

Nº 179951

**Métodos geofísicos aplicados à investigação geotécnica:
aplicações em obras de engenharia e barragens**

Leonides Guirelli Netto

*Palestra apresentada Semana de
Estudos da Geologia, 2025.*

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



PALESTRA LIV SEGESP - SEMANA DE ESTUDOS DA GEOLOGIA
UNESP - RIO CLARO
2025

MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS À INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA: APLICAÇÕES EM OBRAS DE ENGENHARIA E BARRAGENS

Leonides Guireli Netto
Pesquisador IPT



Geofísica e Geotecnia



tópicos da apresentação

1. Fundamentos da Geofísica Aplicada.

2. Estudos de casos.

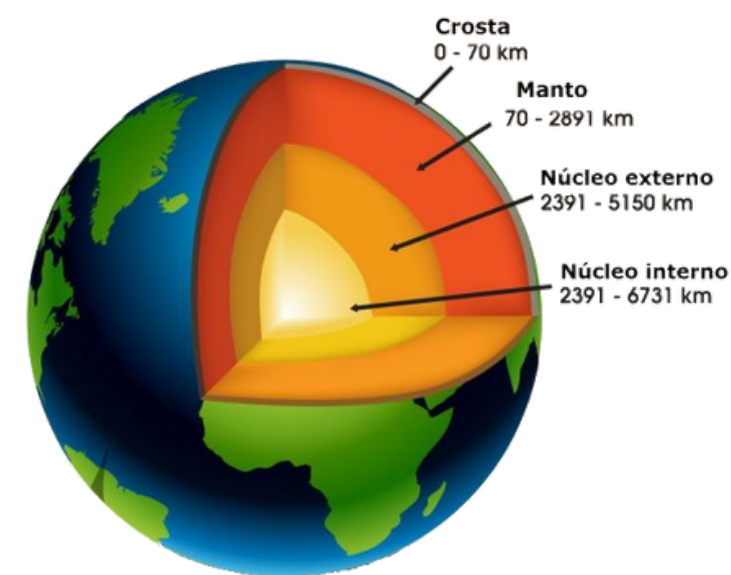
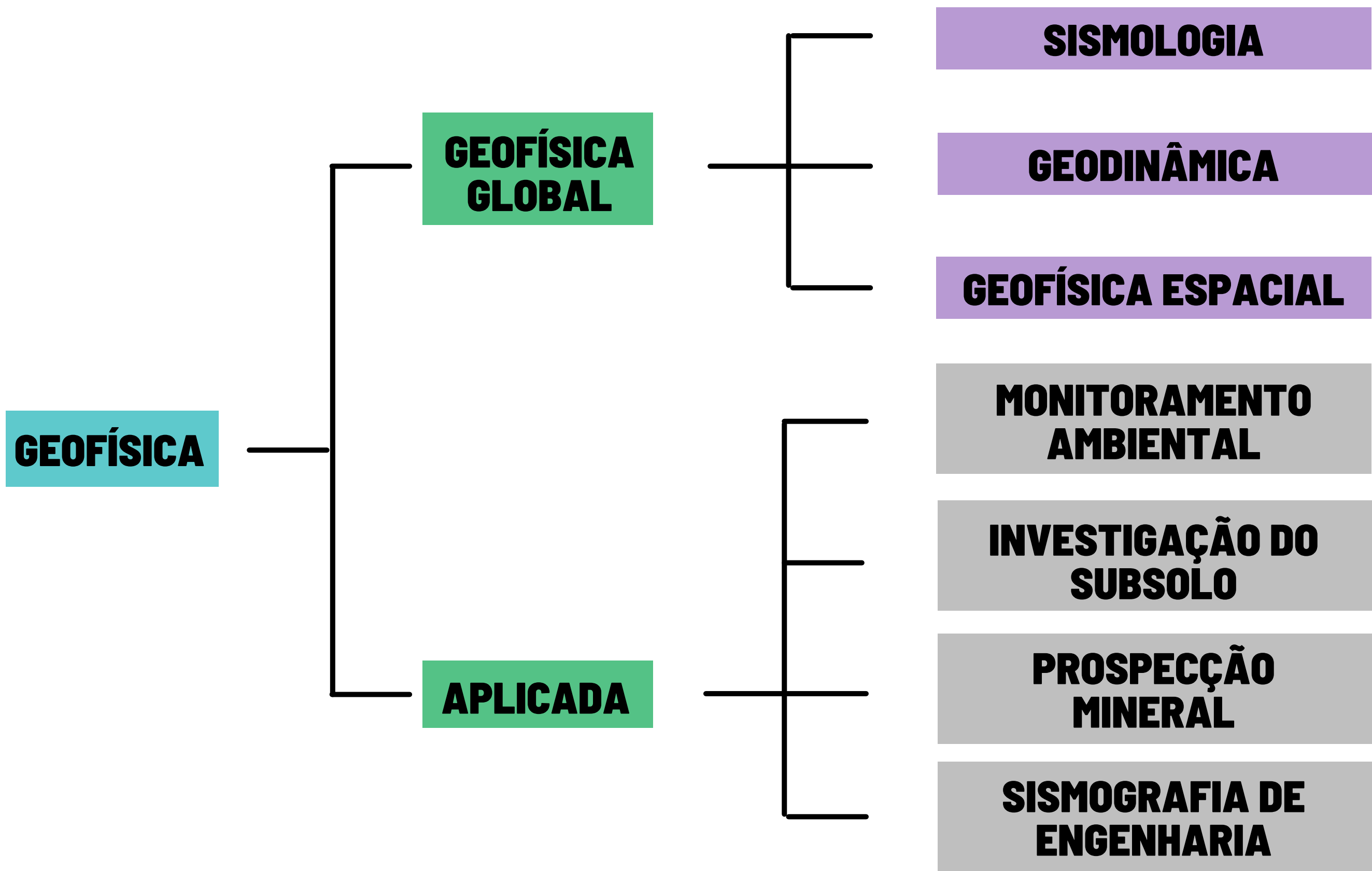
Mina Osamu Utsumi e estudo em laboratório do IPT.

1

Fundamentos da Geofísica Aplicada

O que é geofísica?





