

Nº 178979

Sismicidade induzida: introdução e objetivos de monitoramento

Lucas Schirbel

*Palestra apresentada na Usina
Hidrelétrica de Machadinho, Piratuba/SC.
34 slides*

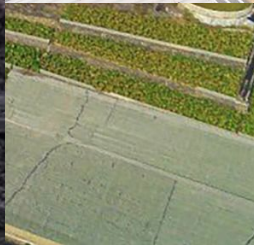
A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.

PROIBIDO REPRODUÇÃO

Sismicidade Induzida: Introdução e Objetivos do Monitoramento

Lucas Schirbel - IPT/SP

Vivemos em um Plan



Vivemos em um Planeta Ativo



Esquerda : Hippias, Mar da Galileia, 749 d.C.
(Magnitude 7.5)

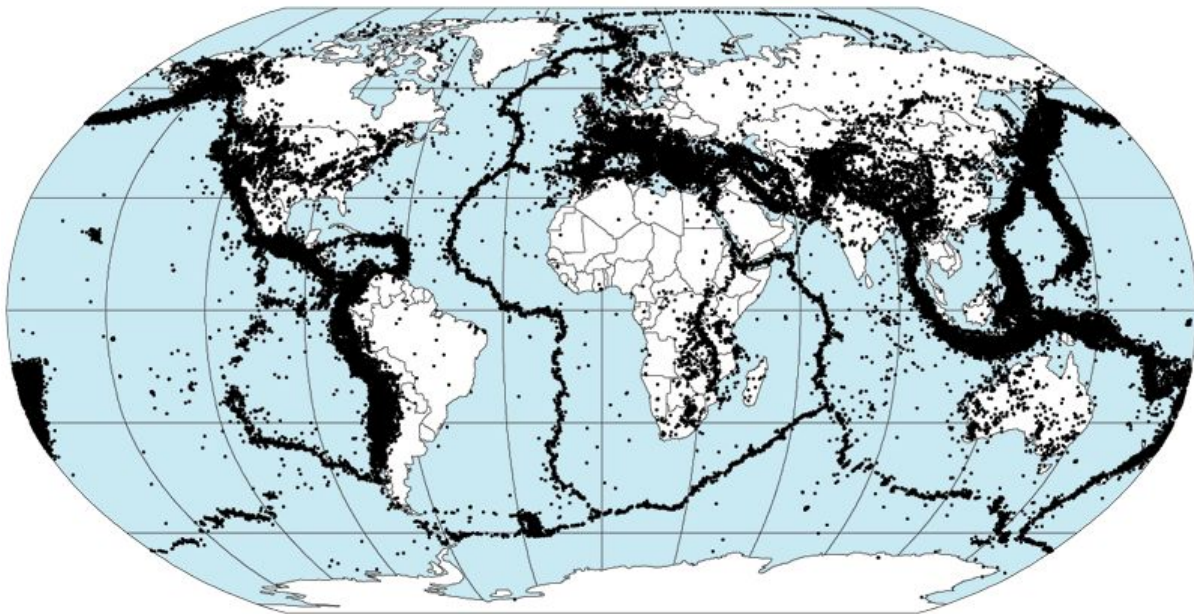
Direita: Kobe, Japão, 1995
(Magnitude 6.9). 5500 mortos, 26000 feridos e \$200 bi em perdas econômicas.

1250 anos entre os dois eventos.

Living on an Active Earth: Perspectives on Earthquake Science (2003)

Onde os sismos acontecem?

Preliminary Determination of Epicenters
358,214 Events, 1963 - 1998



Importância da divulgação científica

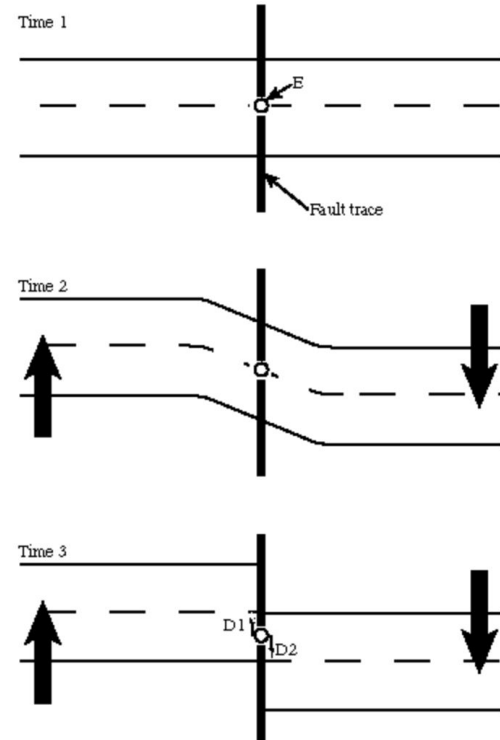
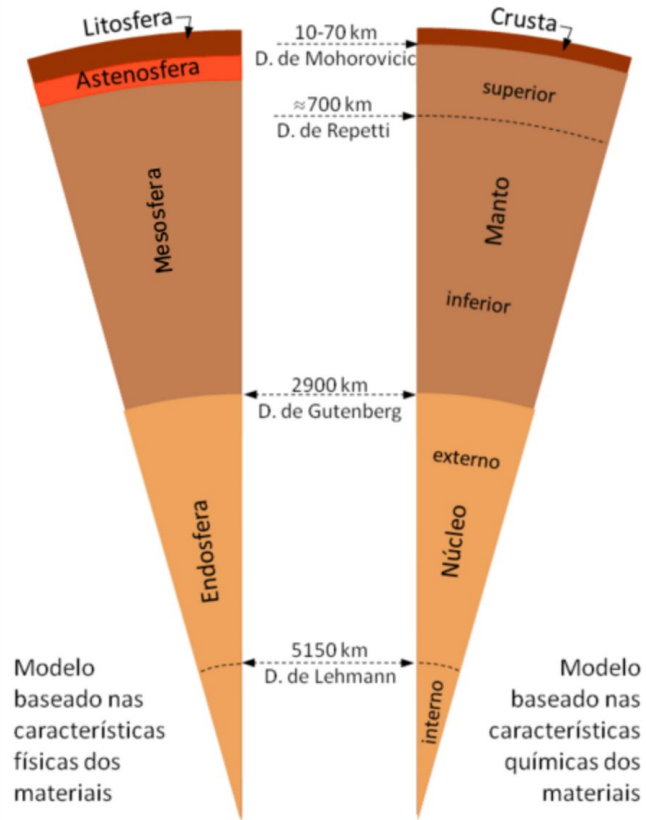
Em 2015, o governo da Malásia atribuiu um terremoto de 6,0 Mw que matou 18 pessoas a turistas posando nus no Monte Kinabalu, uma das montanhas sagradas do país.

Em 2014, a população local nas montanhas de Altai, na Sibéria, atribuiu os terremotos à remoção dos restos mumificados de uma nobre do século V a.C. para investigação arqueológica.

Em 2010, o evangelista americano Pat Robertson atribuiu o devastador terremoto de 7,0 Mw no Haiti a um alegado “pacto com o Diabo” feito por escravos fugitivos para garantir o sucesso da bem sucedida insurreição anti-escravatura de 1791-1804 na ilha.

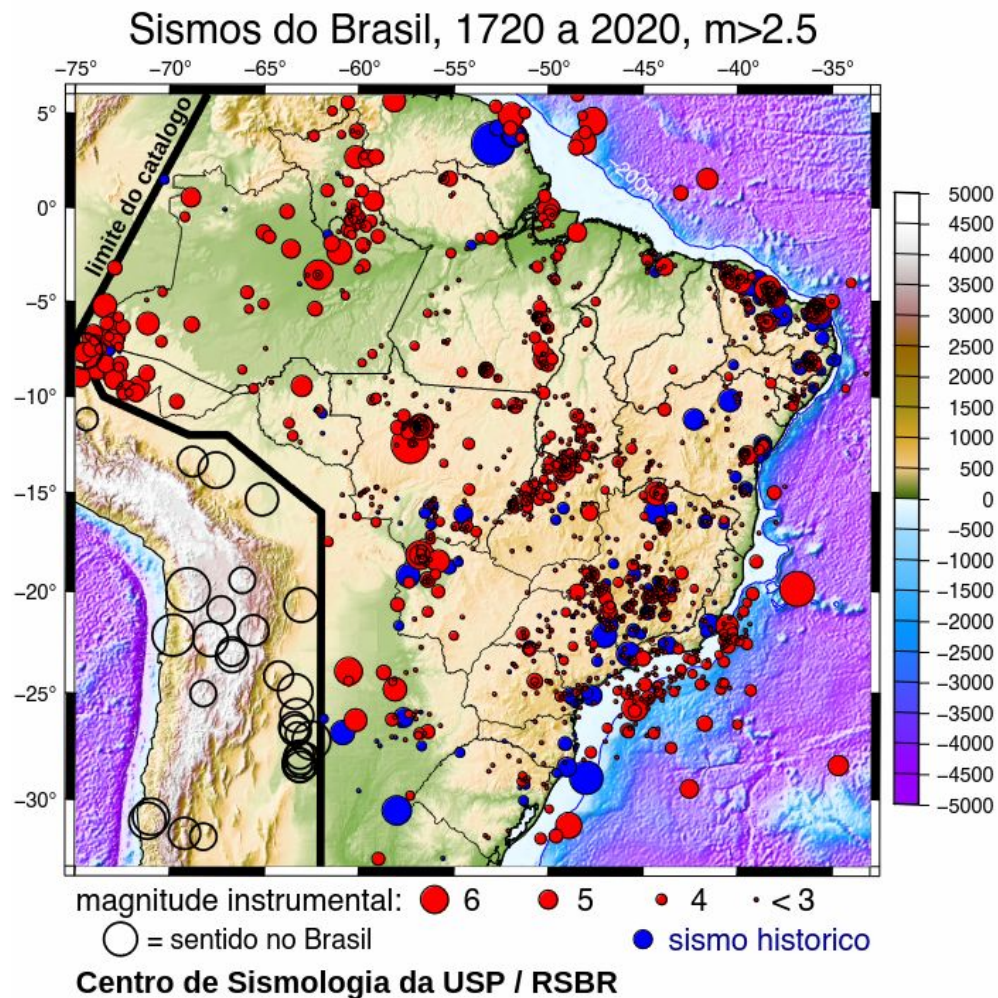
(Foulger, 2018)

