

Sismicidade induzida / antropogênica

Lucas Alexandre Schirbel

Palestra apresentada no IAG/USP. 29 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**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
S/A - IPT

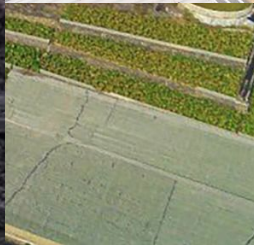
Av. Prof. Almeida Prado, 532 | Cidade Universitária ou
Caixa Postal 0141 | CEP 01064-970
São Paulo | SP | Brasil | CEP 05508-901
Tel 11 3767 4374/4000 | Fax 11 3767-4099

www.ipt.br

Sismicidade Induzida/Antropogênica

Lucas Schirbel - IPT/SP

Vivemos em um Plan



Vivemos em um Planeta Ativo



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

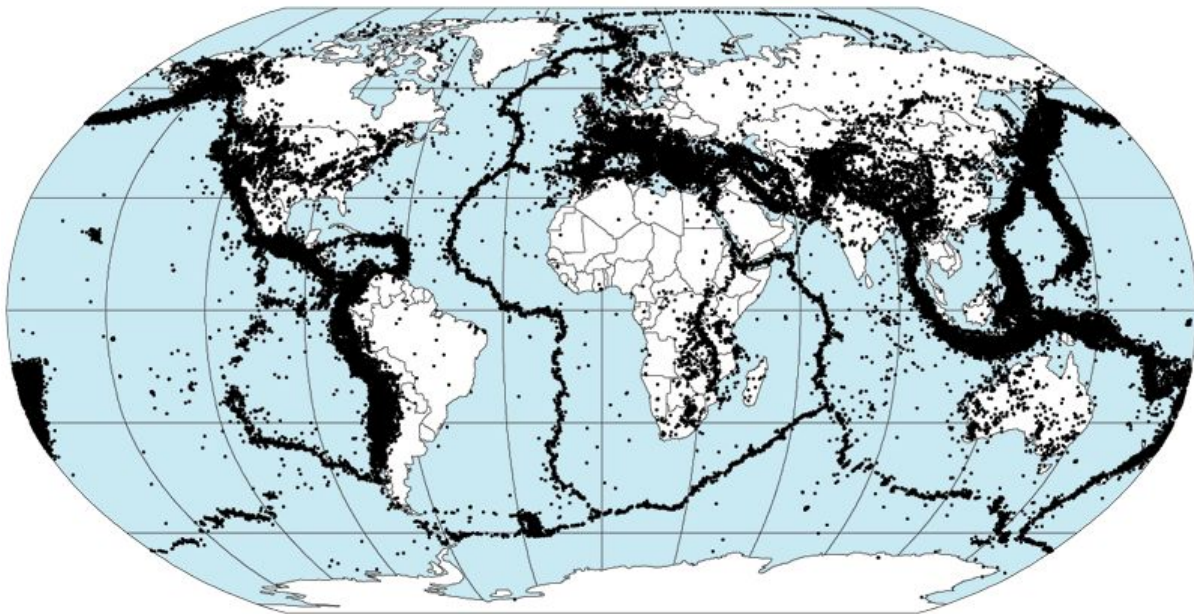
Direita: Kobe, Japão, 1995
(Magnitude 6.9). 5500 mortos, 26000 feridos e \$200 bi em perdas econômicas.

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.

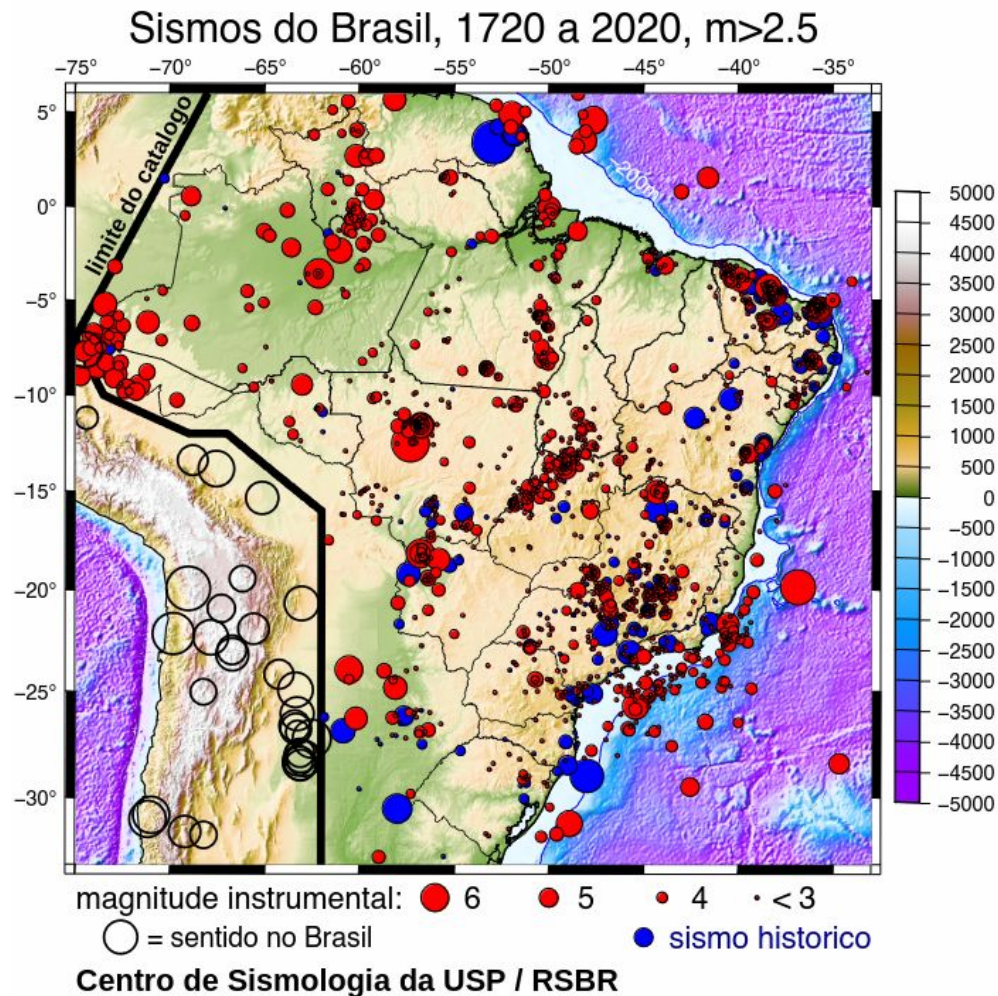
Em 2014, a população local nas montanhas de Altai, na Sibéria, atribuiu os terremotos à remoção dos restos mumificados de uma nobre do século V a.C. para investigação arqueológica.

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)

Sismicidade do Brasil

Boletim Sísmico Brasileiro



Impactos Sociais



EDIÇÃO EXTRA

O Poti

ORGÃO DOS DIÁRIOS ANOCLAIROS • FUNDADO EM 1855 • CHATEAUBRIANT

AND XIV

NATALIEN - SECONDA FIERA, 01 DIC 1922, NUBBIO DEI 1798.