Áreas da **Geofísica** **Aplicada**



Prospecção
Mineral



Engenharia



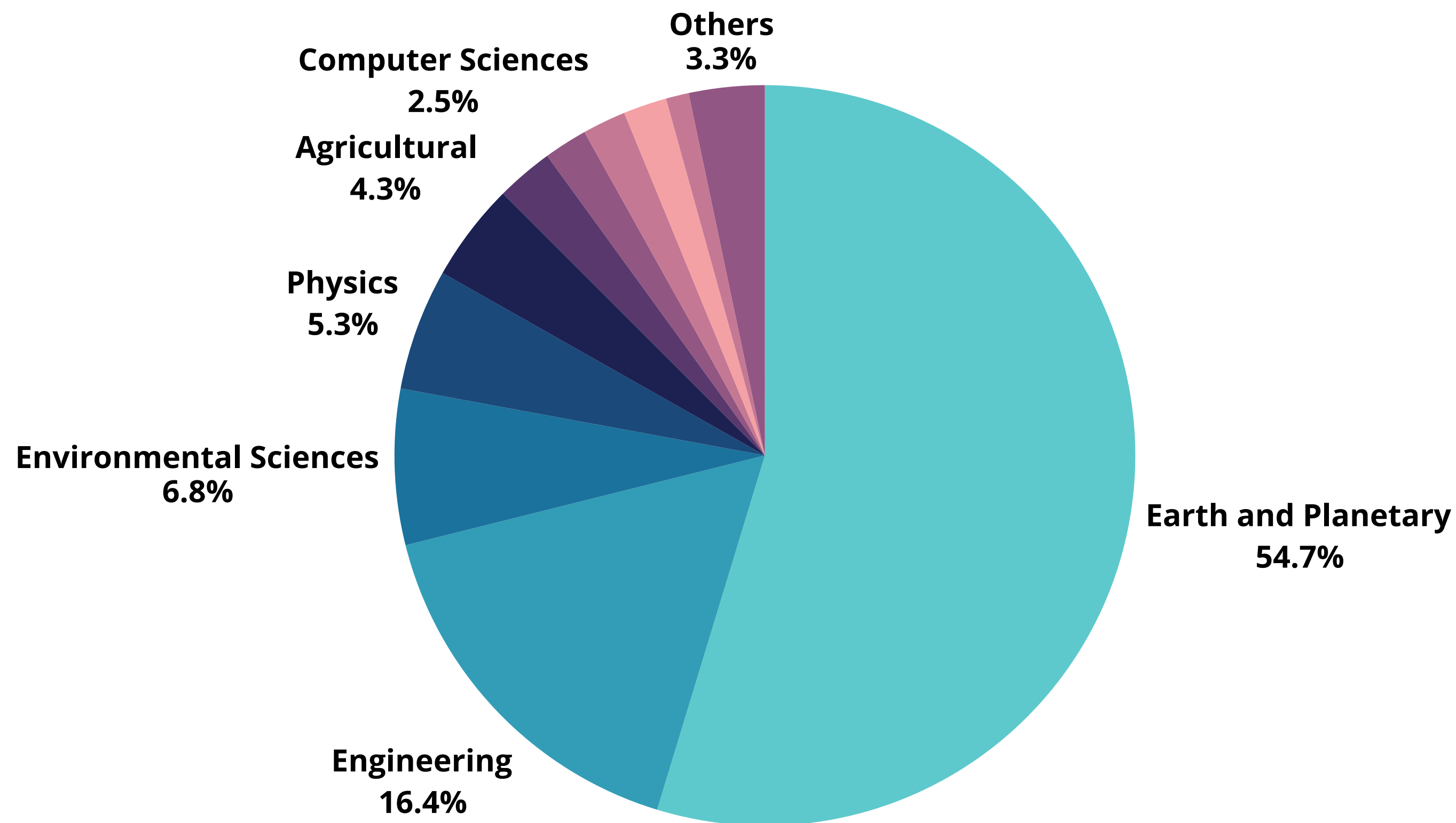
Geotecnia e
Meio Ambiente

Ciência que estuda o interior da Terra por meio de medições indiretas de propriedades físicas, sem a necessidade de realizar perfurações em subsuperfície.

Ferramenta de investigação do meio físico (geológico) que fornece suporte as investigações diretas (invasivas), como sondagens, abertura de trincheiras, amostragem de solo, etc.



Áreas das principais publicações de **Geofísica**

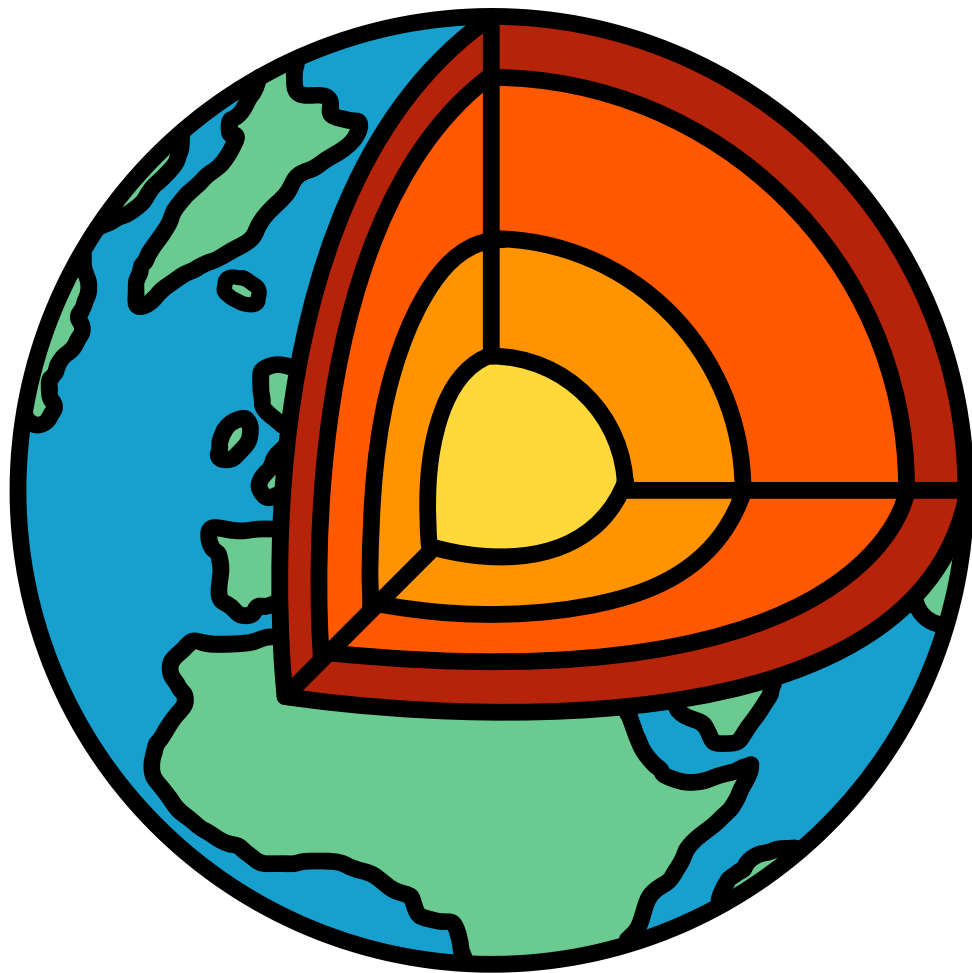


Fonte: Scopus, 2019.

Como a geofísica explora o interior da Terra?



A geofísica explora as diferentes propriedades físicas da Terra



$$V = IR$$

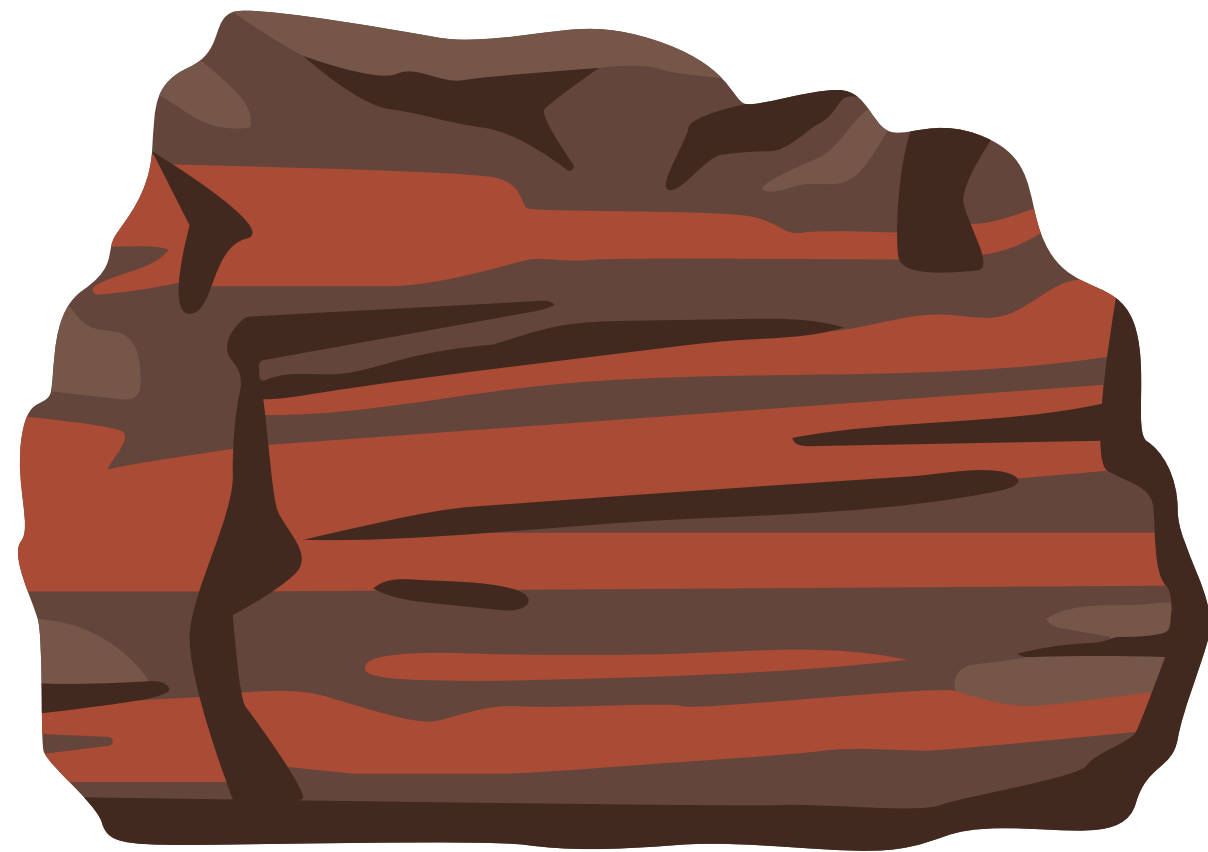
$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$v = f\lambda$$