Como Acontece um Sismo?

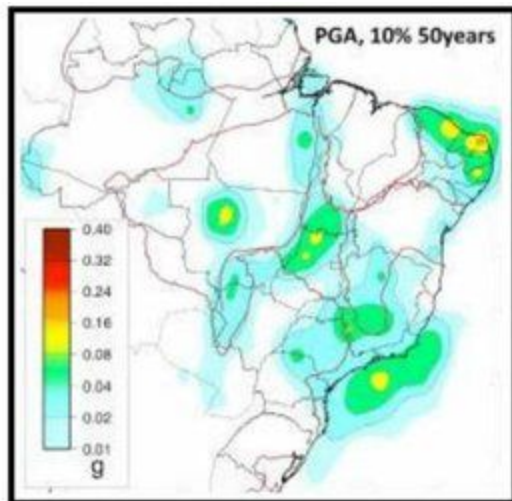


Sismicidade do Brasil

Boletim Sísmico Brasileiro

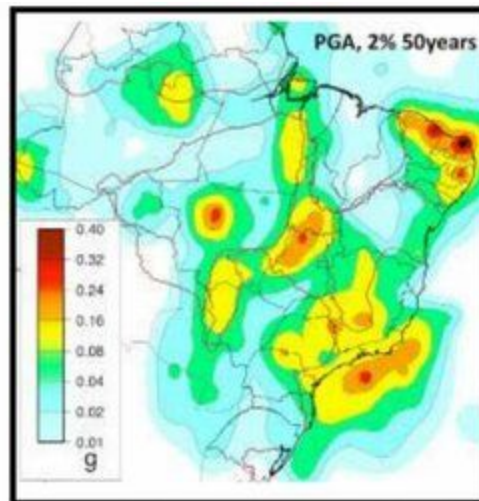


Ameaça Sísmica no Brasil



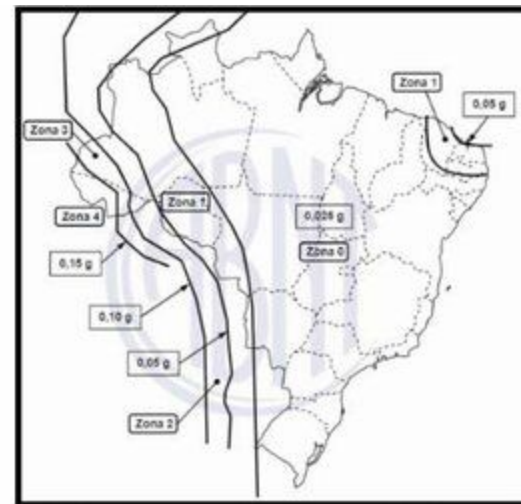
(a) Mapa de Ameaça Sísmica para o Brasil com Período de Retorno de 475 anos.

Fonte: Assumpção *et al* (2016)



(b) Mapa de Ameaça Sísmica para o Brasil com Período de Retorno de 1475 anos.

Fonte: Assumpção *et al* (2016)



(c) Mapa de Ameaça Sísmica para o Brasil com Período de Retorno de 475 anos.

Fonte: NBR15421 (2006)

Impactos Sociais



EDIÇÃO
EXTRA

O Poti

ORGÃO DOS DIÁRIOS ASSOCIADOS • FUNDADOR ANTON CHATTAIBRIANI

ANO XXIX

NATAL RN - SEGUNDA-FEIRA, 01 DE DEZEMBRO DE 1990

Em todo
o Estado
Cr\$ 3,00

Nº 68

Madrugada de horror com abalos destruindo casas em João Câmara

Candelária, um bairro muito tenso
Pag. 5

João Câmara vira cidade fantasma...
Pag. 5

Medo, todos sentem e todos temem
Pag. 5

Prefeituras e governo ajudam povo
Pag. 5

A torre da matriz desta vez rachou
Pag. 7

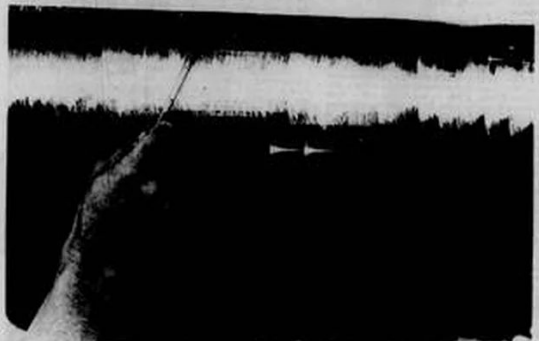
O estrondo, o clarão e os abalos
Pag. 7

Em Brasília, a estação faz registro

BRASÍLIA. (ANDA - O POTI) — O município de João Câmara no Rio Grande do Norte sofreu durante a madrugada de ontem, uma incursão de terra. O mal, forte, registrado pela estação sismológica da UNB ocorreu às 2h20min atingindo 5,3 pontos na escala Richter. O dano registrado de menor foi ao nível da com 4,4 pontos de magnitude. O Ministério da Administração Regional Agências compareceu na estação sismológica da UNB.



Com ruas totalmente destruídas, famílias duas vítimas com ferimentos



Tela horra e vista de dois mil metros da madrugada de domingo. Um forte tremor sacudiu a cidade, com estrondos sucessivos de ao longe, sem um ponto certo, como se visse do mar. Portas, janelas e móveis tombaram: vidros quebraram, até que as pessoas perceberam que a cidade estava sendo sacudida por mais um abalo elástico, mais forte, com o maior de todos os tremores, atingindo 5,3 na escala Richter. Los outros pequenos abalos seguiram-se depois, de menor, deixando a cidade arruinada. Uma centena de vítimas pela madrugada, passou a transcorrer os primeiros instantes queles sob os abalos, mas as consequências destrutivas com a cidade de João Câmara estavam coradas por falta de estrutura elástica no ponto sismológico e na cidade. Em João Câmara, a situação era de pânico desde a madrugada, com a população saindo às ruas e tentando a destruição de suas casas. De manhã, uma casa estava totalmente destruída, a torre da igreja matriz de João Câmara apresentava rachaduras, várias casas rachadas e o chão da cidade corado de fissuras. Os primeiros, com tantos sismos com outras cidades, chegaram a intensidade de dois abalos. Angicos, Lagoa, Riachuelo, em João Câmara, os primeiros de todos registramentos, mesmo em zonas inabitadas, os abalos, assim como em áreas rurais de Pernambuco. No sismógrafo instalado em João Câmara a escala chegou 5,3, mesmo registro da estação de Brasília, instalada na Universidade de Brasília Federal. Na primeira hora de manhã foi registrada uma explosão de intensidade de Brasília que destruiu um em Natal no meio da tarde, partindo do aeroporto para a cidade de João Câmara, onde passaria toda a noite. Os abalos vieram sem abalos, mas há quem fale em desastres, incluindo aqueles de pouca intensidade registrados em João Câmara. O sismógrafo Engenho Canha, do EPN, declara que os movimentos da rede sismológica são independentes pelos abalos, se conhece a grandeza desse registro, agreda, às 2h20min, da madrugada de domingo e foi um abalo, o próximo que o governo brasileiro tenha, através suas equipes sobre os movimentos da rede sismológica que registram sendo destruídas nas grandes zonas tecnológicas, como Estado Unidos. Na terceira página desta edição extra de O POTI, a entrevista com Engenho Canha, com a rede sismológica da UNB, mostrando a rede sismológica e a situação da rede de João Câmara. Na

Sismos Induzidos

Sismicidade Induzida vêm sendo observada há algumas décadas.