**Em todo
o Estado
Cz\$ 3,00**

24

Madrugada de horror com abalos destruindo casas em João Câmara

**Candelária,
um bairro
muito tenso**

Page 9

**João Câmara
vira cidade
fantasma...**

Page 2

**Medo, todos
sentem e
todos temem**

Page 4

Prefeituras e governo ajudam povo

240

A torre da matriz desta vez rachou

Fig. 3

O estrondo,
o clarão e
os abalos

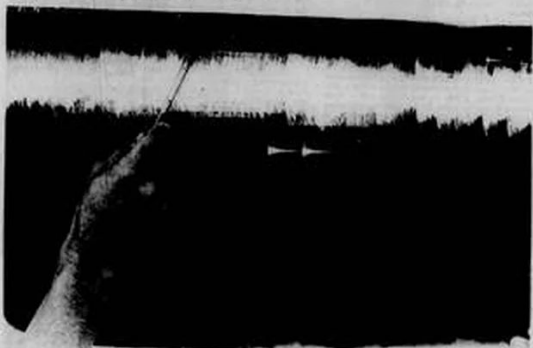
1996

**Em Brasília,
a estação
faz registro**

BRASÍLIA. (ANDA-O
POTU) — O município de João
Cintra no Rio Grande do Nor-
te sofreu durante a madrugada
de ontem, sete tremores de ter-
ra. O maior forte registrado
pela estação sísmológica da
UNB ocorreu às 3h22min atin-
gindo 5,3 pontos na escala Ri-
chier. O último registro de ter-
mor foi ao meio dia com 4,4
pontos de magnitude. O Minis-
tro da Administração Alceu
Nery compareceu na estação



Don't miss this exciting opportunity. See you there!

[illegible]

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

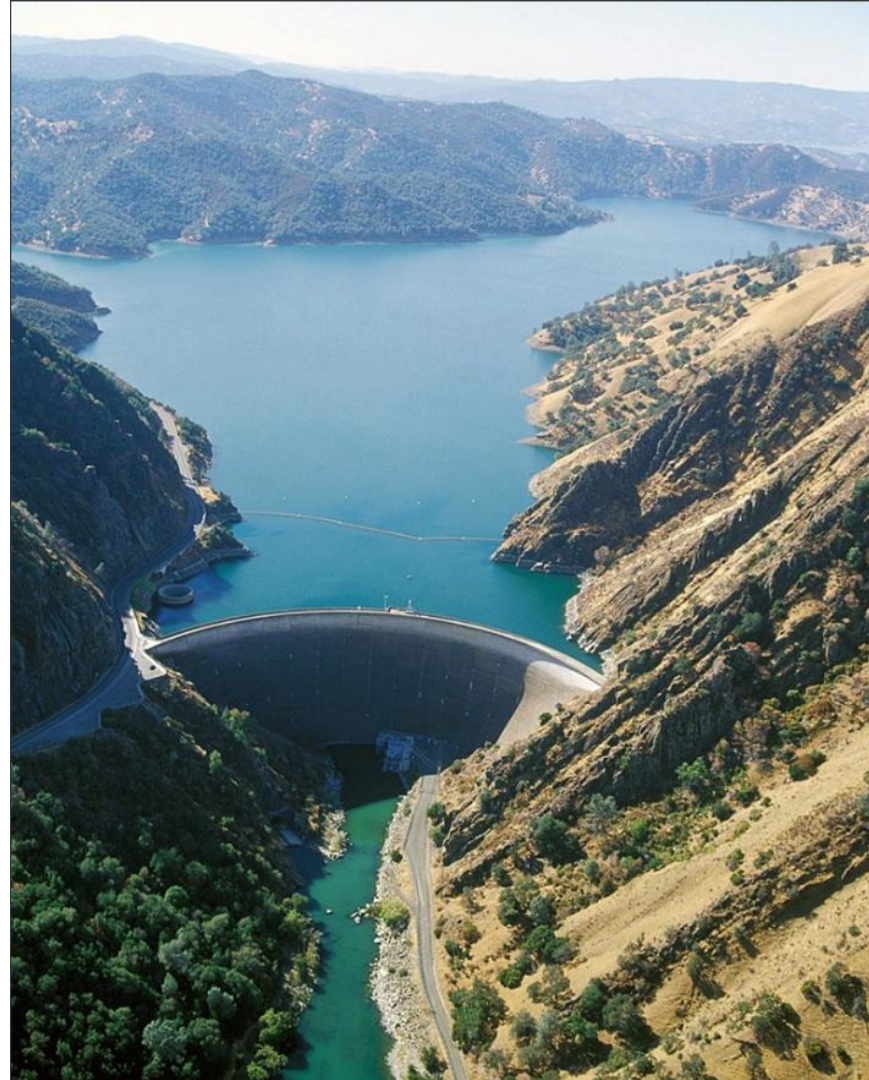
- Operações na Superfície
- Adição de Massa em Subsuperfície
- Retirada de Massa em Subsuperfície
- Explosões

