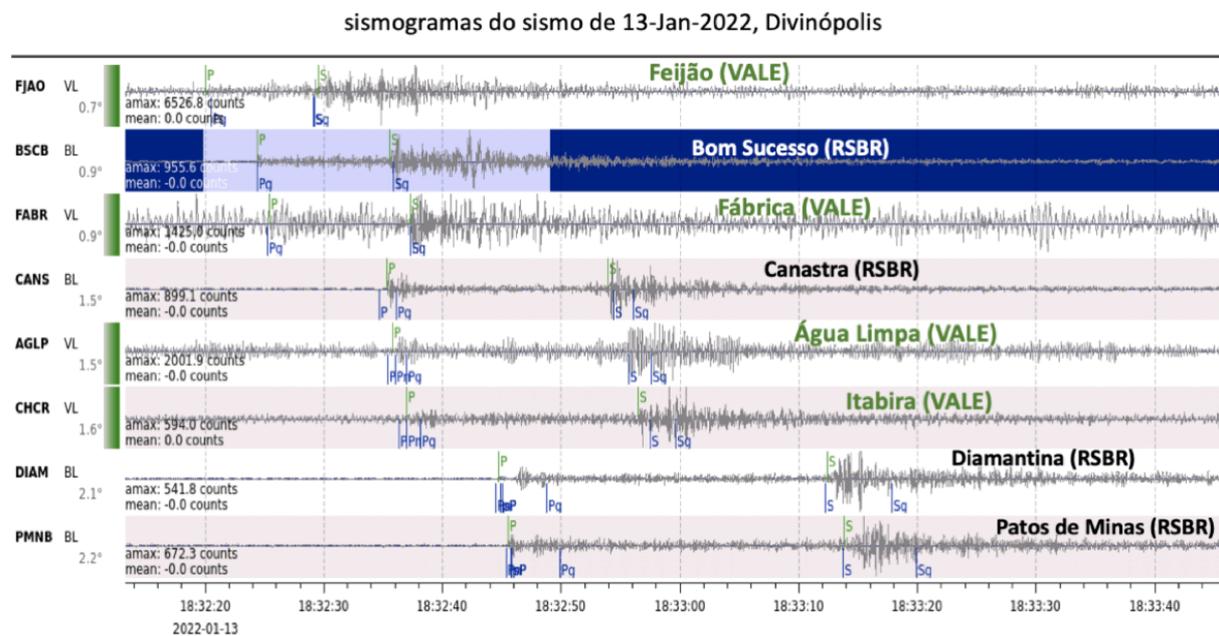
A seguir, a Fig. 2 mostra exemplos de sismogramas registrados com o sismo de 13/Jan, de magnitude 2,9.

**Tabela 1.** Sismos de Divinópolis até dia 18/01. Epicentro instrumental é o determinado pelas estações sismográficas da RSBR e RSVL-QF (incerteza de +- 5 km). "Epicentro Macrossísmico" é o centro da área com maiores intensidades relatadas por moradores do bairro Candidés