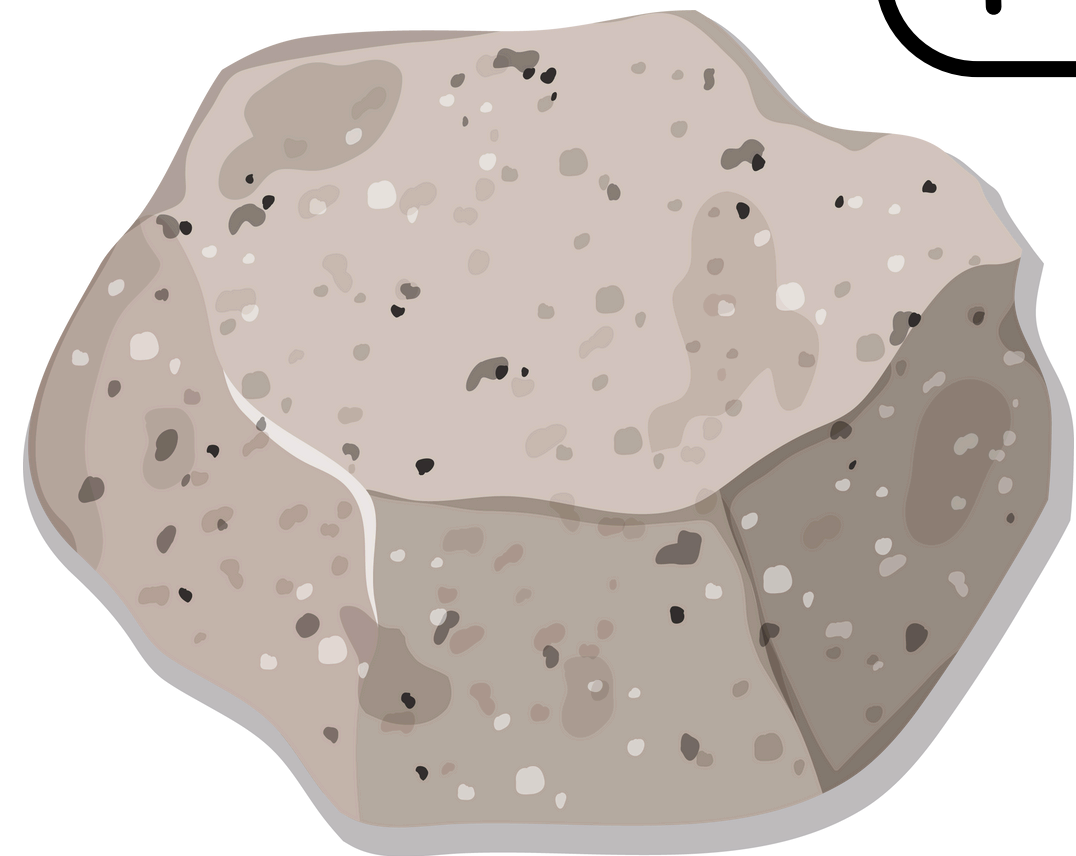
$$E = \frac{F}{q}$$

Como essas relações são exploradas no meio físico?

$$\rho = \frac{m}{V}$$



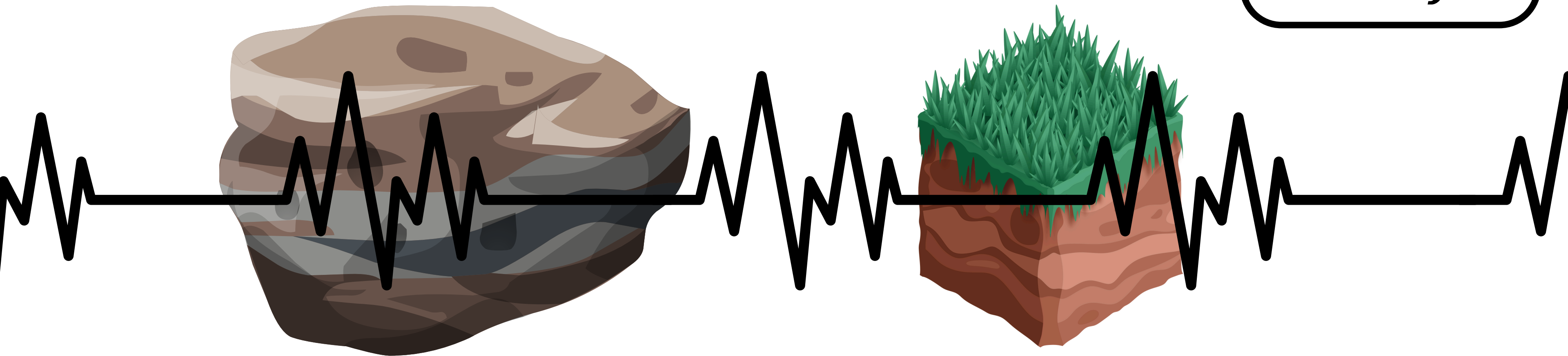
**Rocha com altos
teores de ferro**



**Rocha com baixos
teores de ferro**

Como essas relações são exploradas no meio físico?