Operações na Superfície

Reservatórios de Água - 168 casos

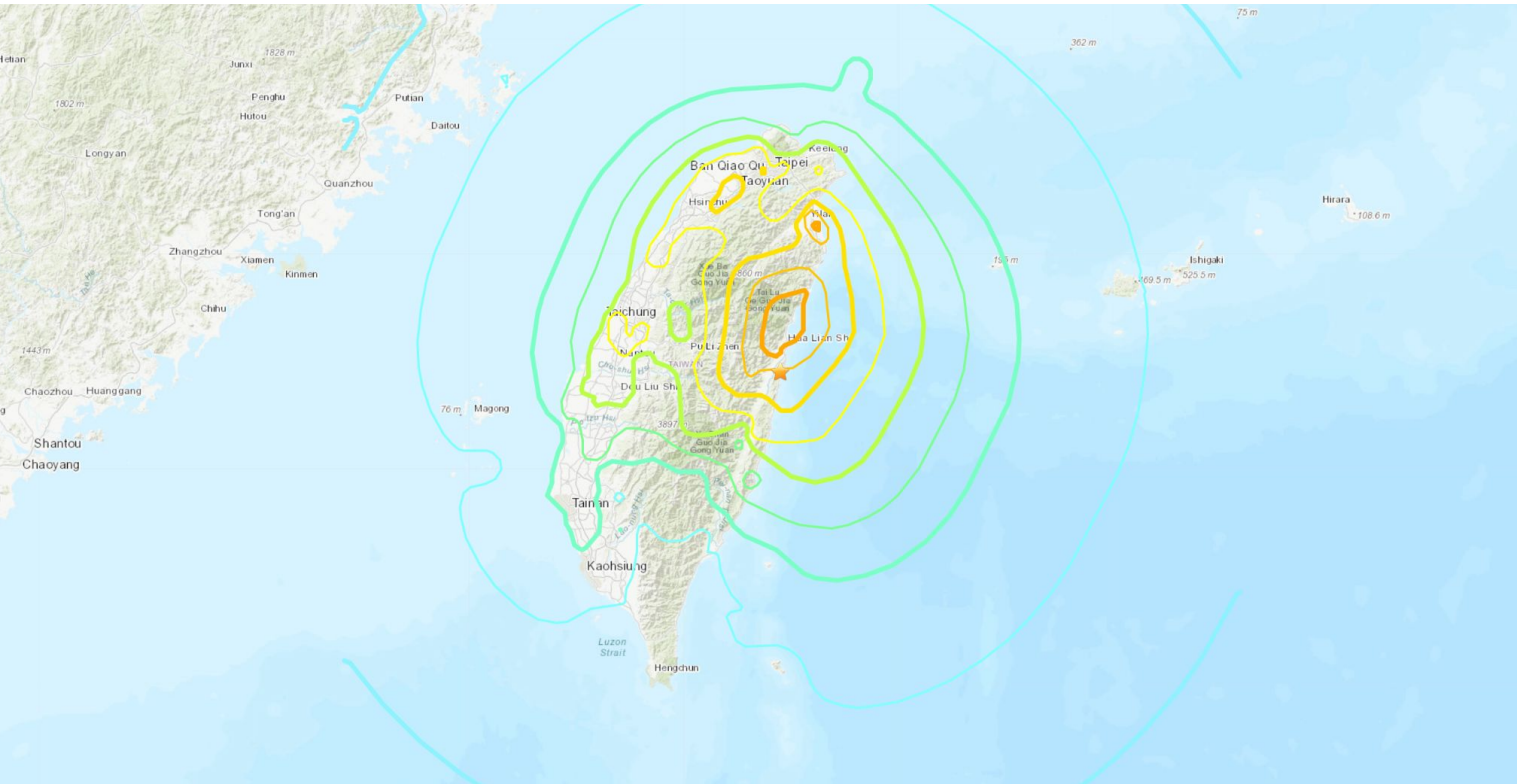
Construção de Prédios Altos - 1 caso

Sedimentos Costeiros - 1 caso

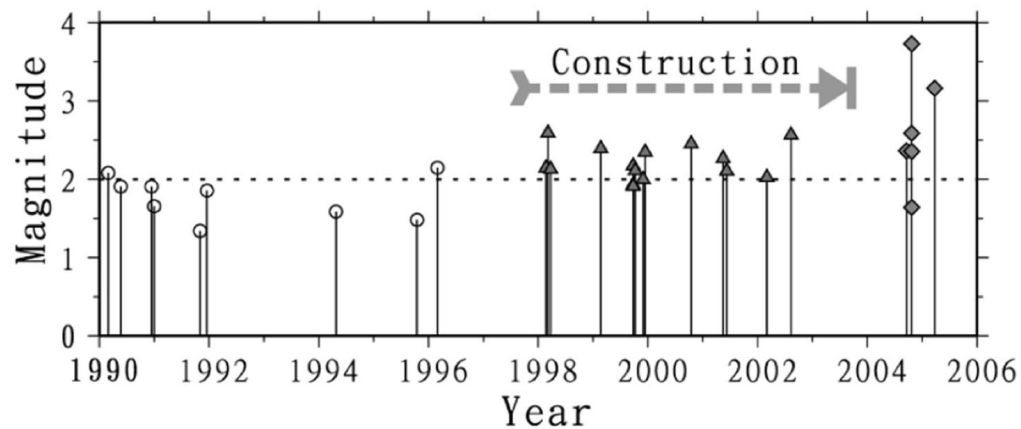
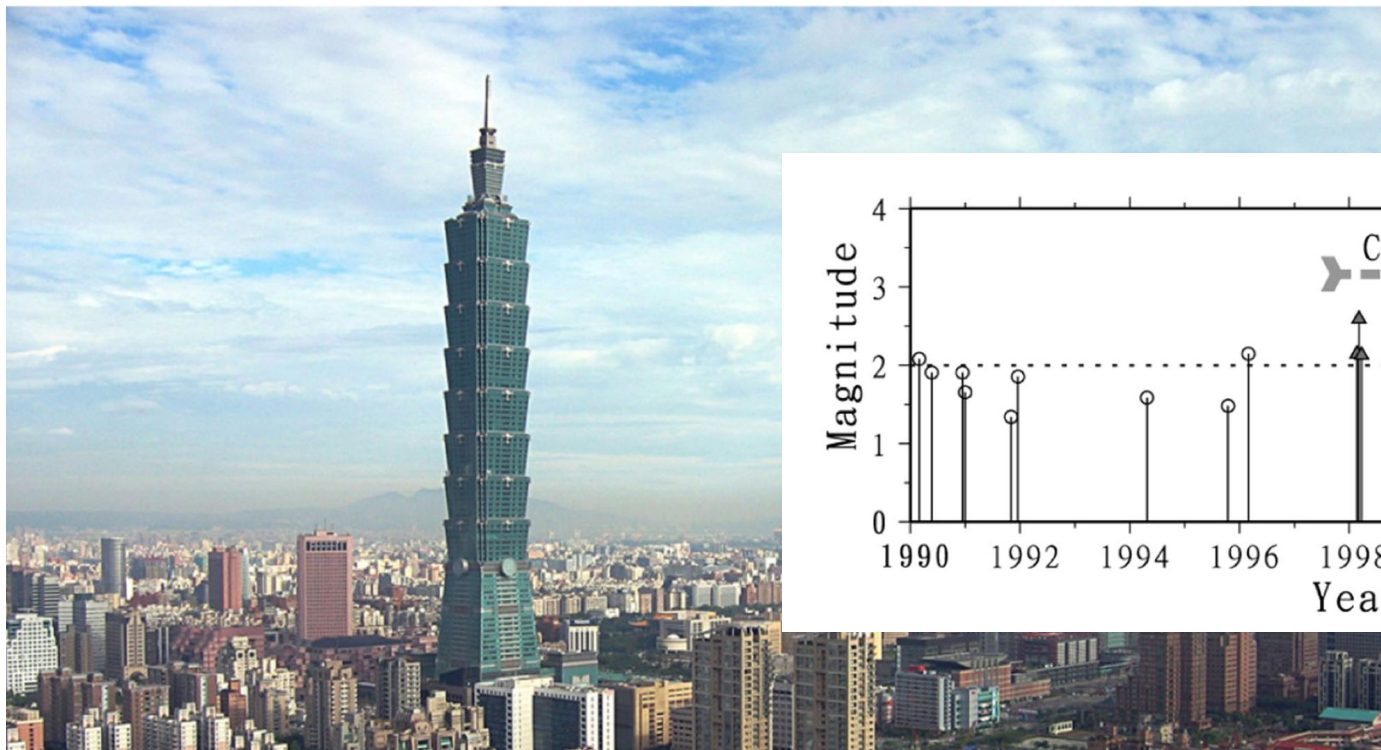


M 7.4 - 18 km SSW of Hualien City, Taiwan

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).