Primeiros casos de sismos induzidos por reservatórios na década de 1930.

Casos significativos na década de 60 despertaram interesse da comunidade científica.

Relutância inicial da comunidade de engenharia em aceitar que obras poderiam disparar sismos.



Mecanismos de Indução

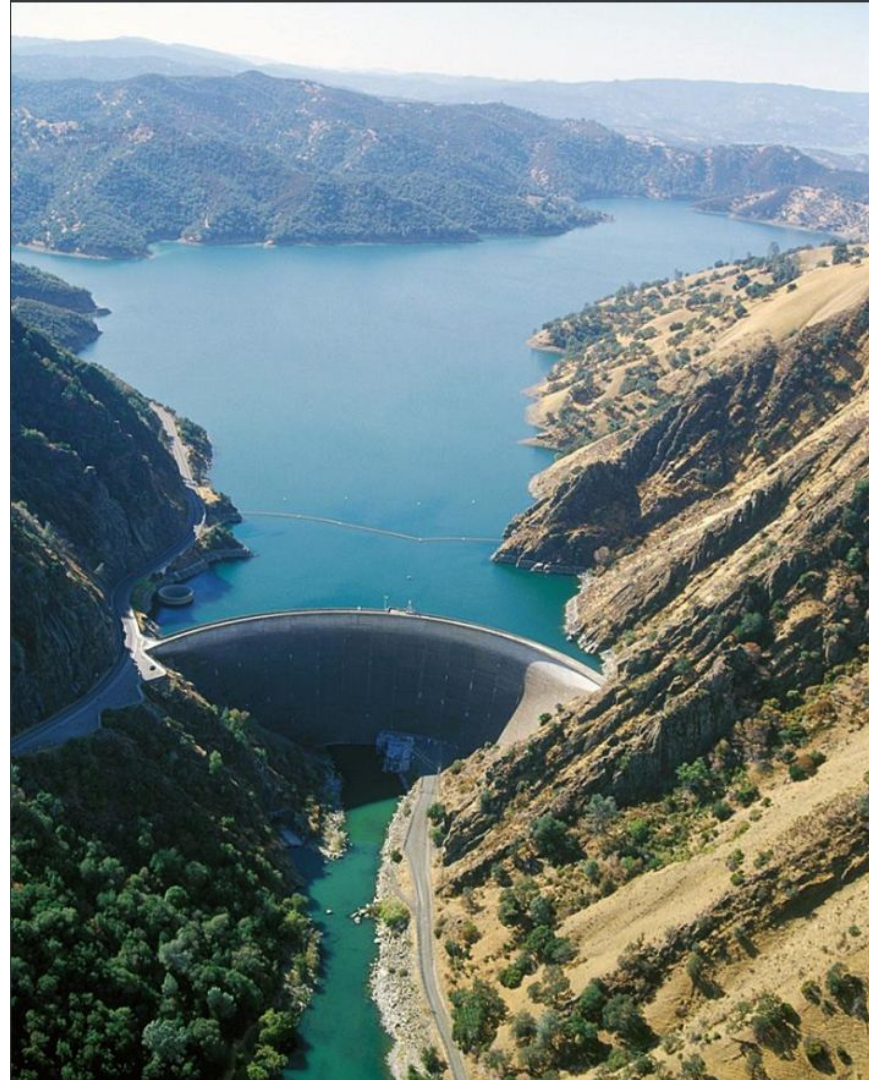
- Operações na Superfície
- Adição de Massa em Subsuperfície
- Retirada de Massa em Subsuperfície
- Explosões

Operações na Superfície

Reservatórios de Água - 168 casos

Construção de Prédios Altos - 1 caso

Sedimentos Costeiros - 1 caso



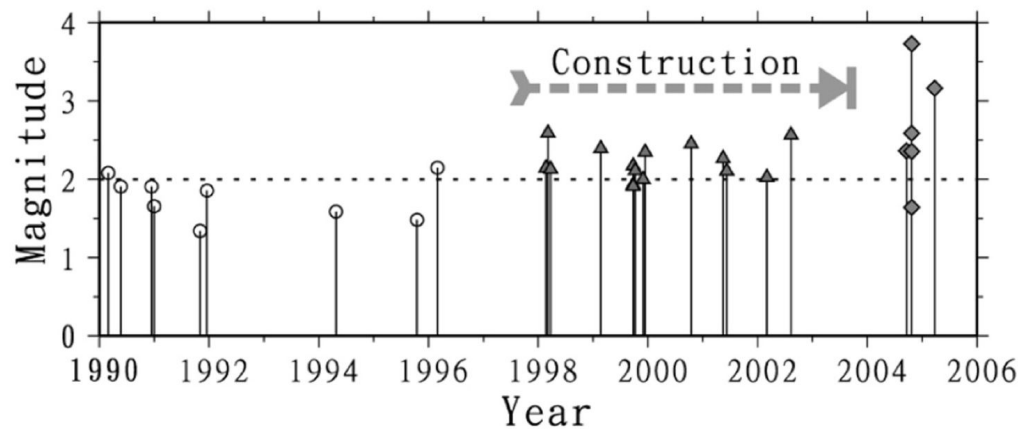
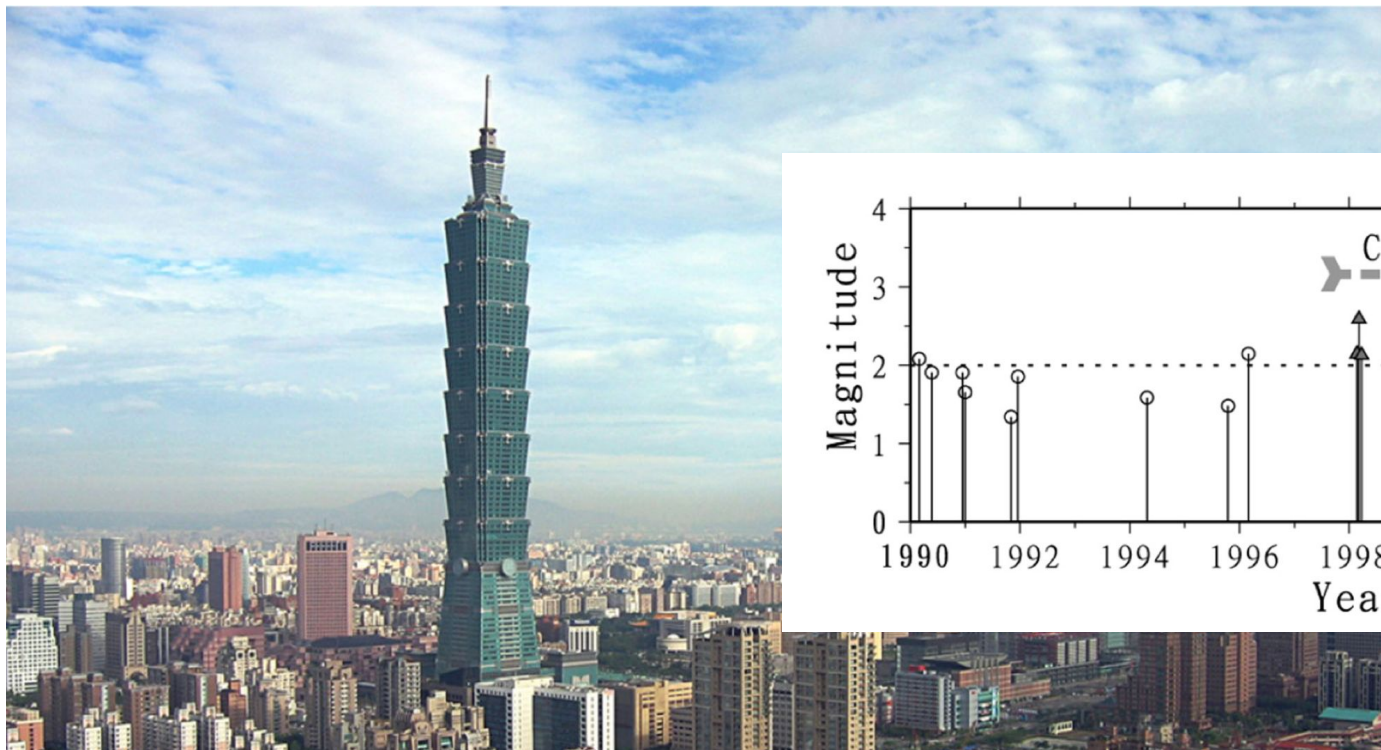
2024-04-02 23:58:11 (UTC)	23.819°N 121.562°E	34.8 km depth
---------------------------	--------------------	---------------

2024-04-02 23:58:11 (UTC)

23.819°N 121.562°E

34.8 km depth

Taipei 101



Reservatórios de Água

Aproximadamente 25% dos casos de sismicidade induzida no mundo todo.