N	Data	Hora(UTC)	Epic. Instrumental			ID	Epic. Macrossísmico	
			Longitude	Latitude	magnitude		Long.	Lat.
1	2022-01-10	23:13:36	-44.83	-20.12	3.0	usp2022asfm	-44.87	-20.12
2	2022-01-13	18:25:53	-44.83	-20.13	2.8	usp2022axin		
3	2022-01-13	18:32:07	-44.83	-20.13	2.9	usp2022axis	-44.86	-20.12
4	2022-01-13	22:30:33	-44.86	-20.13	1.8	usp2022axqp		
5	2022-01-14	02:52:38	-44.83	-20.13	2.0	usp2022axzg	-44.85	-20.12
6	2022-01-14	03:04:57	-44.83	-20.12	1.6	usp2022axzq		
7	2022-01-14	21:04:19	-44.83	-20.15	2.2	usp2022azjg	-44.85	-20.10
8	2022-01-15	02:07:50	-44.84	-20.12	1.9	usp2022aztg	-44.86	-20.11
9	2022-01-15	07:39:00	-44.83	-20.13	1.6	usp2022baee		
10	2022-01-15	07:45:57	-44.81	-20.12	2.4	usp2022baek	-44.86	-20.12
11	2022-01-15	09:34:22	-44.84	-20.13	1.8	usp2022bahz		
12	2022-01-15	11:38:36	-44.84	-20.13	2.1	usp2022bamc		
13	2022-01-15	13:23:06	-44.82	-20.13	2.4	usp2022bapn	-44.87	-20.13
14	2022-01-15	13:26:51	-44.83	-20.13	1.9	usp2022bapr		
15	2022-01-15	22:23:45	-44.83	-20.12	1.9	usp2022bbhj		
16	2022-01-16	07:24:51	-44.83	-20.13	1.6	usp2022bbzf	-44.84	-20.11
17	2022-01-16	11:43:53	-44.83	-20.12	1.7	usp2022bcht		
18	2022-01-17	18:27:12	-44.84	-20.13	2.1	usp2022beqo		
19	2022-01-18	12:02:15	-44.83	-20.13	2.9	usp2022bfzj	-44.85	-20.13
20	2022-01-18	15:36:24	-44.83	-20.14	2.4	usp2022bggl	-44.86	-20.13
21	2022-01-18	19:16:58	-44.83	-20.13	2.6	usp2022bgns		
22	2022-01-18	20:29:26	-44.82	-20.13	2.2	usp2022bgqc		
23	2022-01-18	23:11:13	-44.83	-20.13	2.0	usp2022bgvl		
24	2022-01-19	00:36:41	-44.82	-20.15	2.4	usp2022bgyg		
25	2022-01-19	04:06:02	-44.83	-20.13	2.0	usp2022bhfe		
26	2022-01-19	04:57:21	-44.83	-20.13	1.9	usp2022bhgw		
27	2022-01-19	05:34:00	-44.85	-20.12	2.1	usp2022bhib		
28	2022-01-19	13:54:41	-44.83	-20.14	2.5	usp2022bhyp		
29	2022-01-19	14:32:01	-44.83	-20.14	2.2	usp2022bhzv		



**Figura 1.** Epicentro (círculo vermelho) e algumas das estações da RSBR e RSVL-QF usadas na determinação epicentral (círculos brancos) do primeiro sismo de 10/Jan (A), e do sismo de 13/Jan 18:32:07 UTC (B).