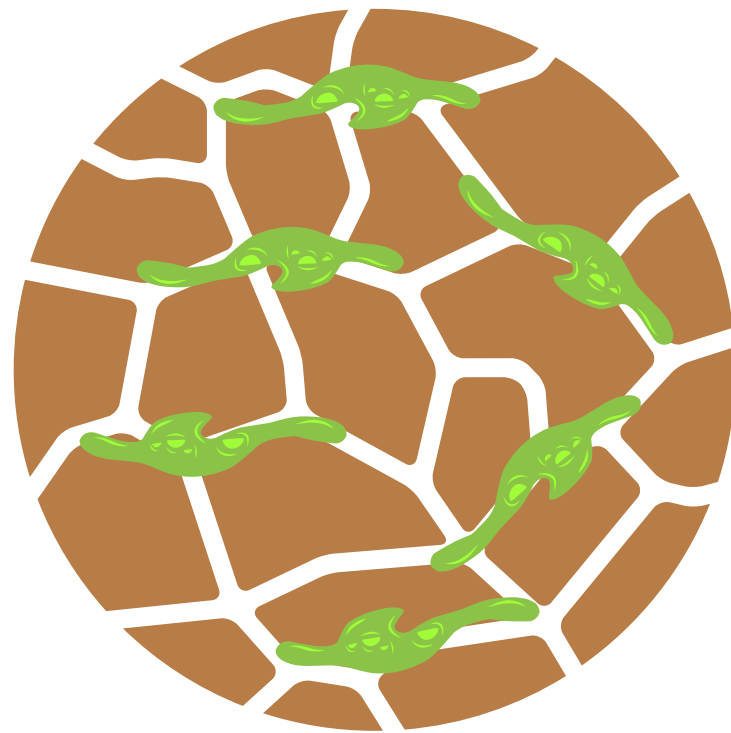
$$v = f\lambda$$



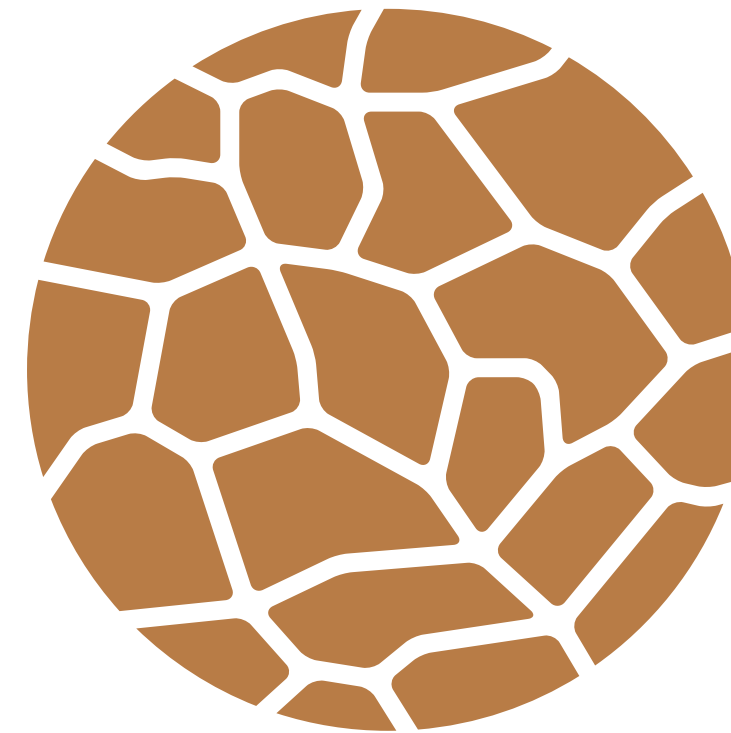
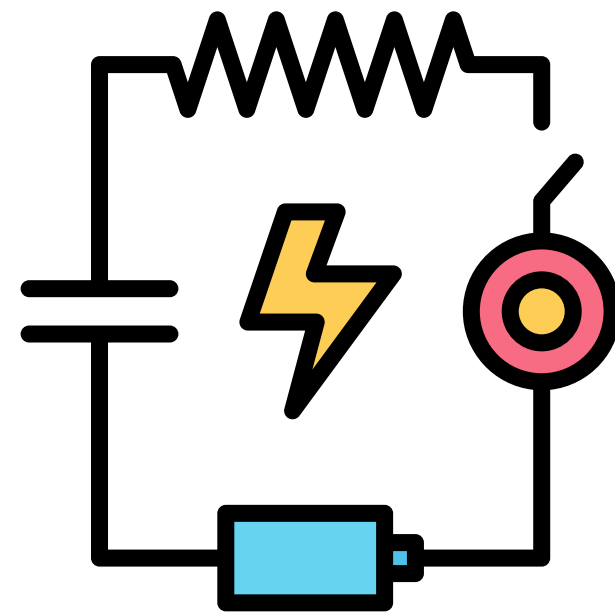
Rocha

Solo

Como essas relações são exploradas no meio físico?



Solo contaminado

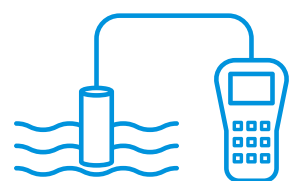


Solo não contaminado

$$V = IR$$

Quais as
vantagens e **desvantagens**
em utilizar a geofísica?





Instrumentação geotécnica

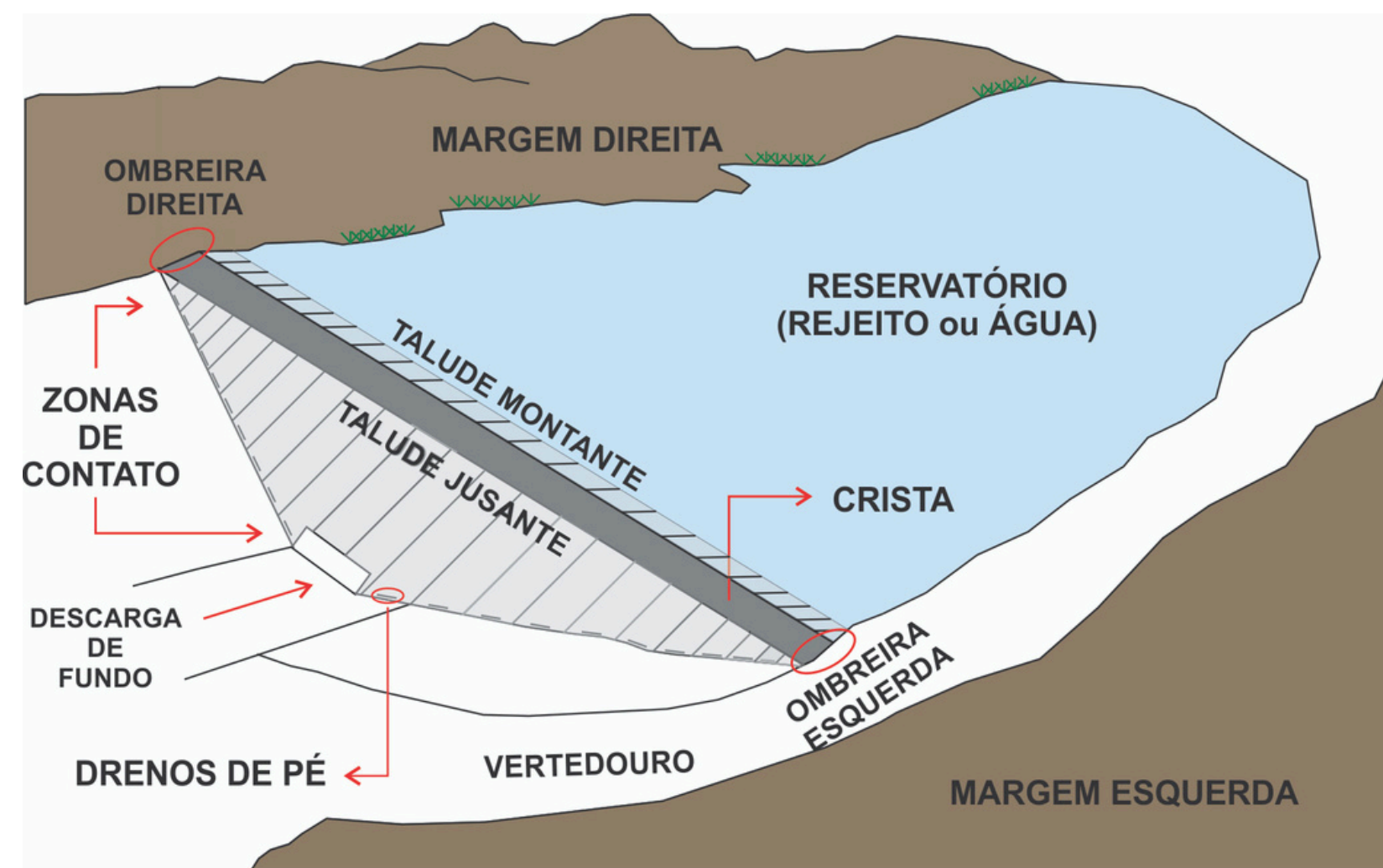
Independente da forma adotada pela mineração, todo o passivo, quando acumulado, na forma de barragens, precisa ser monitorado, comumente através de instrumentação (piezômetros e inclinômetros), e receber constante vistorias (inspeções visuais), para garantir um monitoramento eficaz e seguro.

Instrumentação geofísica

A aplicação de métodos indiretos (geofísicos) buscando investigar estruturas de barragens e pilha de rejeitos vem sendo cada vez mais empregada no Brasil, devido a ampla cobertura em um curto período, resultando numa ótima relação custo/benefício.