Maior magnitude aproximadamente 8.0 Mw em Wenchuan - China, 2008 (?)

Ocorrem tanto em zonas sismicamente ativas quanto em zonas intraplacas.

Potencial para danos catastróficos (e.g., Koyna, Índia 1967).

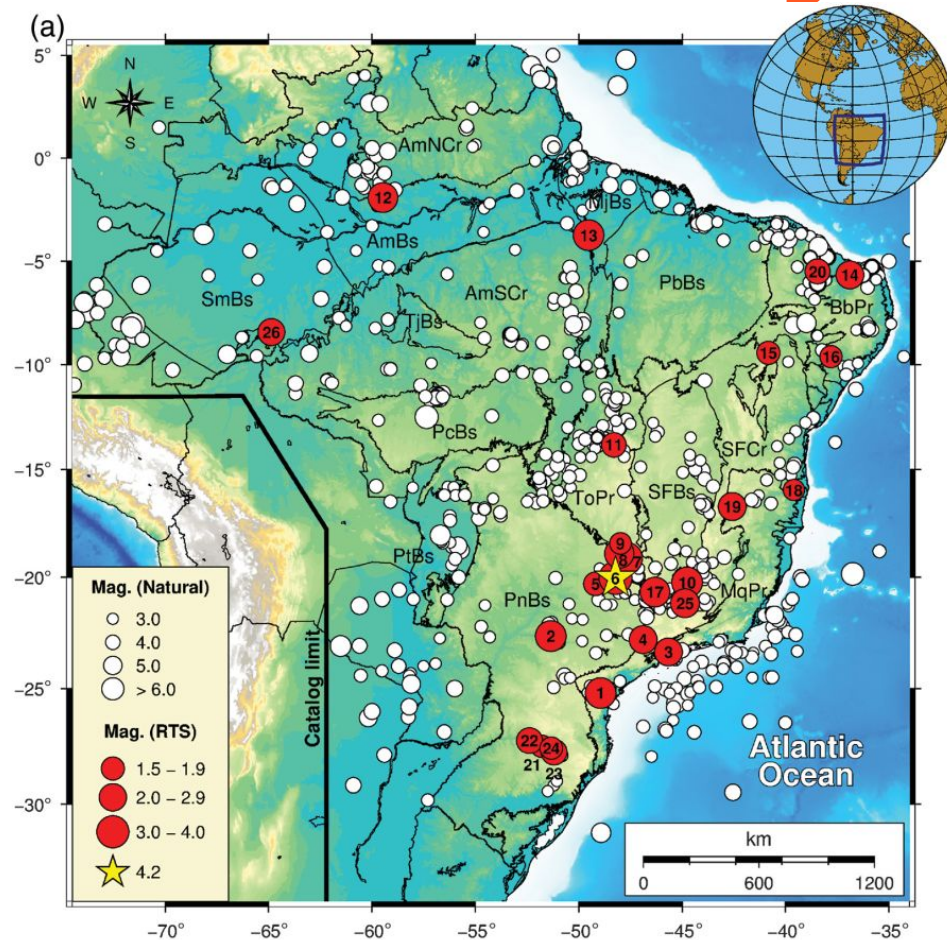
200 mortos, 1500 feridos

Danos estruturais à barragem.



Koyna Nagar, India, December 10, 1967 - Source: NGDC, Boulder, Colorado, USA Slide #B67L10-002

Reservatórios de Água - No Brasil



26 casos de sismicidade induzida por reservatório no Brasil.

Barros et al., 2018

Alguns Casos Recentes

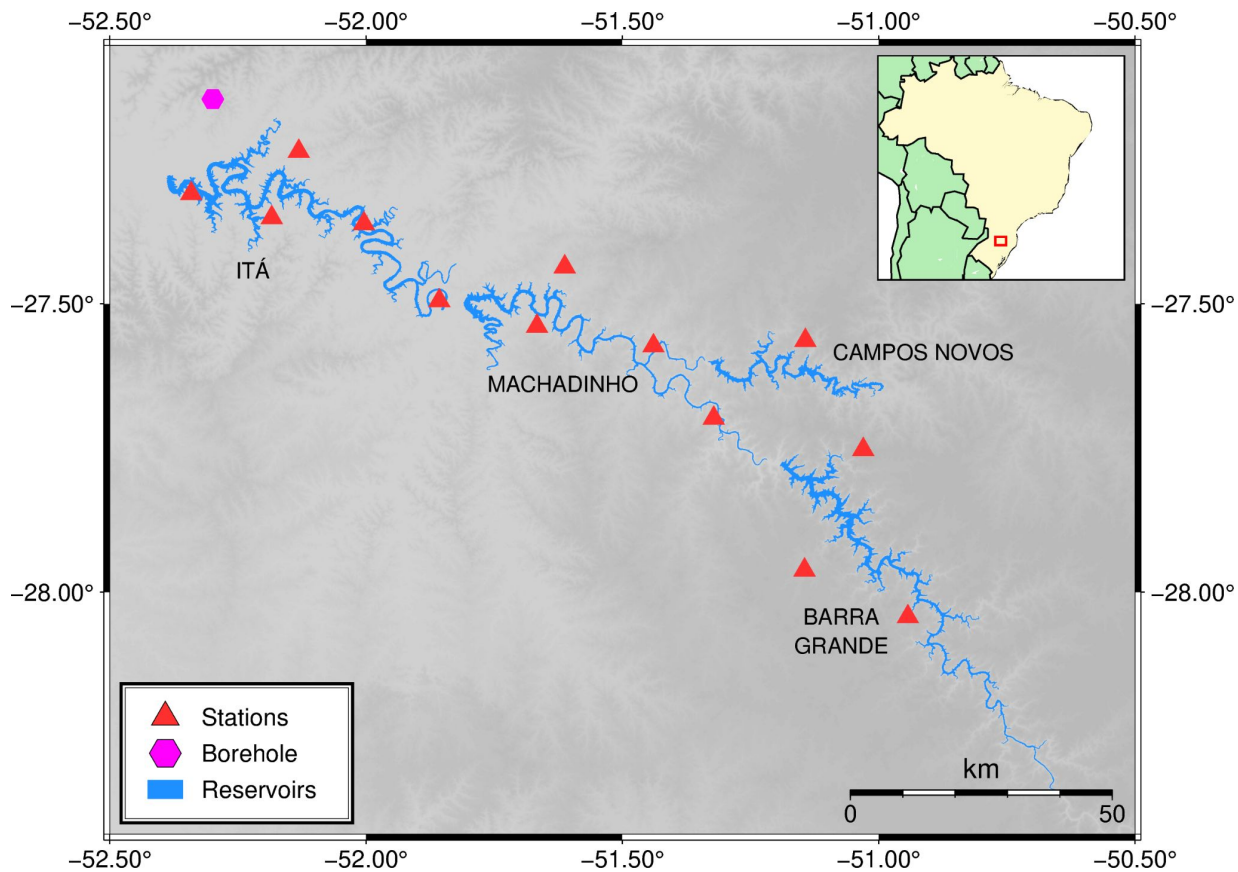
Tremor de terra é registrado em Paraibuna, no interior de SP

Magnitude foi de 2,4 graus na escala Richter

MP vai apurar tremores em Marcelino Ramos

Promotoria Pública deve solicitar um estudo científico para saber de onde partem os estrondos e tremores de terra