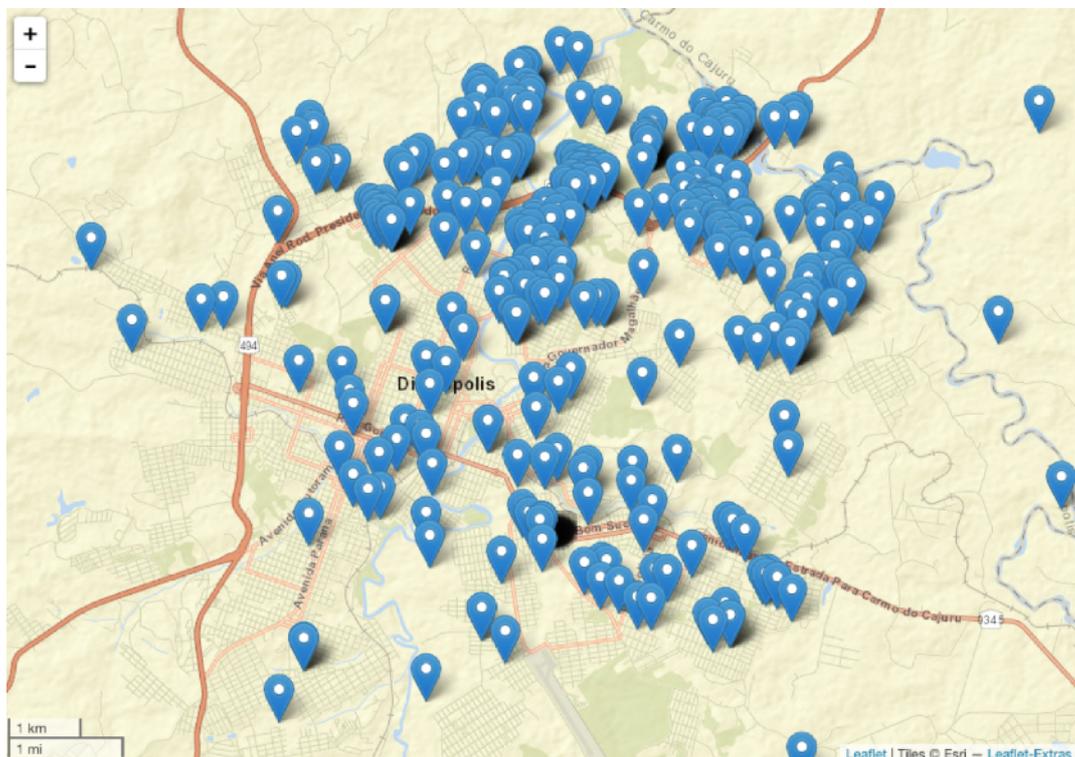
**Figura 2.** Sismogramas das estações até 240km de distância do sismo de 13/Jan às 18:32:07 (UTC). As marcas verdes são as leituras das ondas P (longitudinais) e S (transversais); as azuis são os tempos esperados pelo modelo teórico de velocidade sísmica. Na estação de Bom Sucesso, após a onda S, pode-se ver as ondas de superfície com períodos maiores.

### 3. Efeitos dos tremores relatados pela população

Segundo informações iniciais do jornal Agora/Divinópolis, por ocasião do primeiro tremor de 10/Jan, moradores da parte norte da cidade relataram "estrondo, depois portas, janelas e móveis se mexeram", o que corresponde a