Instrumentação para monitoramento de barragens e pilhas de rejeito

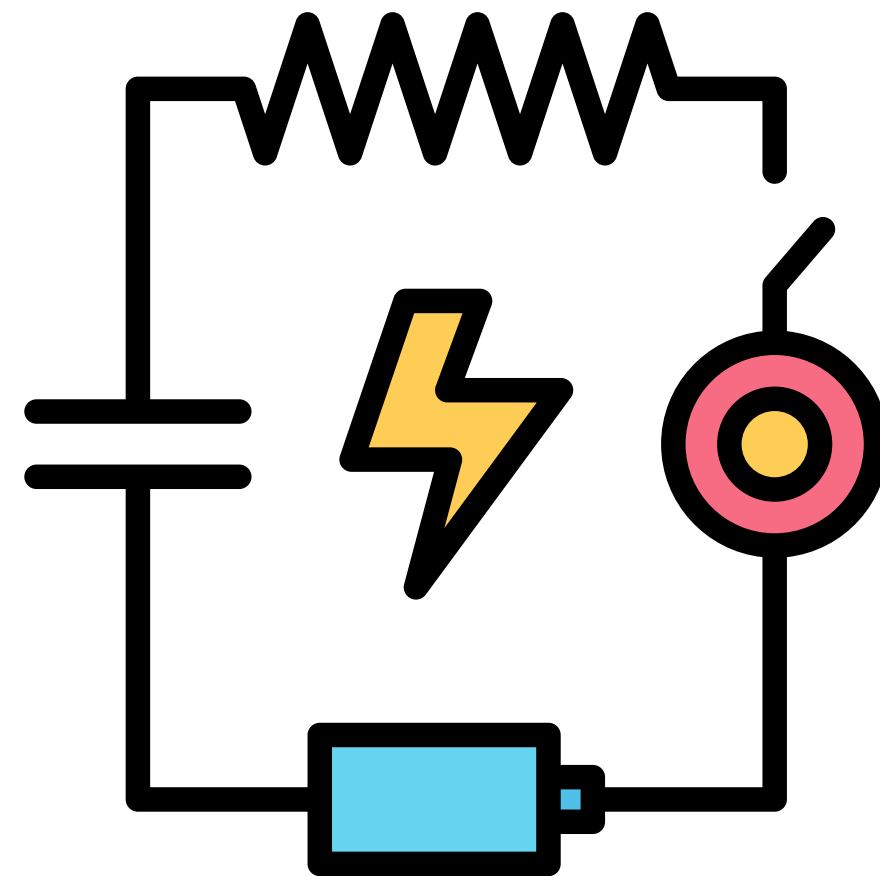
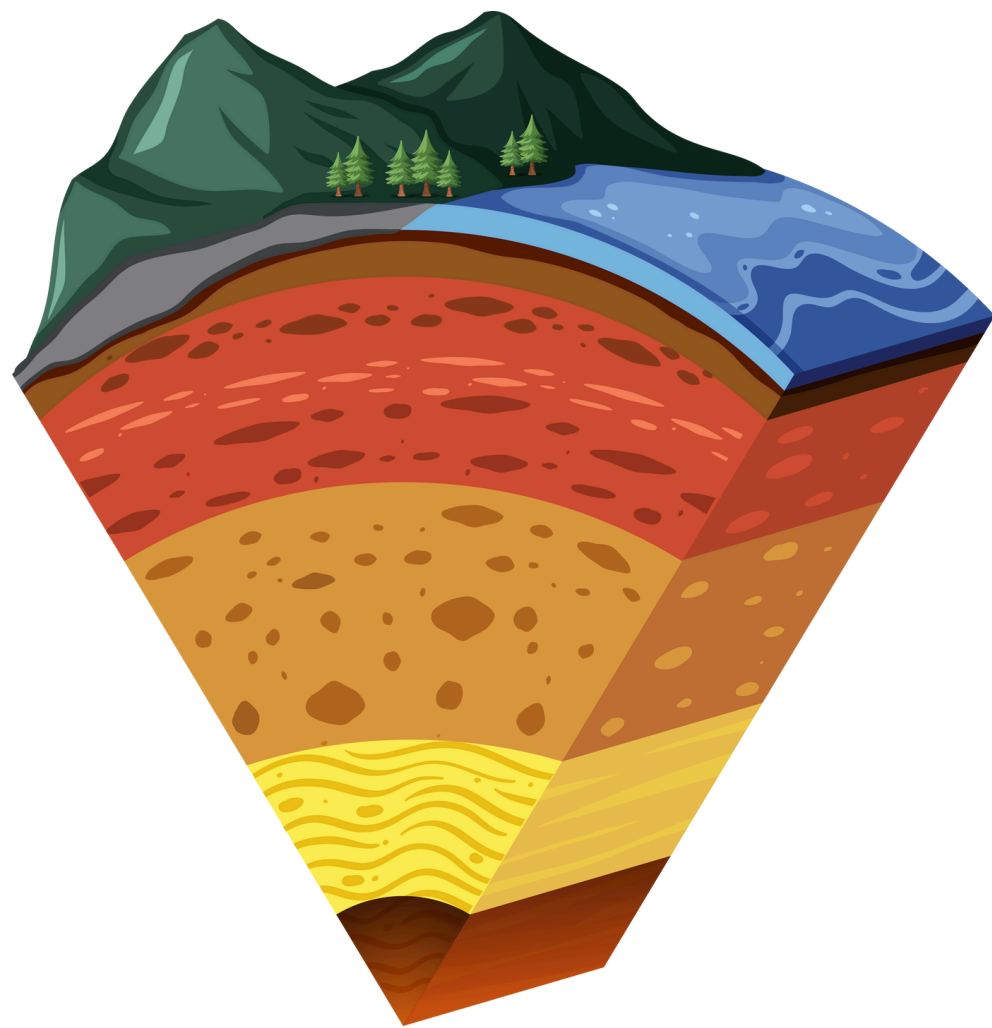


Fonte: Guireli Netto et al., 2020.

A stylized, light blue lightning bolt graphic that branches out from a central point on the right side of the image, extending towards the left. The branches are jagged and irregular, resembling a tree or a complex network of electrical paths. The entire graphic is set against a solid blue background.

Eletrorresistividade

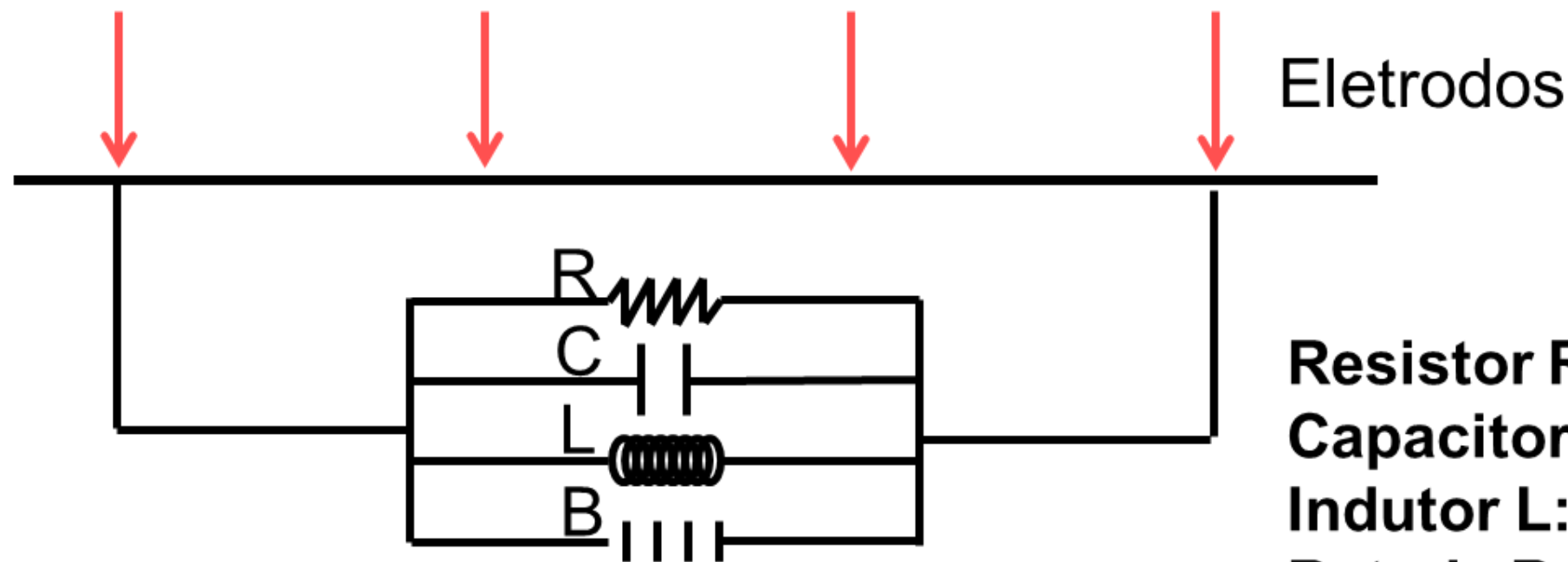
Qual a relação?