Monitoramentos Atuais



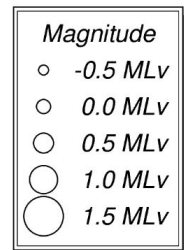
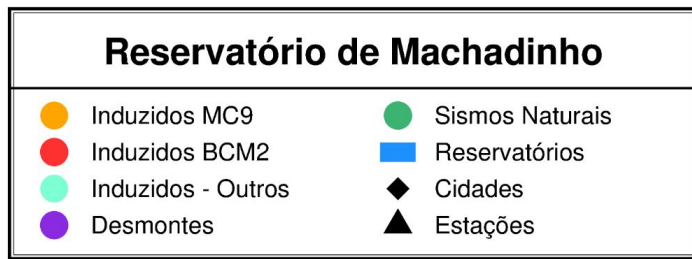
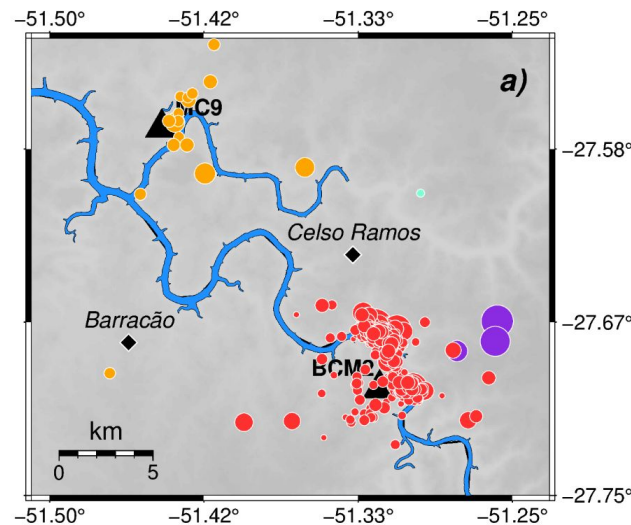
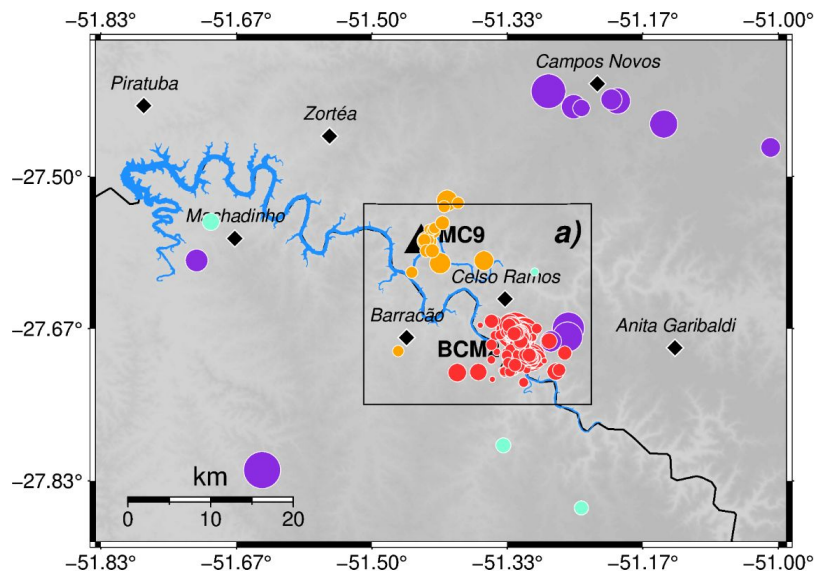
Estações Sismológicas



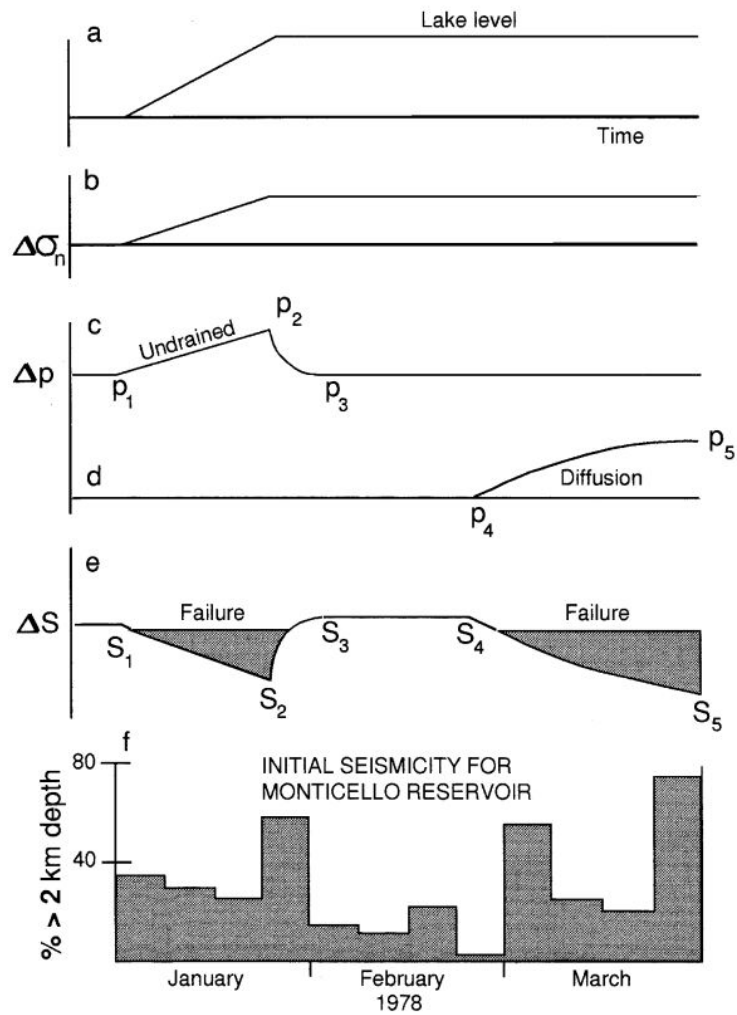
Estações Sismológicas



Machadinho - SC



RESPONSE TO INITIAL FILLING



Mecanismos de Indução

Variação da
resistência ao
cisalhamento

Variação da
tensão
normal ao
plano

Variação da
tensão de
cisalhamento

$$\Delta S = \mu_f (\Delta\sigma_n - \Delta p) - \Delta\tau$$

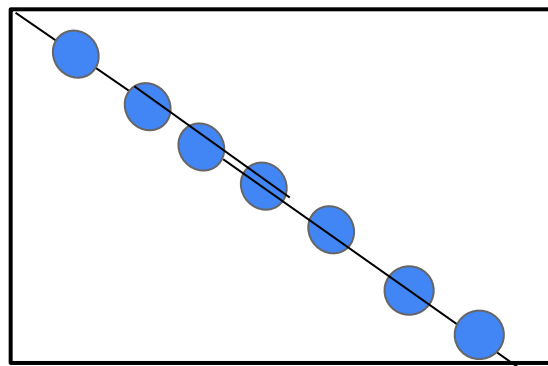
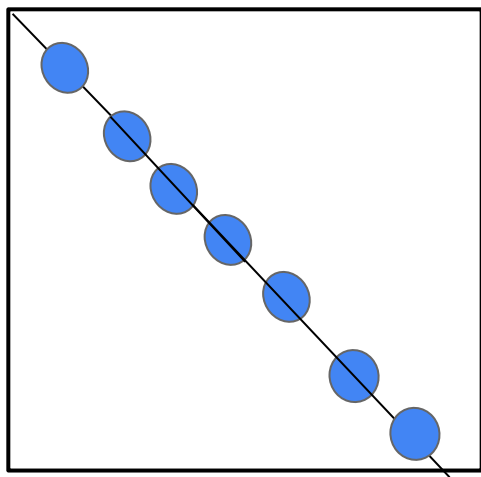
Coeficiente de
Atrito Interno