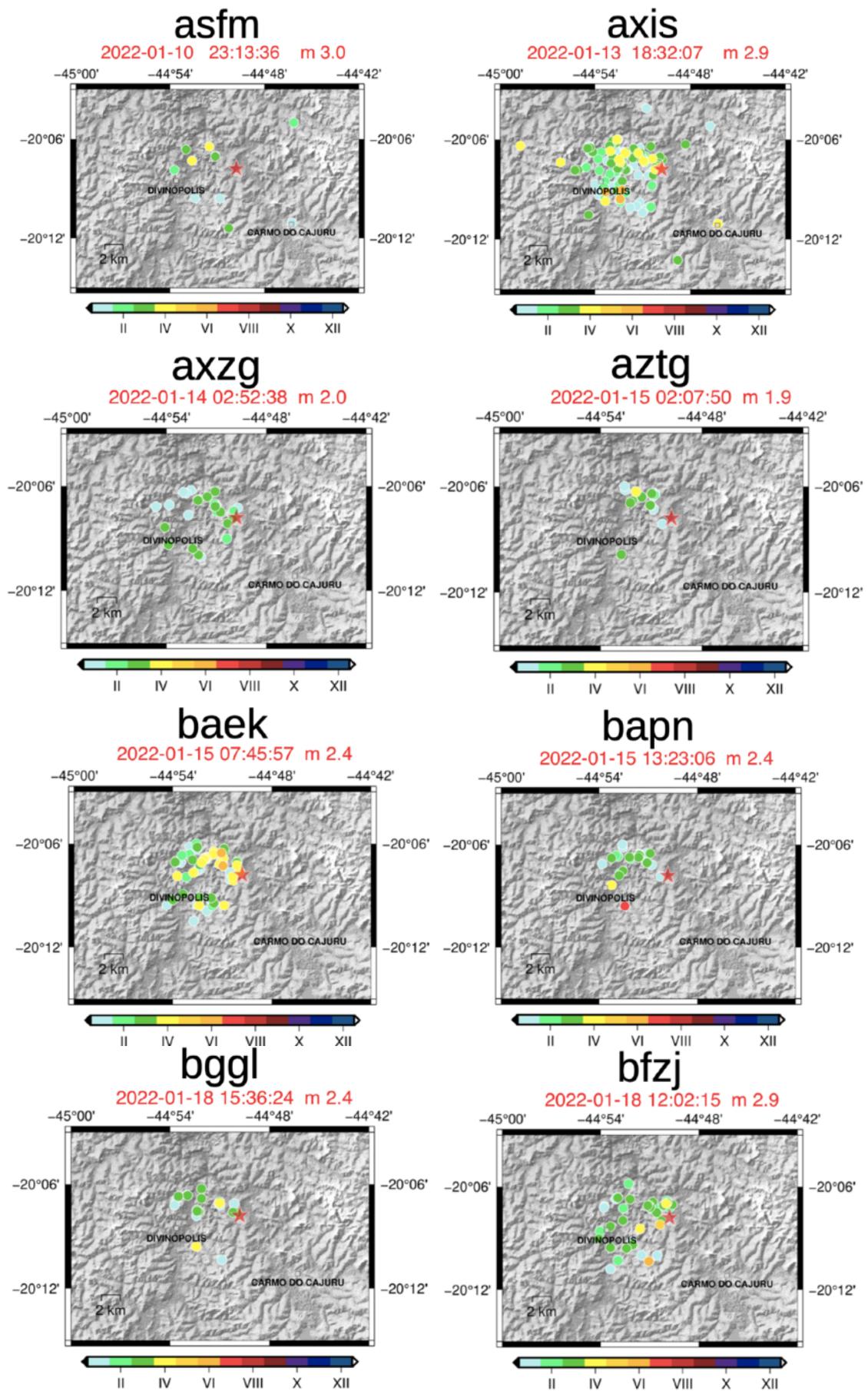
intensidade IV MM (escala Mercalli Modificada). Sismos de magnitude 3 podem ser sentidos até 10 km de distância. (mais raramente até 20 km). Estas informações iniciais foram confirmadas pelas centenas de relatos de moradores de Divinópolis, como descrito a seguir.

A página do Centro de Sismologia da USP (<http://www.sismo.iag.usp.br/eq/dyfi>) recebeu centenas de relatos de moradores com descrição dos efeitos dos tremores (Fig. 3).



**Figura 3.** . Locais dos moradores que reportaram efeitos dos tremores de terra à página "Sentiu Aí?" do Centro de Sismologia da USP. (<http://www.sismo.iag.usp.br/eq/dyfi>) (dados de 19/Jan 11:00).

Cada relato recebido foi processado para associar ao tremor correspondente e avaliar o grau de intensidade na escala Mercalli Modificada (MM). A distribuição das intensidades para os maiores sismos estão na Fig. 4 abaixo.



**Figura 4.** Intensidades MM dos maiores tremores. O título de cada mapa refere-se ao número de identificação da Tabela 1. A estrela é a média dos epicentros instrumentais da Tabela 1.

Nota-se na Fig. 4 que as maiores intensidades (que chegaram a V MM) estão concentradas ~2 km a W do epicentro instrumental. Dada à incerteza da localização instrumental (por causa da grande distância das estações), e à grande quantidade de relatos de intensidade e sua boa cobertura, o "epicentro macrossísmico" (i.e., determinado pela descrição dos efeitos) deve ser mais preciso do que o epicentro instrumental. A Tabela 1 mostra o "epicentro macrossísmico" para os eventos com melhor cobertura de dados.