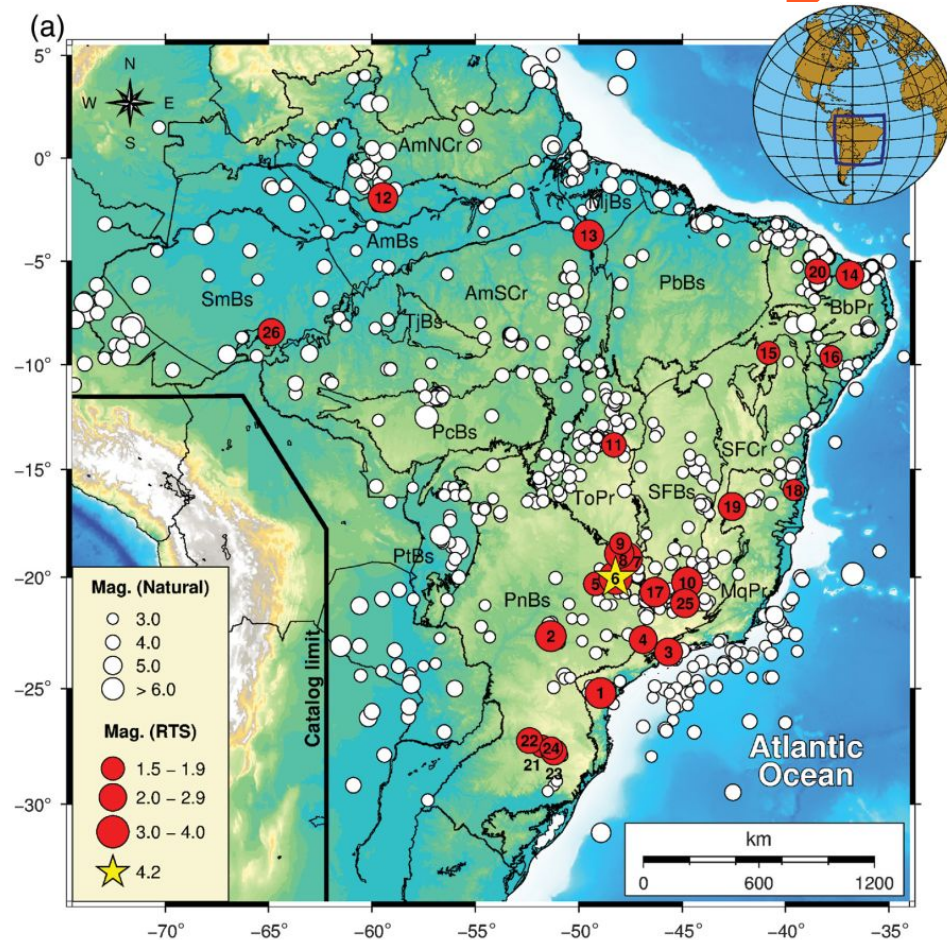
200 mortos, 1500 feridos

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

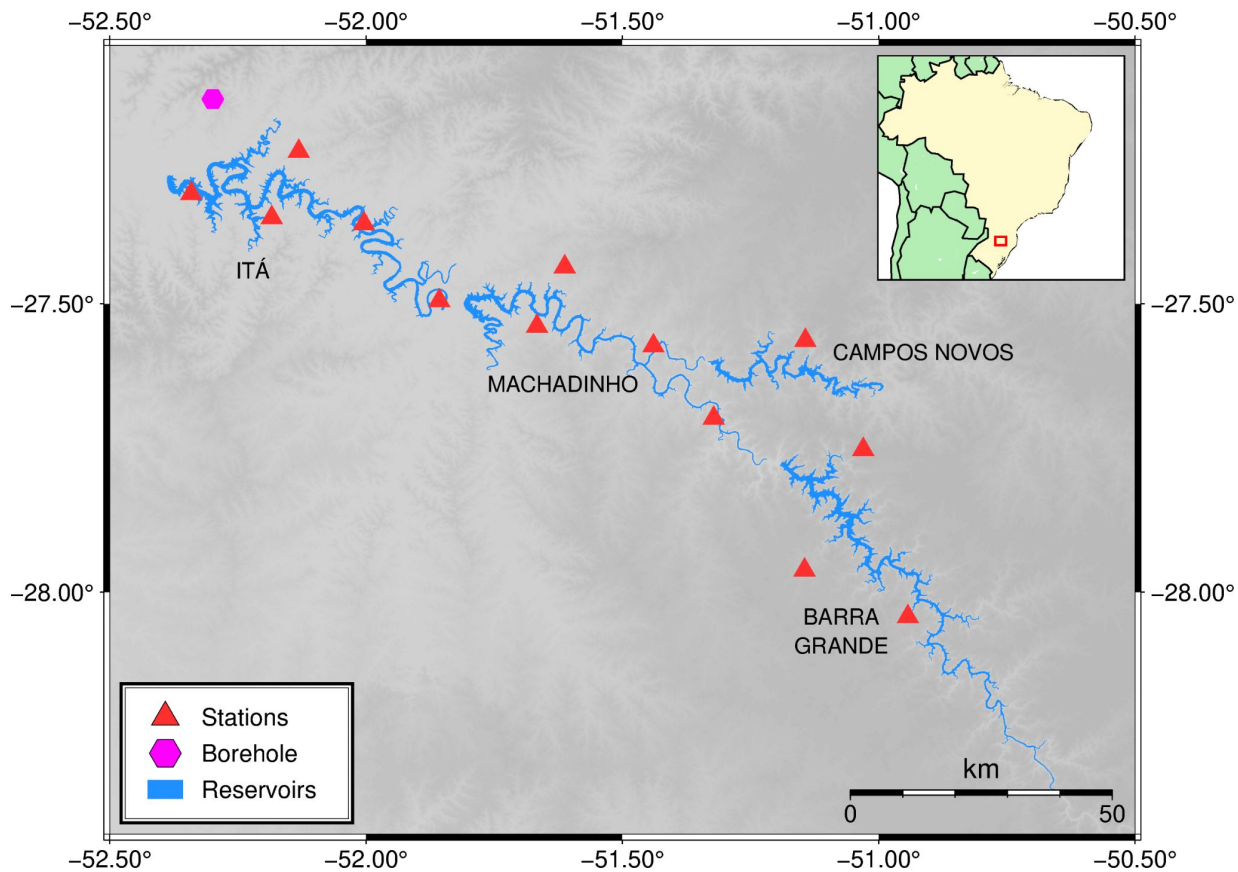
Tremor de terra é registrado em Paraibuna, no interior de SP

Magnitude foi de 2,4 graus na escala Richter

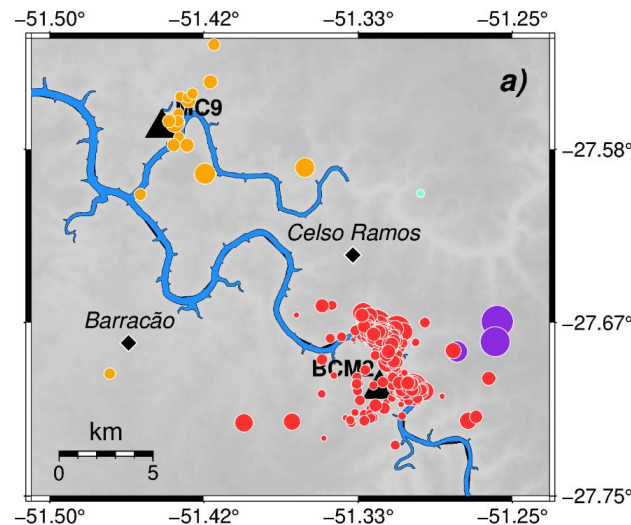
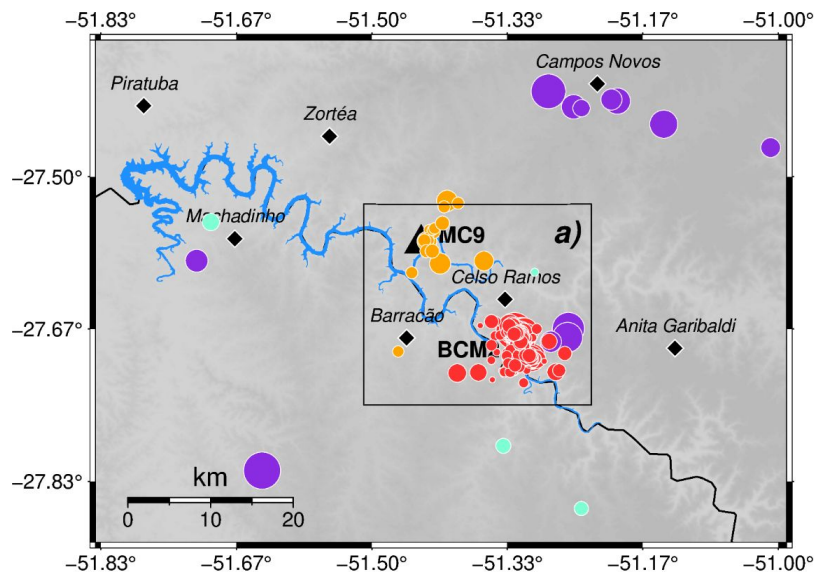
MP vai apurar tremores em Marcelino Ramos