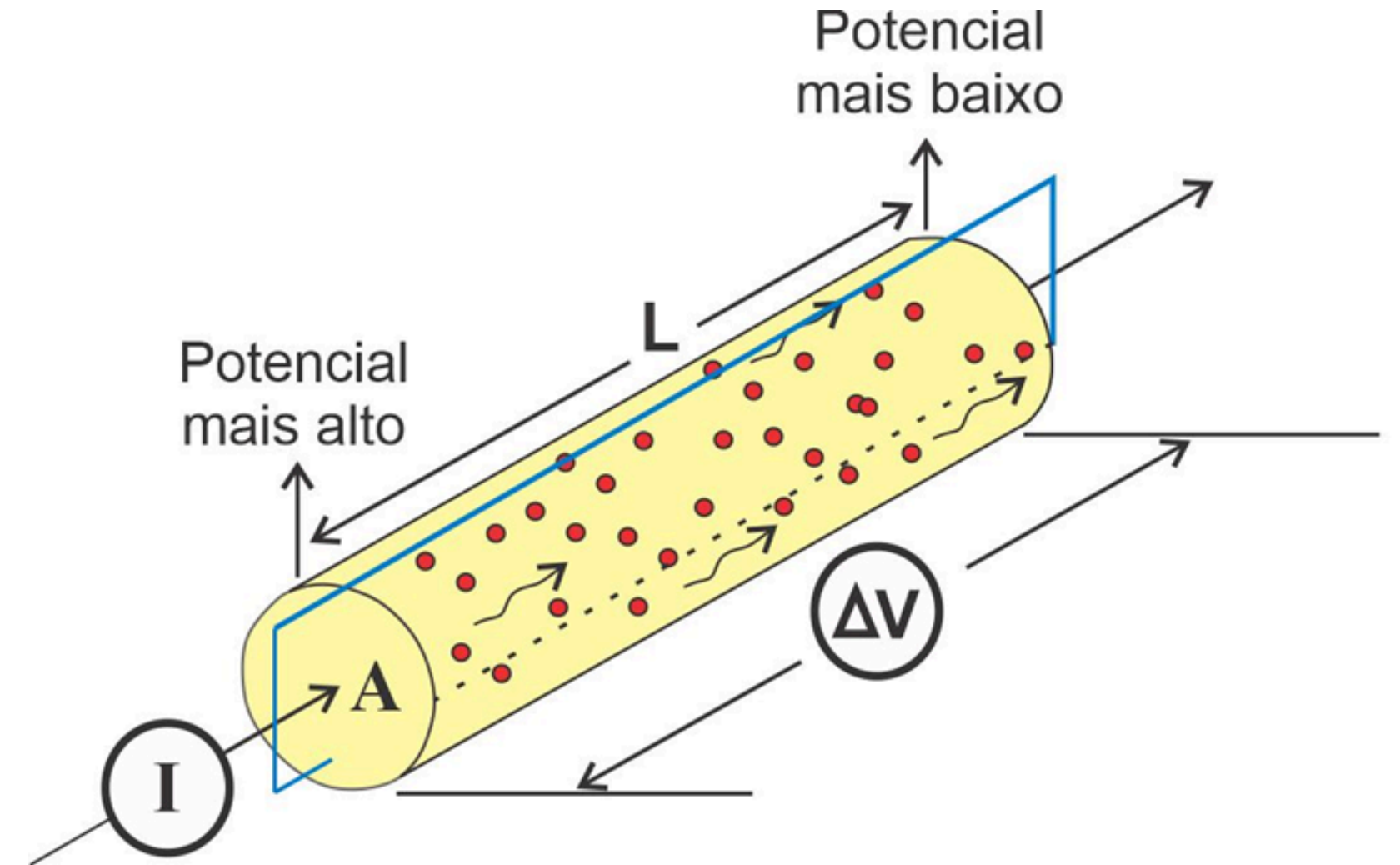
Por que funciona?

A Terra como um circuito elétrico

Os materiais geológicos podem ser conceitualmente modelados como um circuito composto por uma resistência, um capacitor, um indutor e uma bateria:



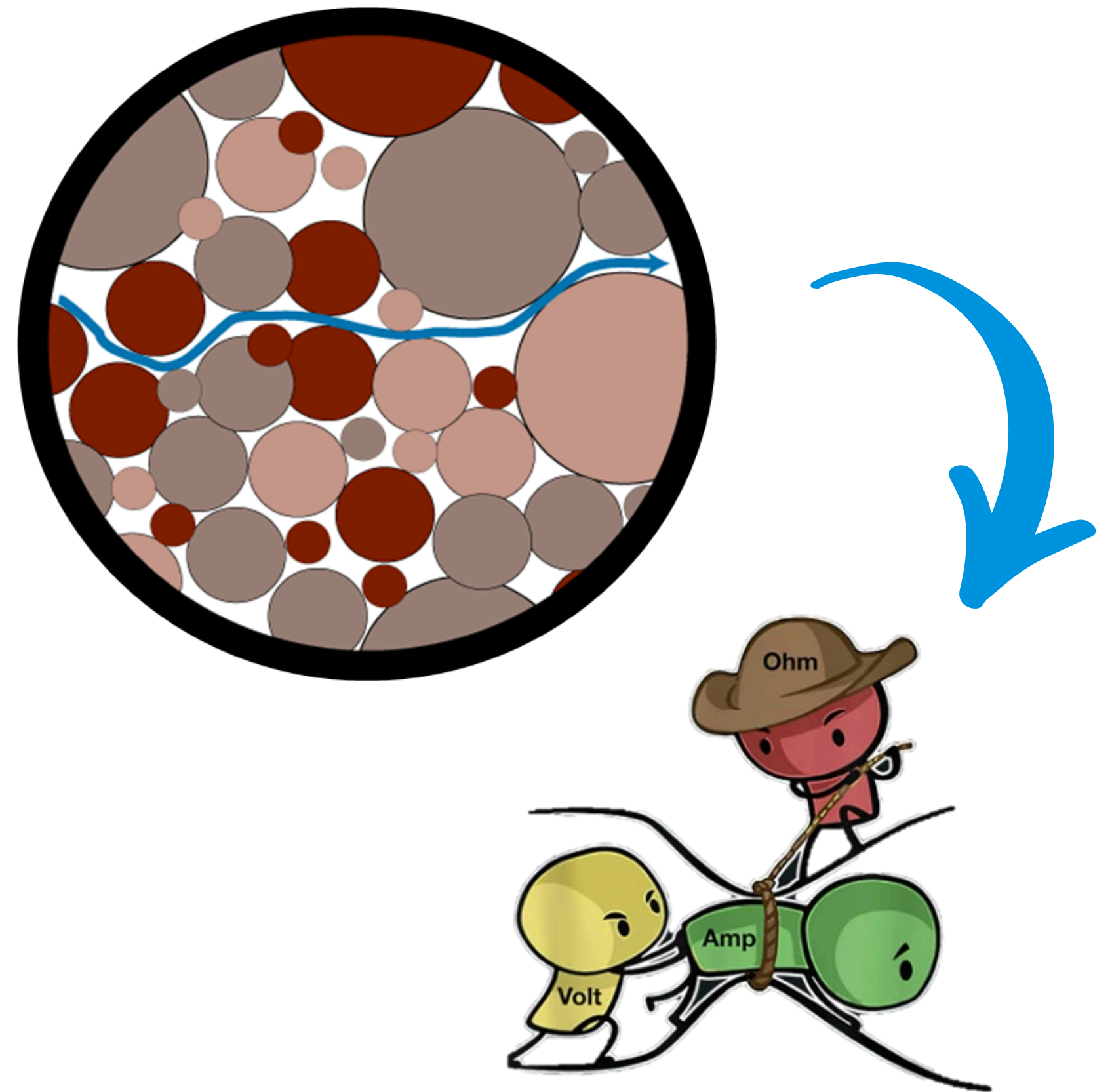
Resistor R: dissipador da energia aplicada sob a forma de calor
Capacitor C: armazenamento de energia como separação de cargas
Indutor L: auto tensão associada a métodos electromagnéticos
Bateria B: eletrocinética e potenciais próprios



Por que métodos elétricos?