Nota-se também que, em alguns casos, há um grupo de intensidades relativamente alta na parte sul de Divinópolis. Provavelmente trata-se de efeito de amplificação pela predominância de solos mais brandos em margens de riacho. Este tópico ainda precisa ser melhor investigado.

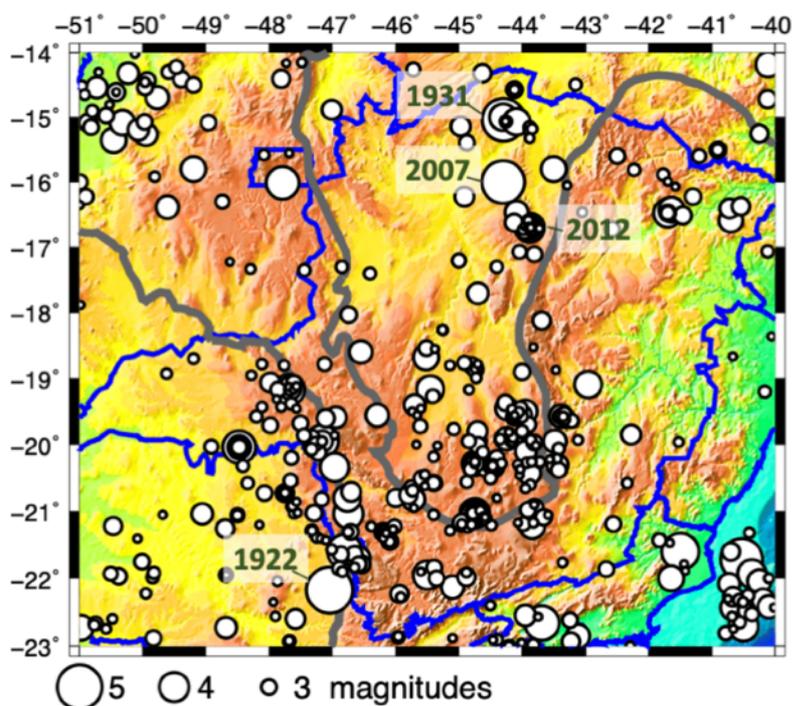
## 4. Discussão

Magnitude Richter 3,0 é pequena, mesmo em termos brasileiros. Pequenos tremores de terra podem ocorrer em qualquer lugar do Brasil, e se devem a movimentação em falhas ou fraturas geológicas na crosta terrestre. Uma magnitude de ~3 corresponde a movimentação de poucos milímetros numa fratura de ~300 m de comprimento que pode estar a alguns quilômetros de profundidade. A movimentação nessas fraturas se dá devido às pressões geológicas a que a crosta terrestre está submetida.