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

Monitoramentos Atuais



Machadinho - SC



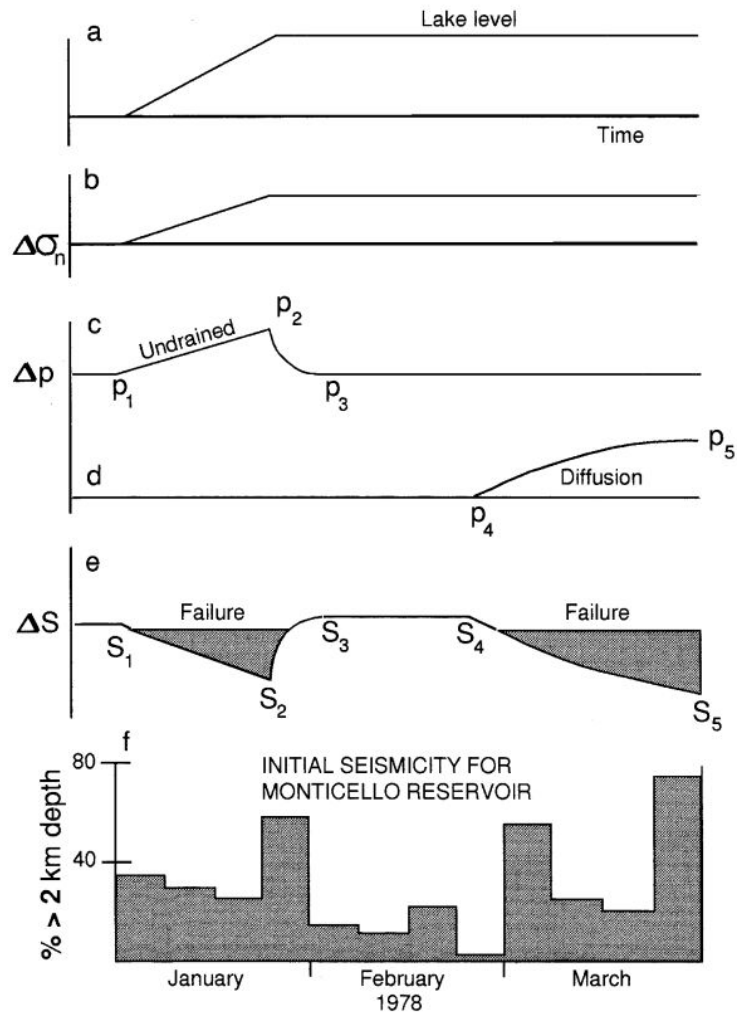
Reservatório de Machadinho

- | | |
|--|--|
| ● Induzidos MC9 | ● Sismos Naturais |
| ● Induzidos BCM2 | ■ Reservatórios |
| ● Induzidos - Outros | ◆ Cidades |
| ● Desmontes | ▲ Estações |