As diferenças de potenciais medidas são sensíveis às propriedades elétricas da matéria:

- Litologia.
- Porosidade.
- Grau de compactação.
- Conectividade do fluído dos poros.
- Química do fluído dos poros.
- Concentração de metais nos fluídos.





Eletrorresistividade

OBJETIVO

Estudam a distribuição em profundidade da resistividade elétrica.

PROPRIEDADES FÍSICAS

Parâmetro relacionado principalmente com as propriedades elétricas: resistividade elétrica.

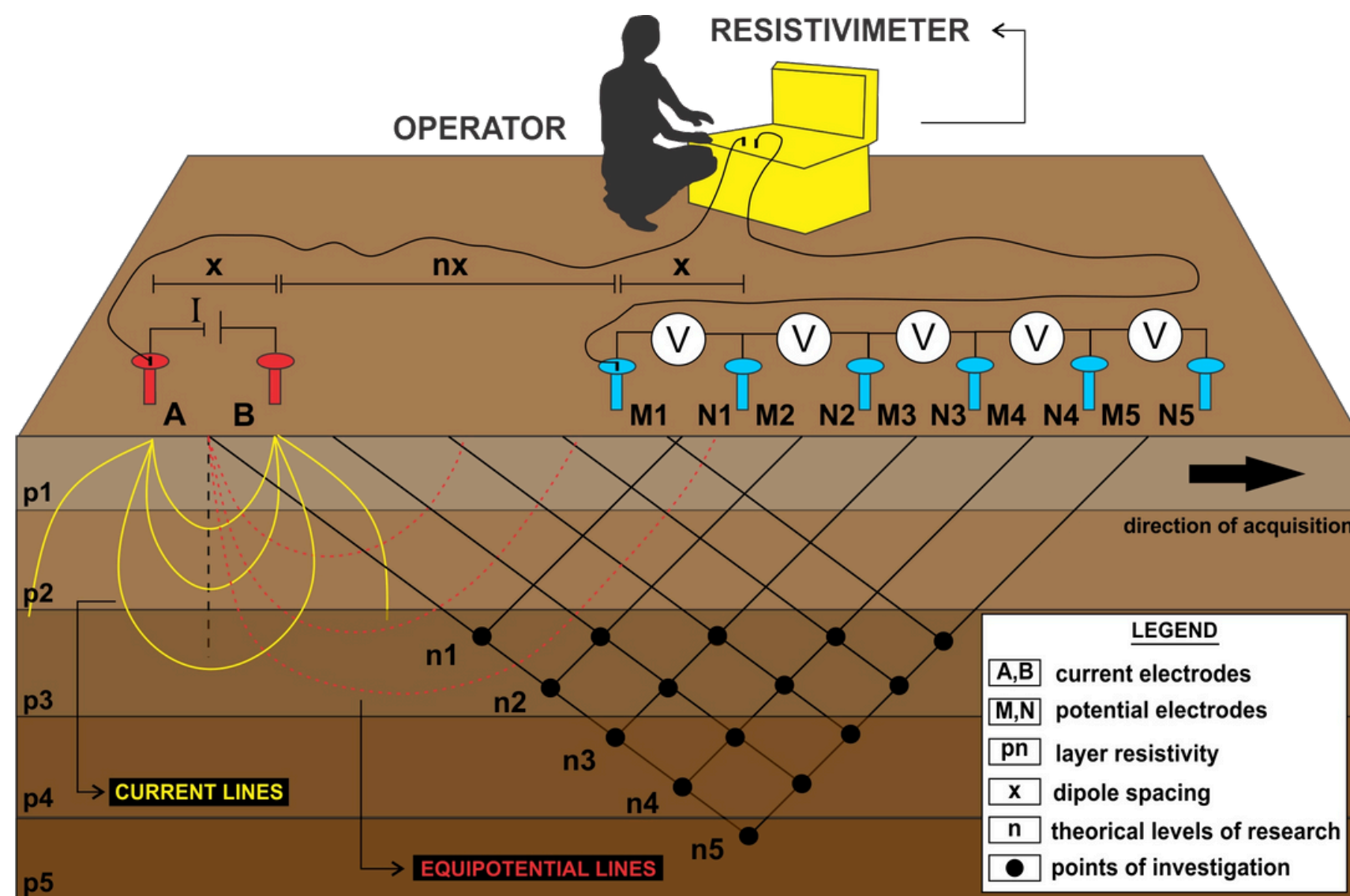
Fatores que influenciam: compactação do material, grau de saturação, graus de alteração e fraturamento do maciço, presença de argila.

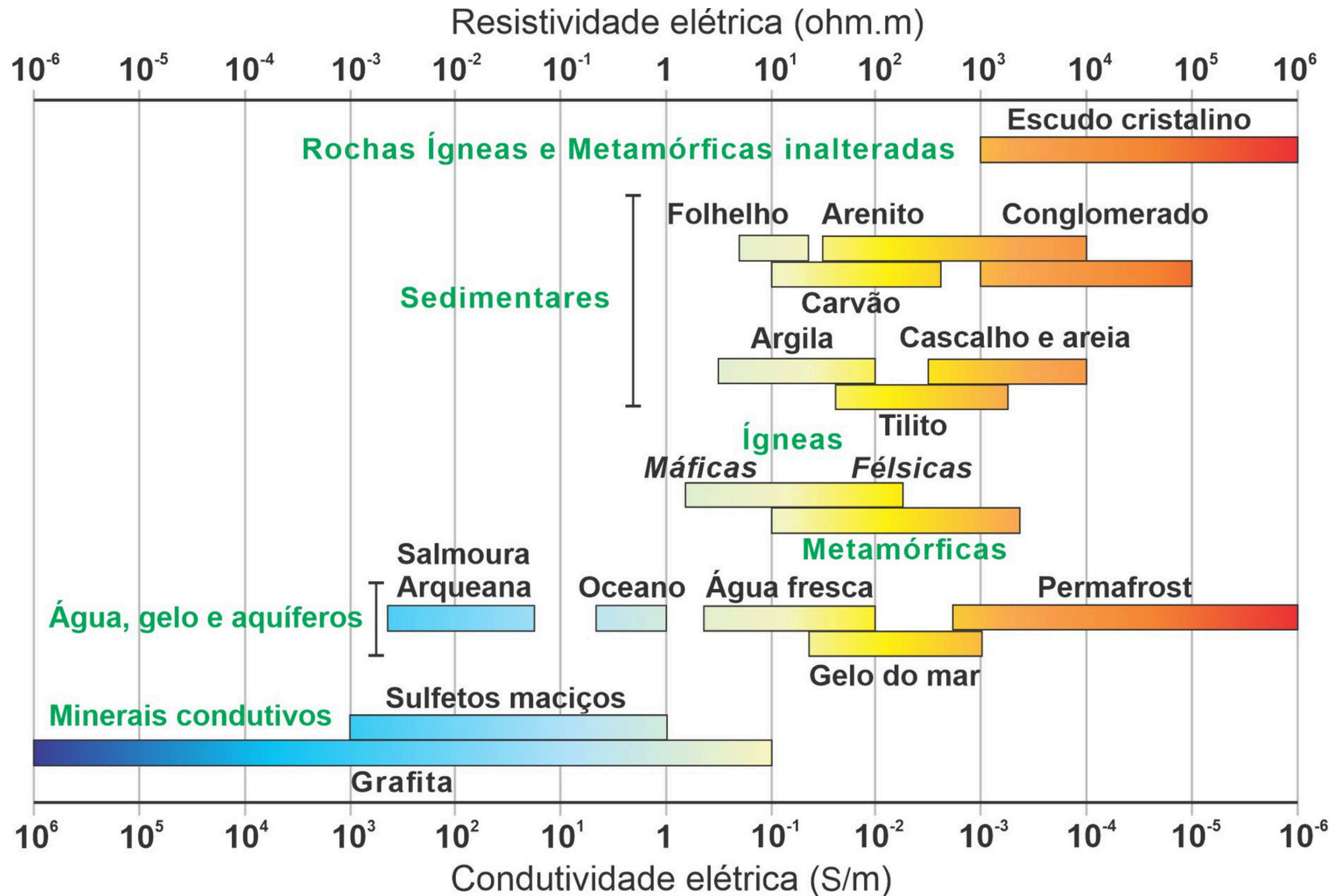
FONTE E SENSORES

Fonte: injeção de corrente elétrica no solo.