### 4.1 Histórico de sismicidade em Minas Gerais

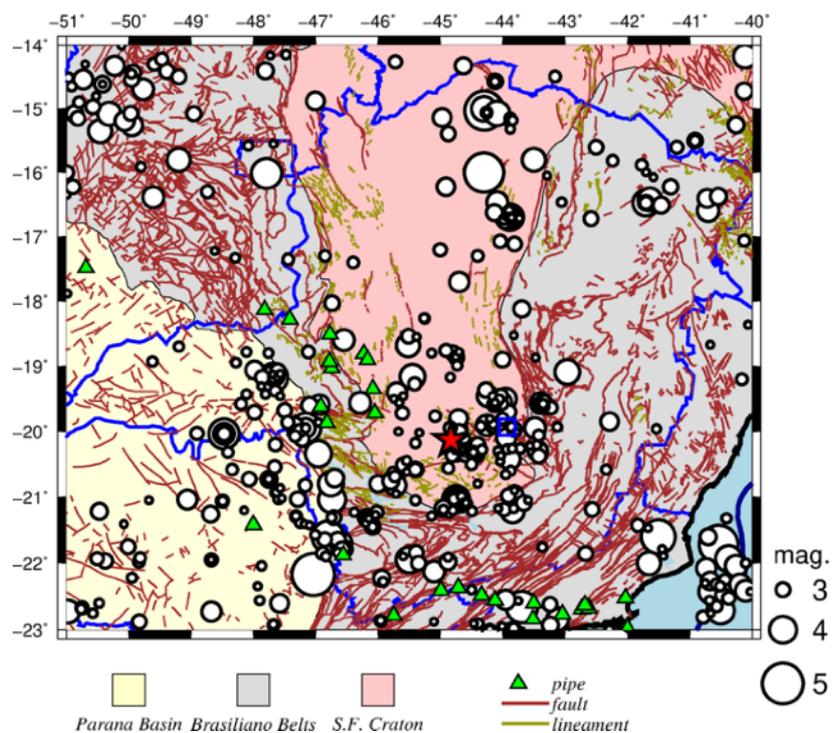
Pequenos tremores em Minas Gerais são mais frequentes do que a média brasileira, como se vê na Fig. 5. No passado, já ocorreram tremores de magnitude até 4,9 em Minas Gerais, principalmente na parte Norte do estado: São Francisco 1931 (m=4.9), Itacarambi 2007 (m=4.9), Montes Claros 2012 (m=4.0). Sismos acima de 4, como esses anteriores, podem causar pequenos danos em algumas casas (trincas em paredes, queda de reboco e de telhas). No caso de Itacarambi

de 2007, várias casas de construção precária desabaram no bairro de Caraíbas, e os moradores foram reassentados em outro local pelo governo estadual.



**Figura 5.** Sismos em Minas Gerais. Fonte: catálogo de sismos brasileiros do Centro de Sismologia da USP. Linhas azuis = limite de estados; linhas marrons = limites da Bacia do Paraná e do Cráton do São Francisco. Os maiores sismos estão indicados pelo ano de ocorrência.

**Figura 6.** Sismos e Geologia em Minas Gerais. A estrela vermelha é o epicentro dos tremores de Divinópolis. Quadrado azul é a cidade de Belo Horizonte. Linhas marrons e verdes são lineamentos e falhas geológicas (fonte CPRM)



Vê-se, portanto, que tremores de terra naturais não são incomuns e podem ocorrer em qualquer local. Em Divinópolis, o último sismo de que temos registro foi em 11-Julho-1990 com magnitude 2.8, também sem nenhum dano relatado. Este de 1990 teve epicentro ~20 km a leste da cidade e não há informações de que tenha sido sentido. Magnitudes abaixo de 4 raramente provocam algum dano e não são motivo para preocupação. Não há como prever a evolução da atividade sísmica.

Os tremores podem ocorrer com padrões diferentes. Boa parte dos tremores ocorrem de maneira isolada com um único tremor principal, seguido às vezes por uma série de réplicas menores. E outros casos os tremores ocorrem na forma de um "enxame" de sismos (ou "surtos) que podem demorar vários dias, semanas e, mais raramente, até vários meses. Em Minas Gerais o melhor exemplo de surtos de sismicidade ocorreu na cidade de Bom Sucesso: primeiro durante vários meses em 1901, depois em 1903, em 1919-1920, em 1935-1936, e em 1939-1940. Os maiores ocorreram em 1920 atingindo magnitude 4.0 e intensidade VI MM (pequenas trincas em paredes de algumas casas). Não há relatos de danos apreciáveis nem vítimas.

## 4.2 Causas da sismicidade

Tanto em Minas Gerais como em outras partes do Brasil, os tremores de terra naturais ocorrem por deslizamento repentino em falhas ou fraturas geológicas causado pelo acúmulo de tensões geológicas ("pressões internas") a que a crosta está submetida. Estas tensões se devem às forças tectônicas que movem a placa Sul-Americana. A Fig. 6. mostra a distribuição dos sismos em relação às principais províncias geológicas e falhamentos da crosta. Não há uma relação clara entre a sismicidade e as feições geológicas de grande escala.