Magnitude

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

RESPONSE TO INITIAL FILLING



Mecanismos de Indução

Variação da
resistência ao
cisalhamento

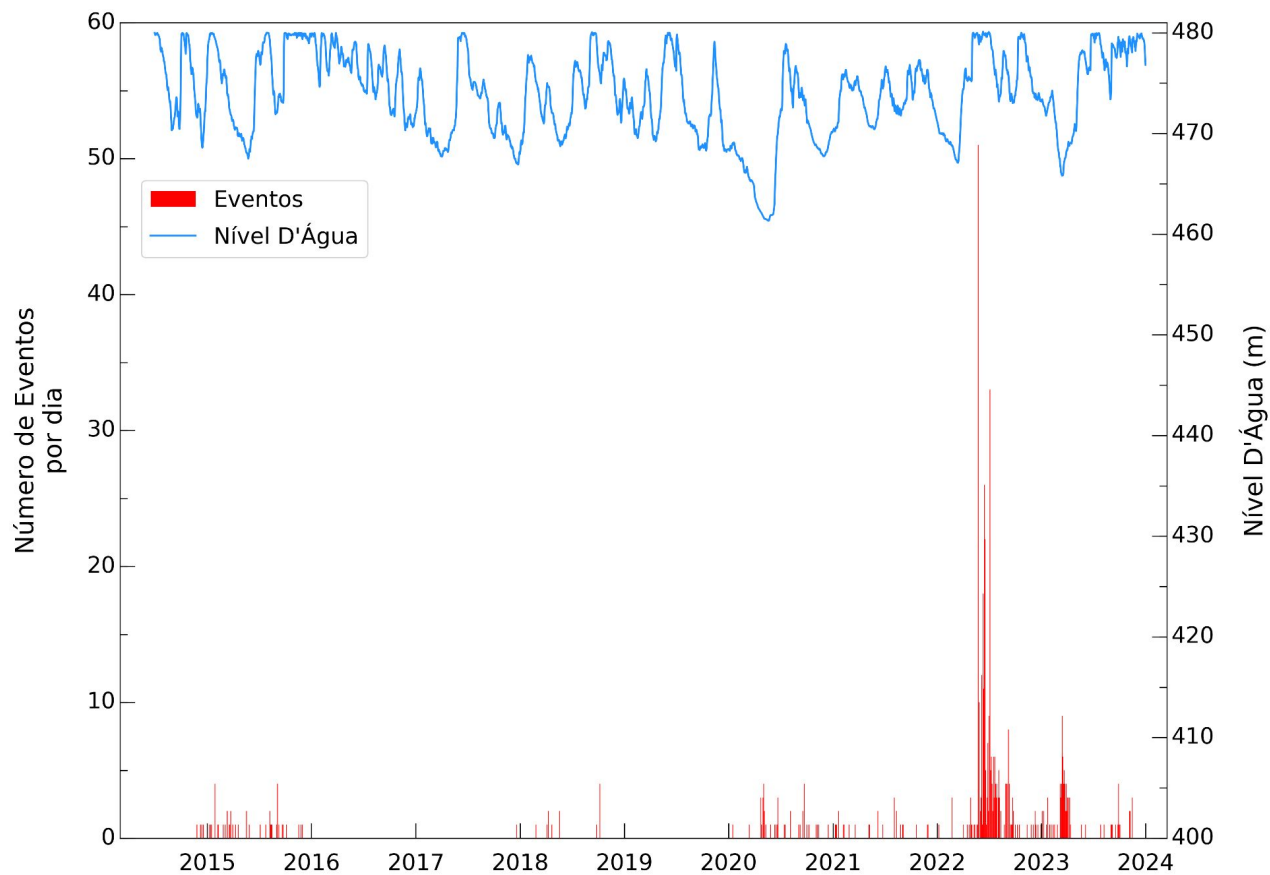
Variação da
tensão
normal ao
plano

Variação da
tensão de
cisalhamento

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

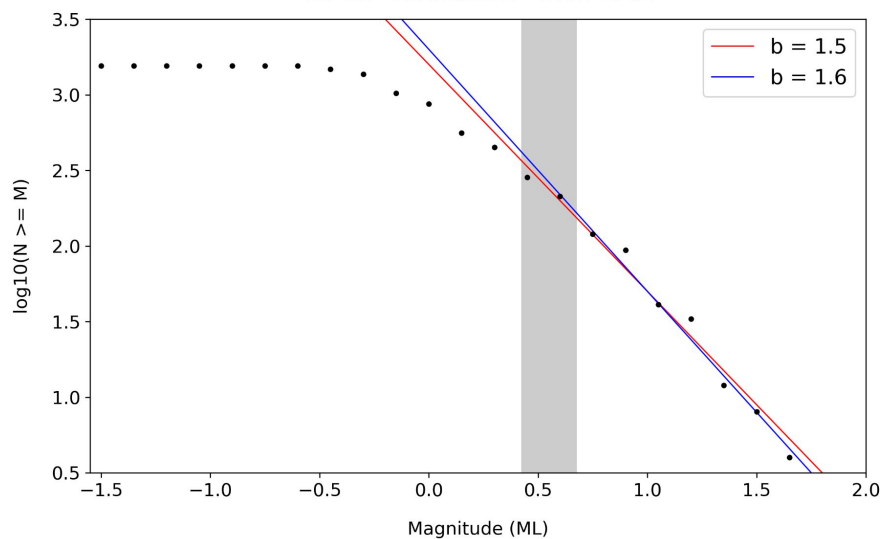
Coeficiente de
Atrito Interno

Variação da
pressão de
poro

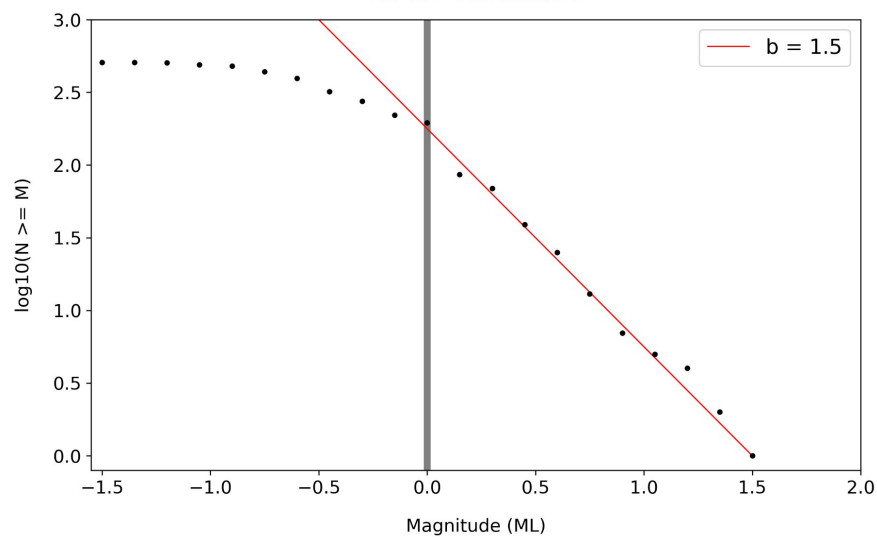


Machadinho - SC

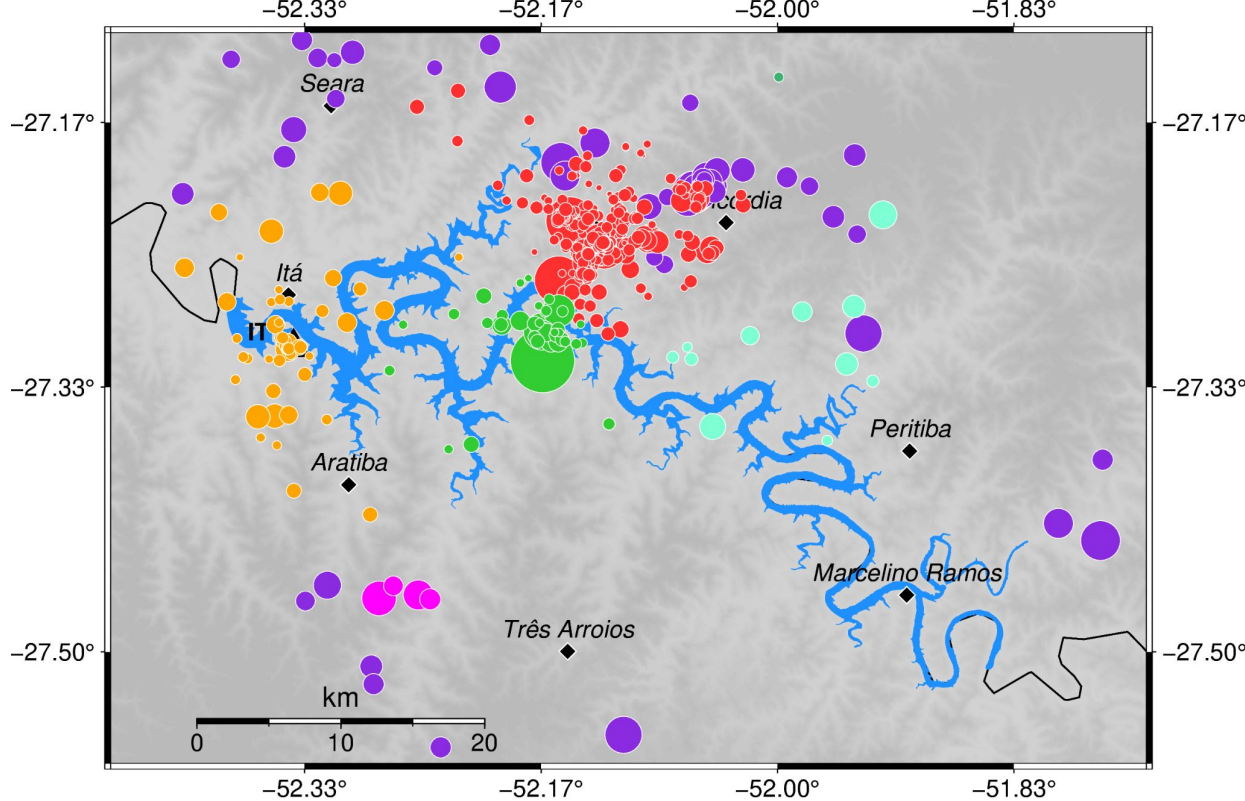
Lei GR - Machadinho - 2001-2002