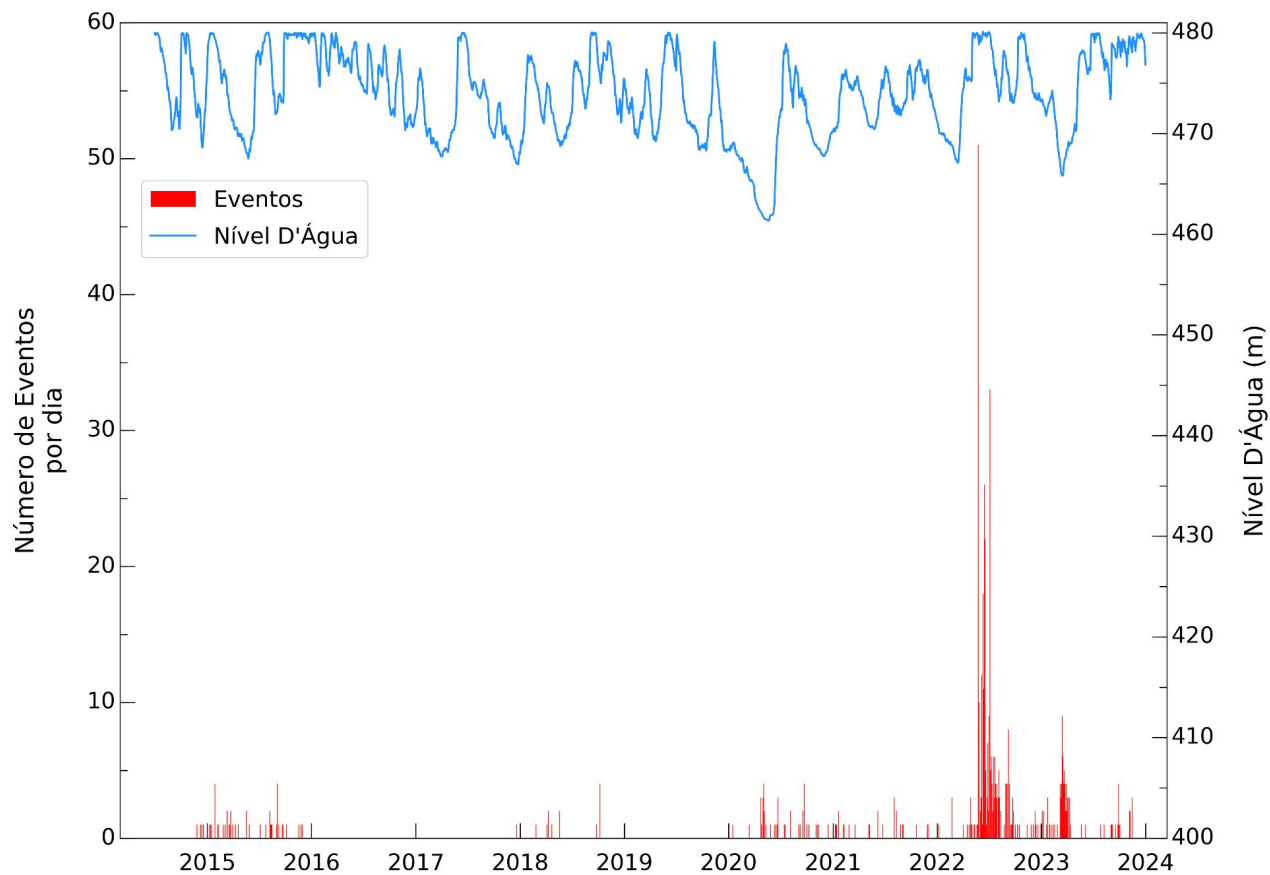
Variação da
pressão de
poro

Mecanismos de Indução



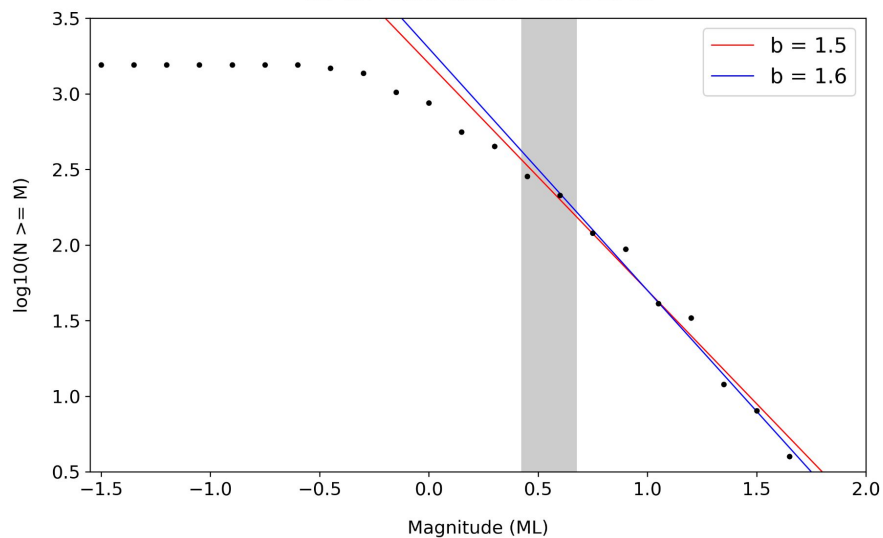
PESO



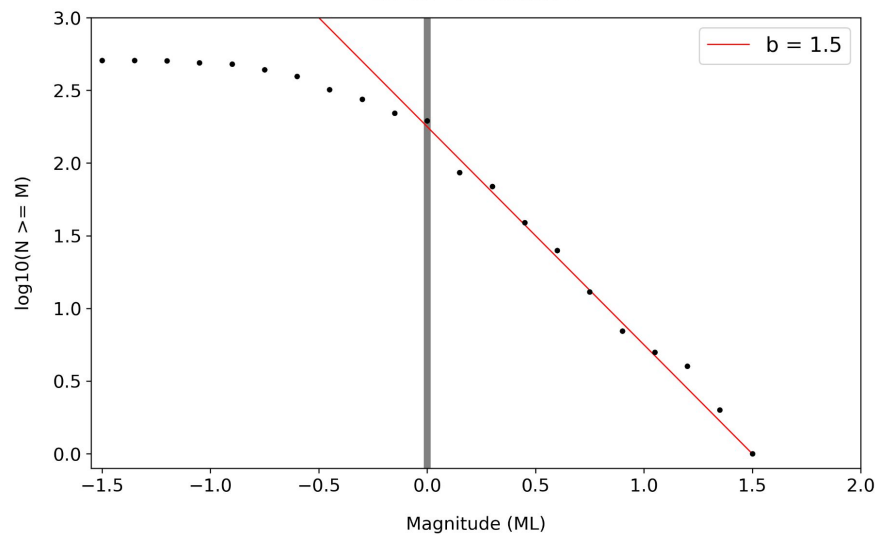


Machadinho - SC

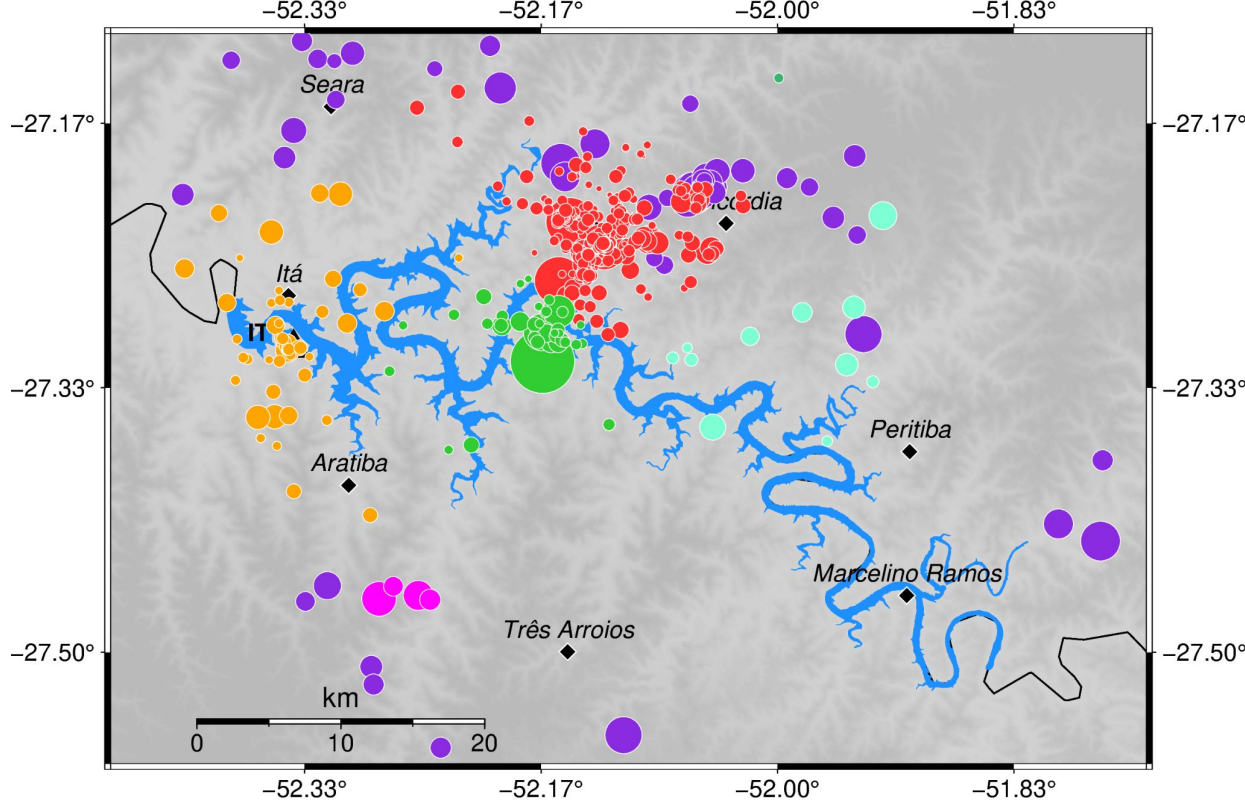
Lei GR - Machadinho - 2001-2002



Lei GR - Machadinho



Itá - SC



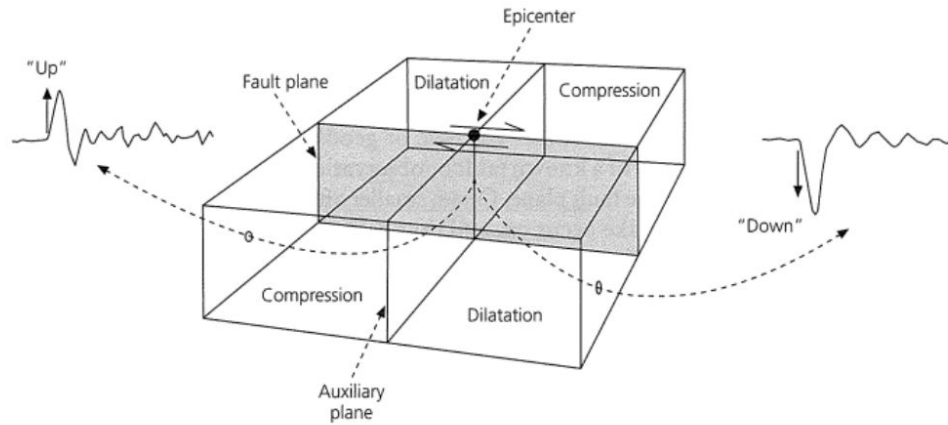
Reservatório de Itá

- | | |
|---------|---------------|
| Grupo 1 | Desmontes |
| Grupo 4 | Estações |
| Grupo 5 | Reservatórios |
| Grupo 9 | Cidades |