A quase totalidade das falhas geológicas mapeadas em superfície são muito antigas (a maioria do Paleozóico ou mais antigas) e já estão "cicatrizadas" não representando mais potencial de sismicidade. A grande maioria dos tremores de terra no Brasil ocorrem em pequenas fraturas geológicas sem terem uma

expressão clara em superfície. Um fato importante na Fig. 6 é que regiões com maior densidade de falhamentos não têm necessariamente maior frequência de tremores.

No caso desta série atual de sismos em Divinópolis, análise dos sismogramas mostra que todos os eventos estão ocorrendo numa única fratura da crosta superior, com tamanho de poucas centenas de metros. A diferença de alguns km entre os epicentros instrumentais (como se vê na Tabela 1) se deve às incertezas de localização.

Em alguns casos raros, os tremores podem ser "disparados" por outros fatores, como por exemplo pelo enchimento de um grande reservatório hidrelétrico. Em Minas Gerais, vários reservatórios grandes (como Nova Ponte e Miranda no Triângulo Mineiro, e Irapé no Vale do Jequitinhonha) já provocaram tremores, chegando a magnitude 4. O reservatório de Cajuru, a 20 km de Divinópolis, também teve muita atividade sísmica na década de 70, com magnitude máxima de 3,7 em janeiro/1972. Há também casos raros de tremores induzidos pela mineração.

### 4.3 Barragem de Gafanhoto

Embora alguns reservatórios hidrelétricos possam induzir tremores de terra, esse fenômeno só ocorre em reservatórios com grande profundidade (mais de 30 ou 50 m; o caso de Cajuru, com apenas 20 m, é uma exceção a nível mundial). Além disso, os epicentros dos tremores induzidos por reservatórios estão dentro do lago ou nas suas margens. A barragem de Gafanhoto está a 2.5 km do epicentro macrossísmico (Fig. 7), bem fora da área de influência do reservatório. Portanto, a possibilidade dos tremores terem alguma relação com a barragem é extremamente remota e pode ser descartada. Mais improvável ainda seria alguma relação com o reservatório de Cajuru devido à grande distância dos epicentros.

### 4.4 Pedreiras

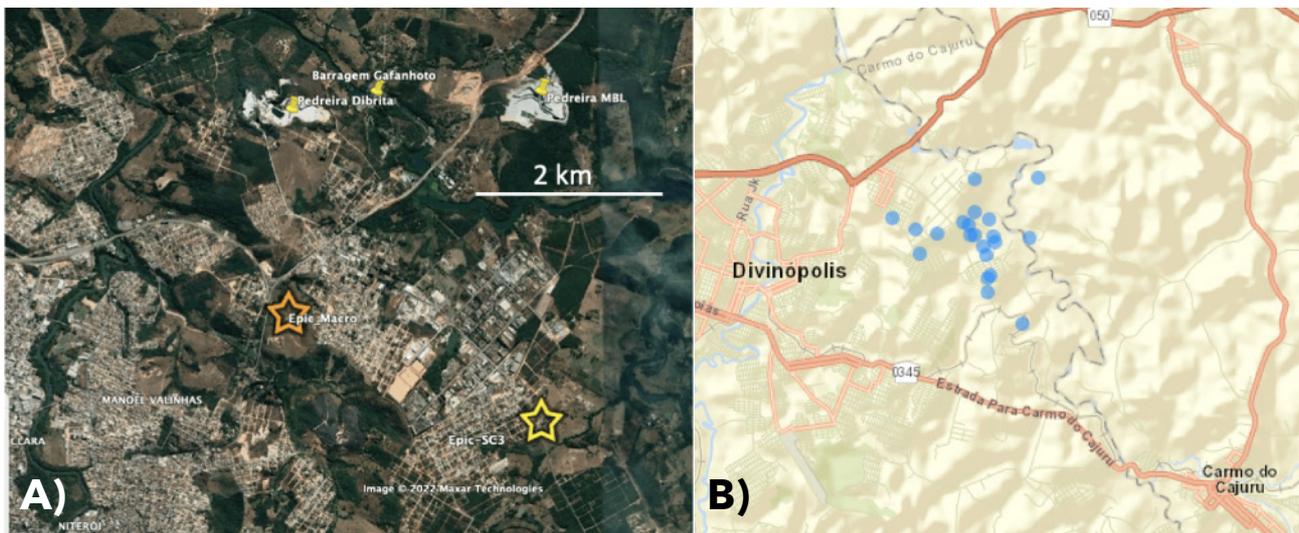
Exploração em pedreira raramente causa tremores de terra. Os poucos casos conhecidos (tanto na literatura como no Brasil) são de extração de enormes