Lei GR - Machadinho



Itá - SC



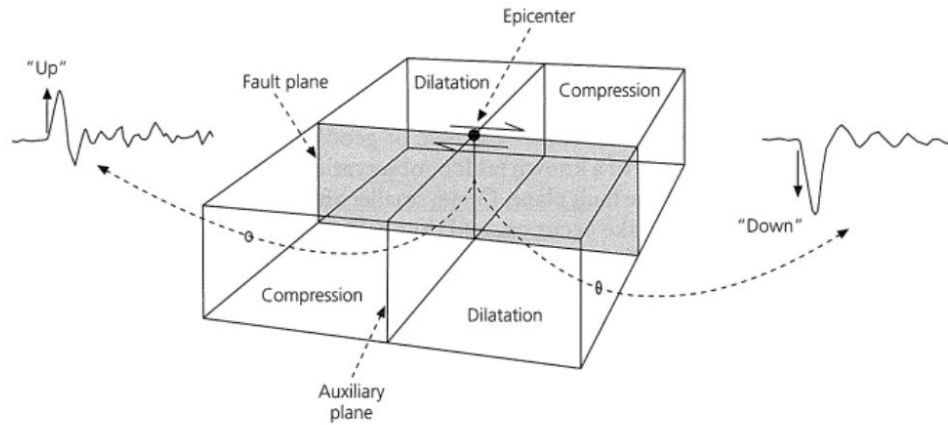
Reservatório de Itá

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

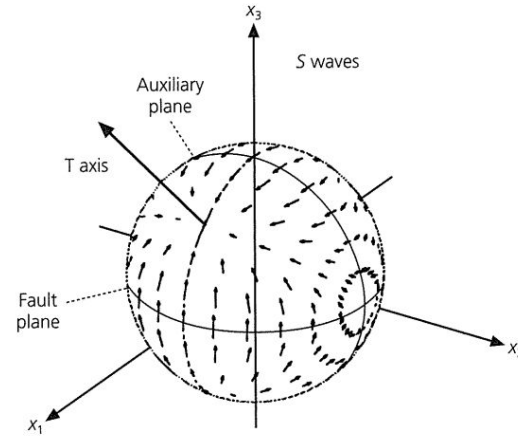
Magnitude

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

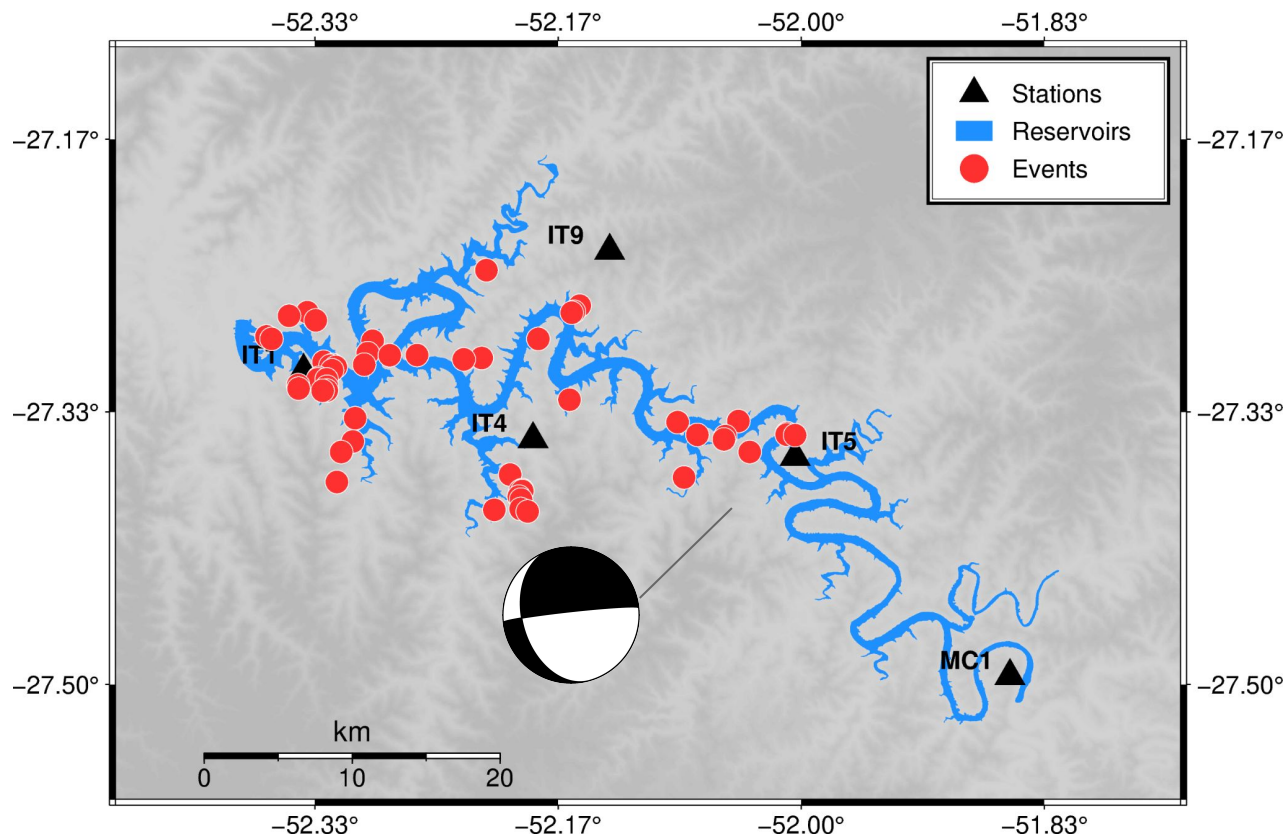
Mecanismos Focais



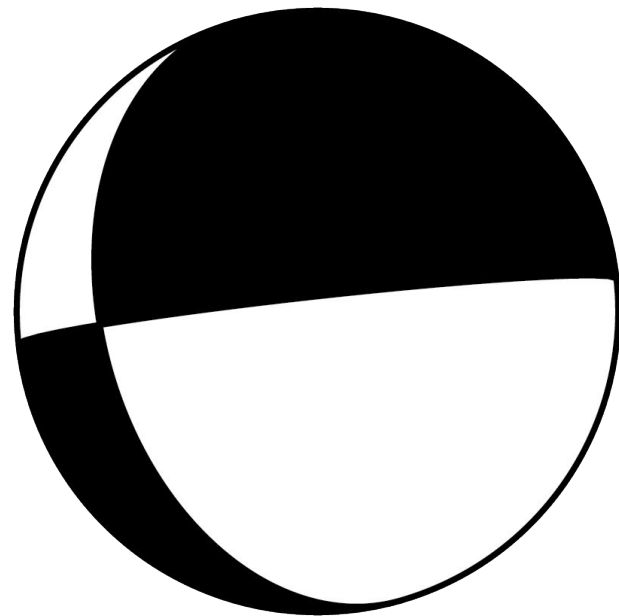
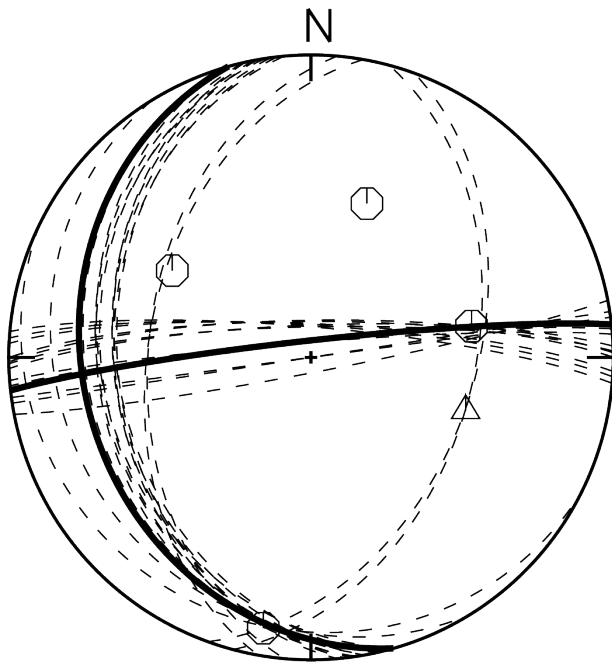
Retirado de Stein &
Wyssession (2002)



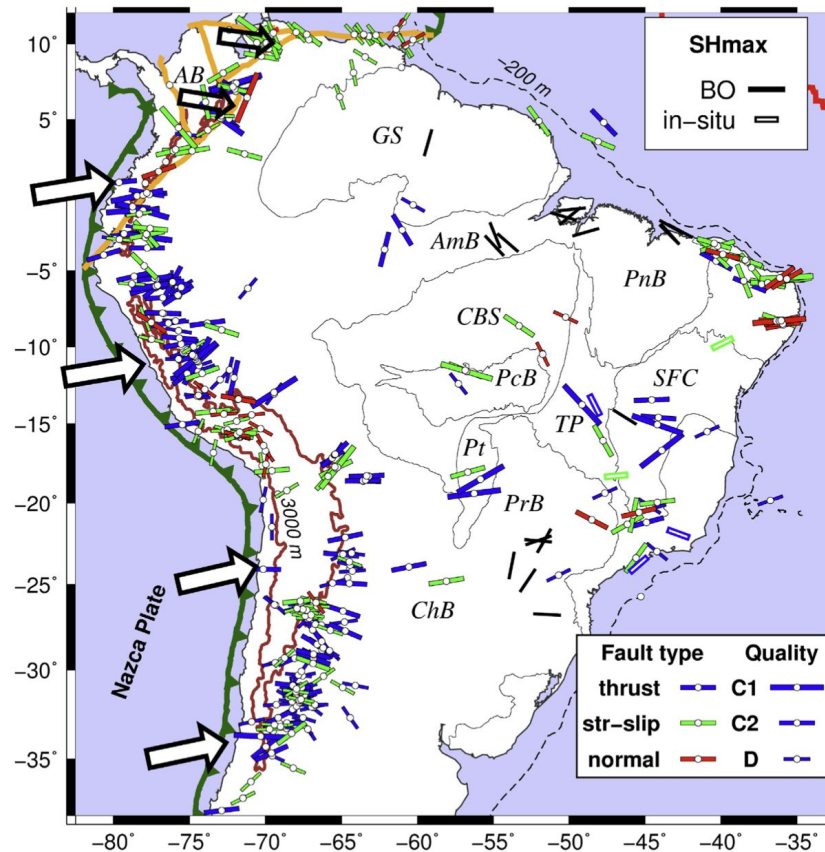
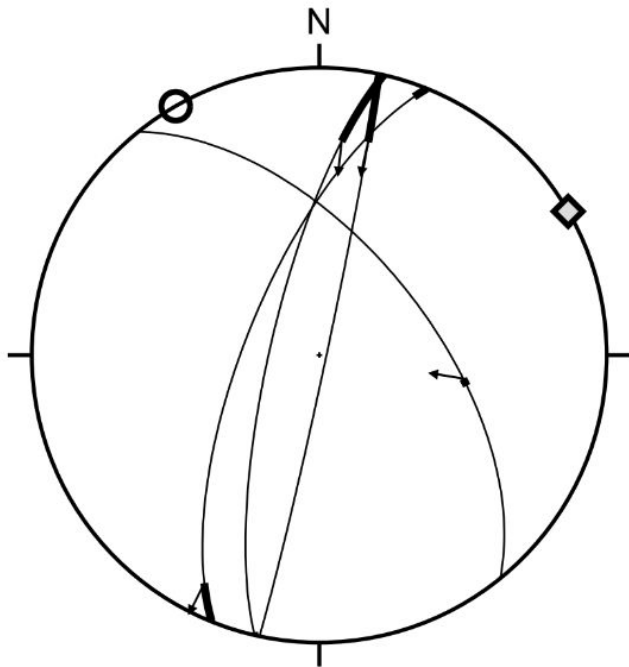
Mecanismos Focais