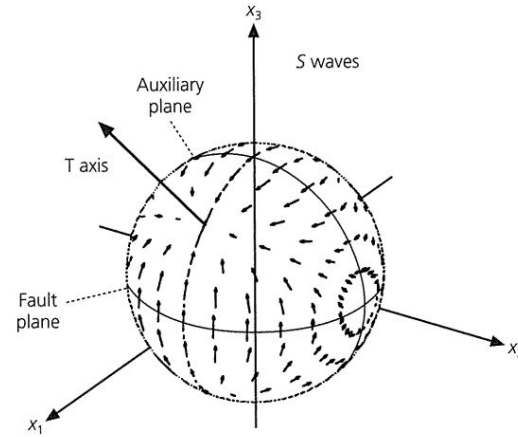
Magnitude

- | | |
|--|----------|
| | -0.5 MLv |
| | 0.0 MLv |
| | 0.5 MLv |
| | 1.0 MLv |
| | 1.5 MLv |

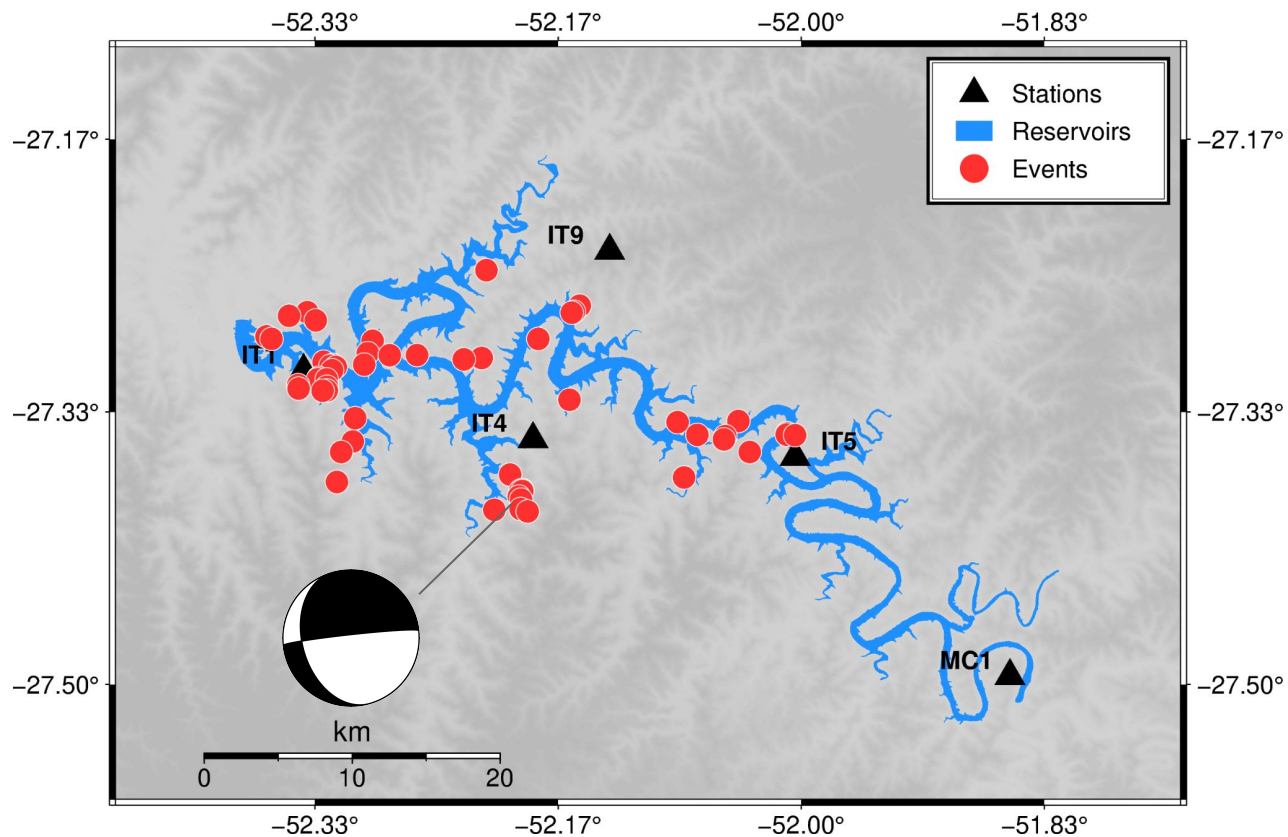
Mecanismos Focais



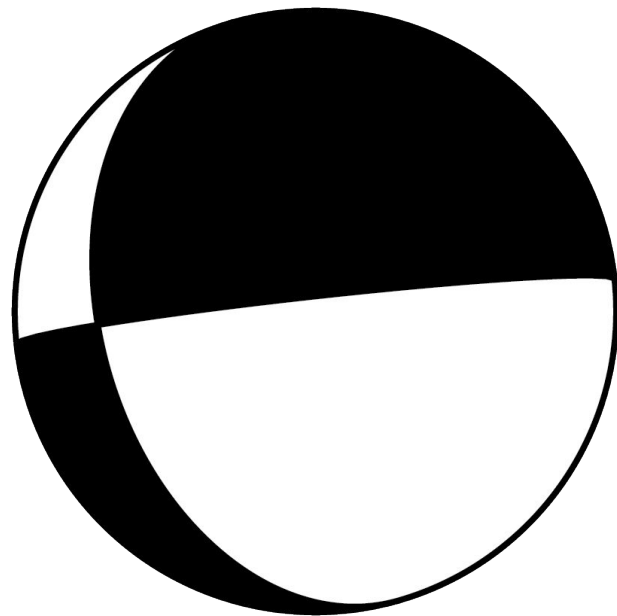
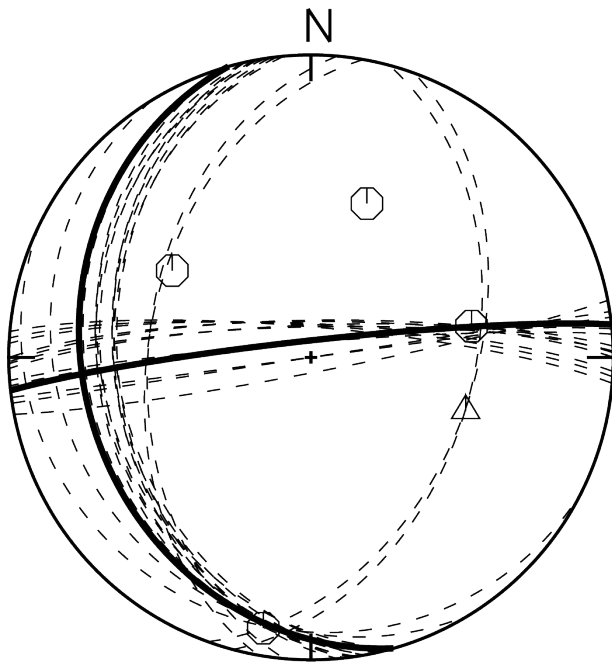
Retirado de Stein &
Wyssession (2002)