quantidades de rocha deixando uma cava com mais de 100 m de profundidade. Esse tipo de extração de rocha pode provocar um alívio das pressões verticais logo abaixo da pedreira. Dependendo da orientação e magnitude das tensões geológicas existentes, este alívio pode induzir pequenos tremores de terra. Neste caso os focos dos sismos estarão também logo abaixo da cava ou nas suas beiradas. Os tremores de Divinópolis estão longe das pedreiras Dibrita (2.2 km) e MBL (3.4km). Portanto, pode-se também descartar a possibilidade de efeito das pedreiras mencionadas.

#### 4.5 Chuvas intensas

Como estamos em período de chuvas intensas, incluindo inundações catastróficas e pluviosidade bem acima da média histórica, é natural perguntar-se se chuvas intensas podem, de alguma maneira, causar tremores. Em princípio, um aumento significativo da pressão da água em fraturas a alguns km de profundidade poderia facilitar o deslizamento de blocos causando tremores. Esse é o mecanismo principal dos sismos induzidos por reservatório hidrelétricos. No entanto, apenas muita chuva e alagamento não são capazes, normalmente, de aumentar a pressão da água a alguns km de profundidade a ponto de desestabilizar alguma falha geológica.

Há alguns casos raros, comprovados na literatura, de tremores induzidos por chuva. Chama-se a isso de "hidrossismicidade". Mas deve-se lembrar que, estatisticamente, os tremores naturais ocorrem com igual probabilidade durante o ano inteiro, tanto nas épocas de chuva como nas épocas de estiagem. É muito difícil comprovar a hipótese de hidrossismicidade pois exigiria um acompanhamento de alguns anos (pra ver se os tremores diminuem na estiagem e voltam a aumentar nas chuvas seguintes). Além disso, seria preciso um monitoramento sísmico de detalhe para acompanhar a evolução dos sismos, suas profundidades e mecanismos de falhamento. Considerando que chuvas intensas têm ocorrido em várias partes do Brasil e não se constatou nenhum aumento da sismicidade em outras regiões, a hipótese de influência das chuvas nos tremores de Divinópolis deve ser considerada muito remota.



**Figura 7. A)** Epicentros macrossísmico (estrela laranja) e instrumental (amarelo), longe das pedreiras Dibrita e MBL, e da barragem do Gafanhoto. O epicentro macrossísmico está dentro do intervalo de incerteza do instrumental (~5km). **B)** Epicentros instrumentais localizados pelas estações distantes da RSBR e RSVL-QF, com incertezas de +/- 5 km.

## 5. Conclusões

Tudo indica que os tremores de terra em Divinópolis são de origem natural e fazem parte de um "enxame" sísmico similar a outros casos de sismicidade no Brasil. Infelizmente, não existe técnica comprovada que permita prever a evolução da sismicidade. São raros os casos em que os tremores aumentam em frequência e magnitude a ponto de causar danos sérios, mas não se pode descartar totalmente esta possibilidade. No entanto, a chance de danos maiores é remota.



Centro de Sismologia da  
Universidade de São Paulo

2022-Jan-19, 17h