Mecanismos Focais

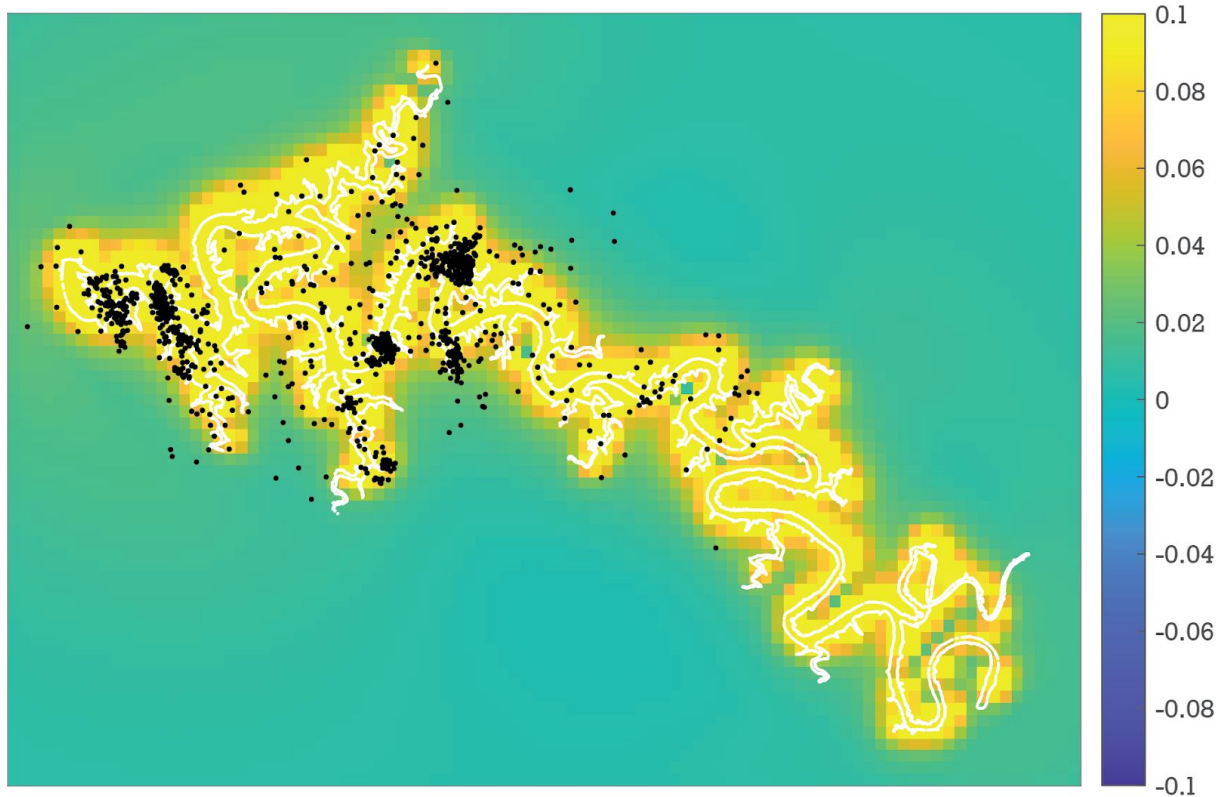


Campo de Tensões



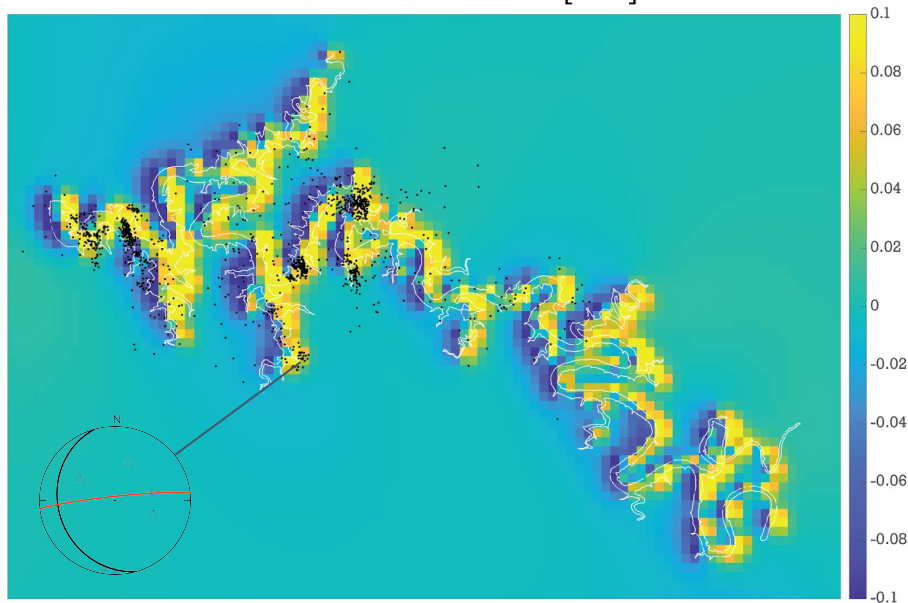
Modelagem Geomecânica

Coulomb Stress - MAX [MPa]

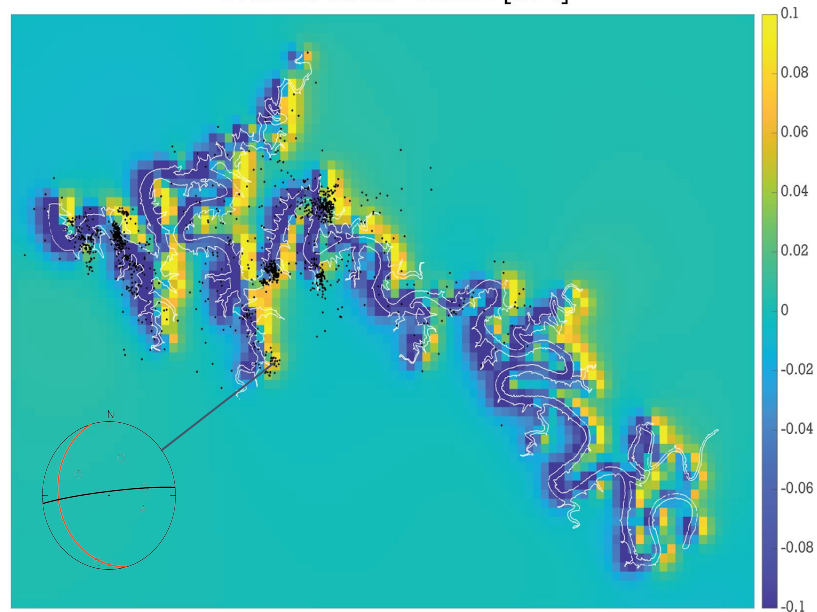


Modelagem Geomecânica

Coulomb Stress - FAULT [MPa]



Coulomb Stress - FAULT [MPa]



Obrigado!