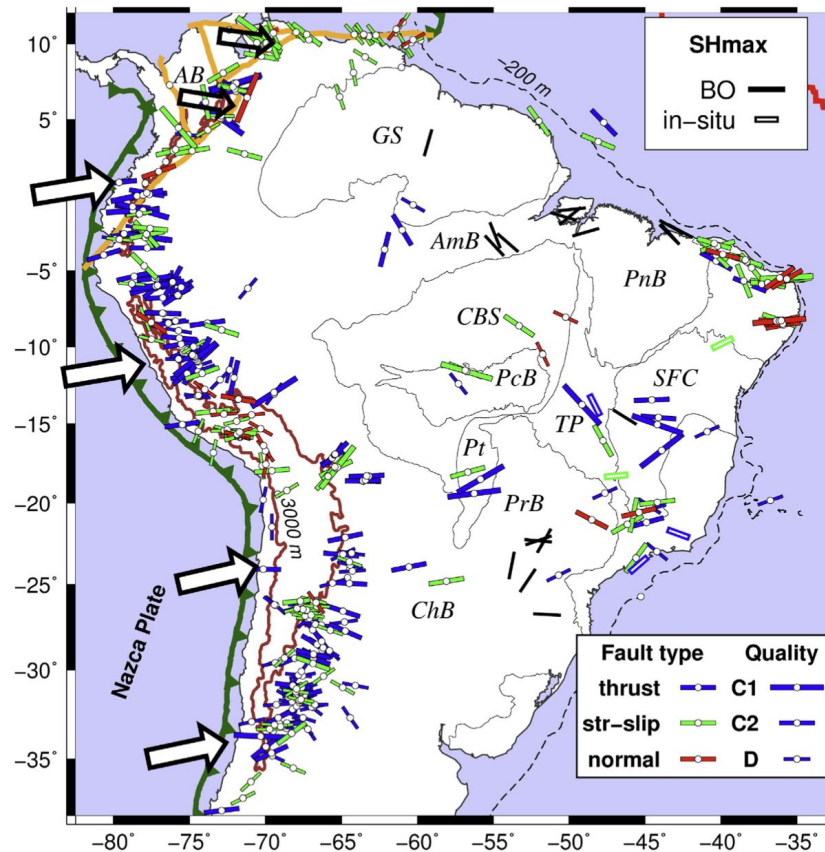
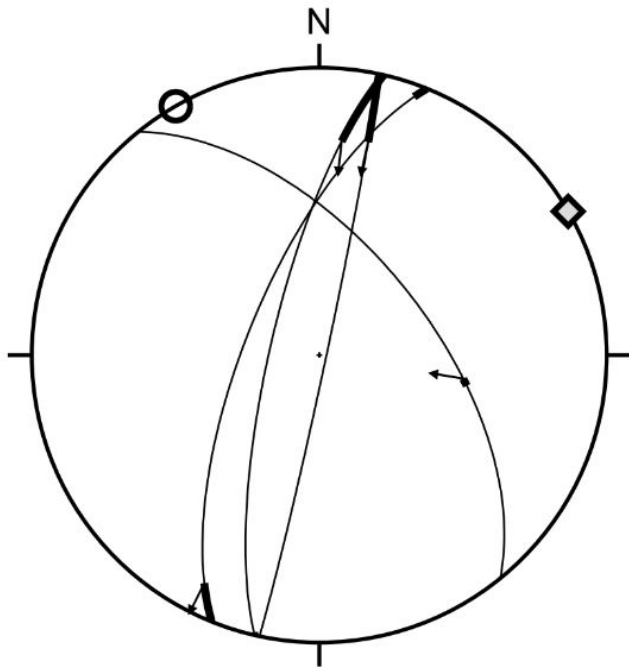
Mecanismos Focais



Mecanismos Focais

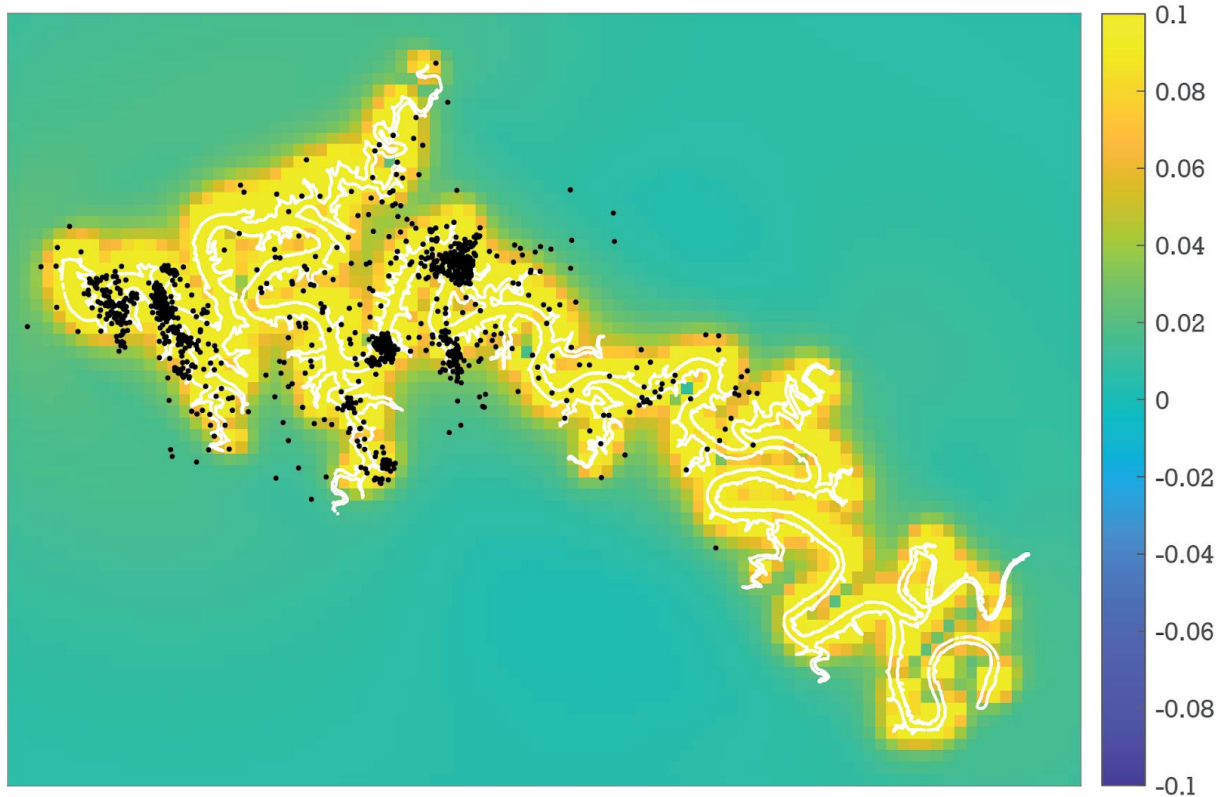


Campo de Tensões



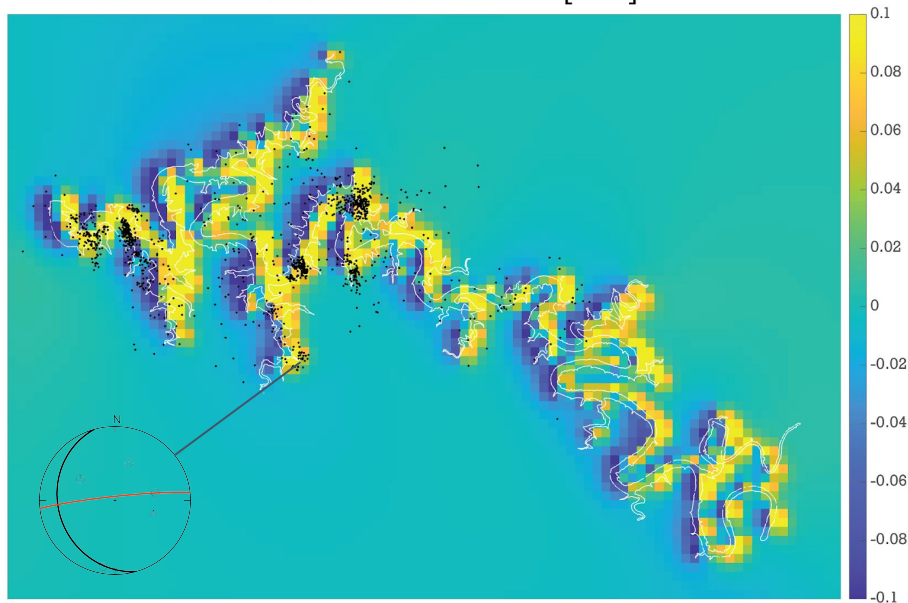
Modelagem Geomecânica

Coulomb Stress - MAX [MPa]

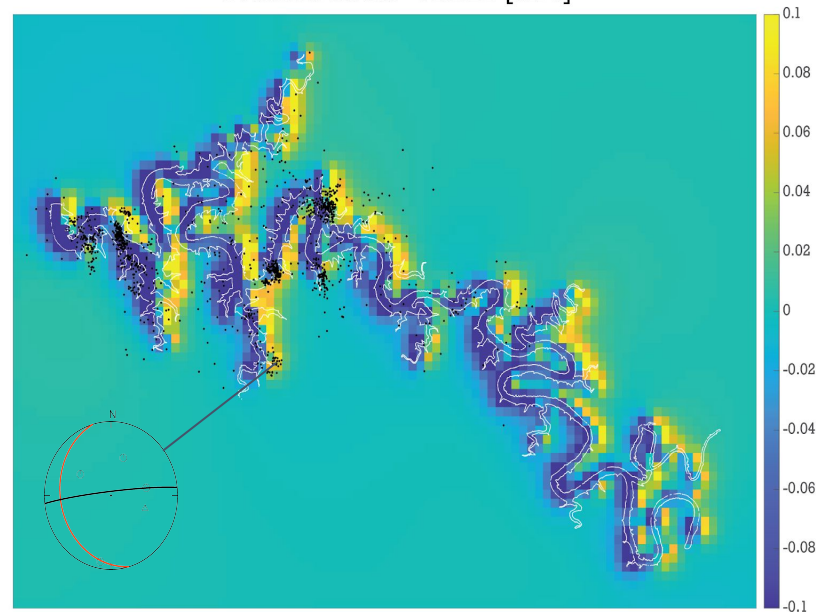


Modelagem Geomecânica

Coulomb Stress - FAULT [MPa]



Coulomb Stress - FAULT [MPa]



Obrigado!