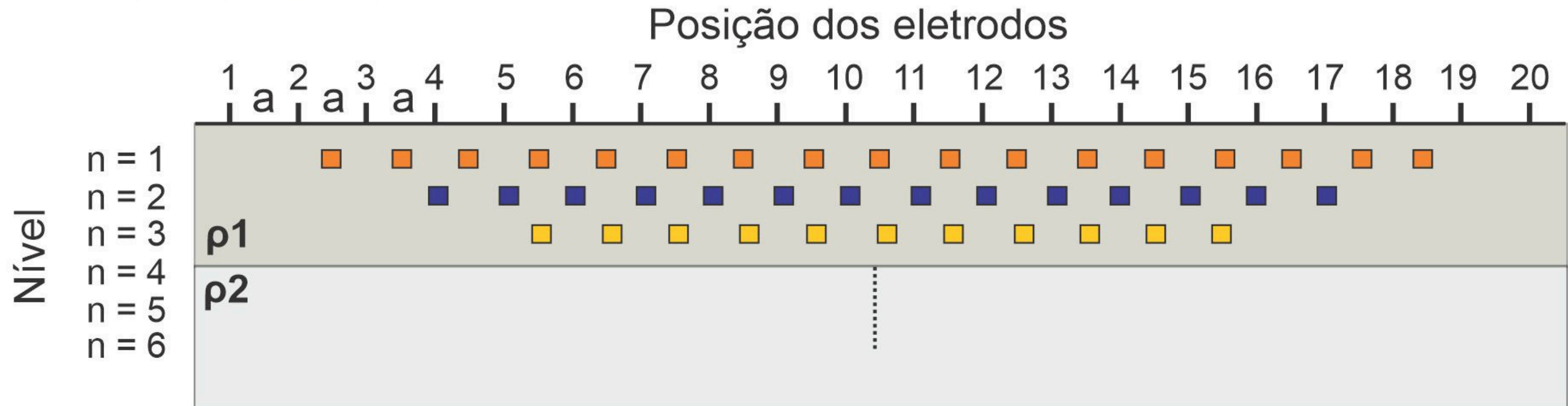
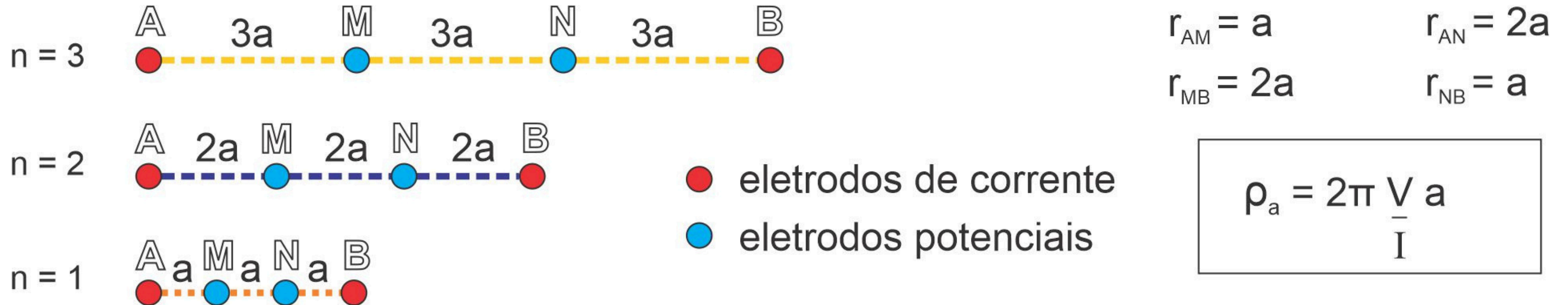
Sensores: eletrodos acoplados no solo em diferentes arranjos.

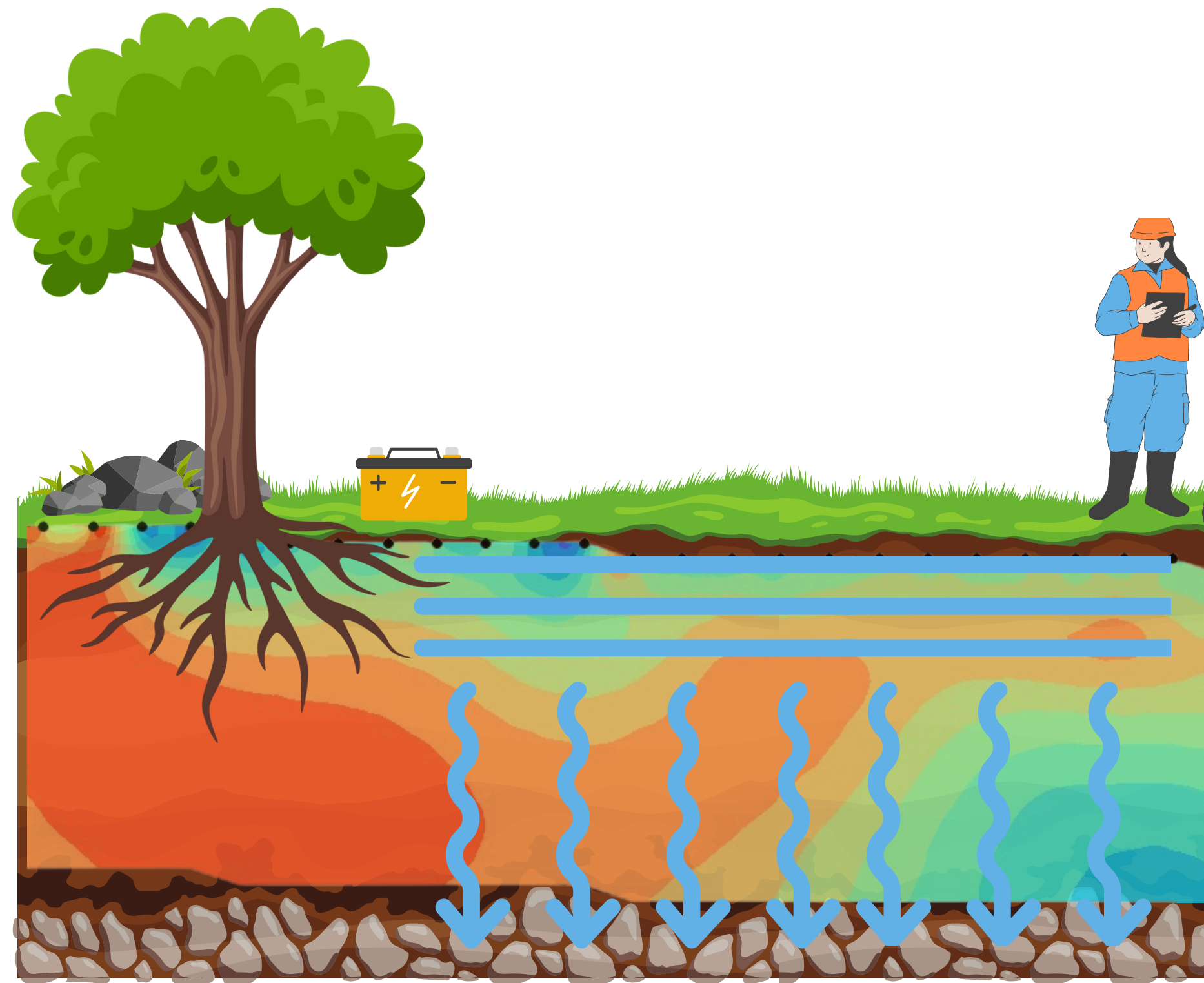
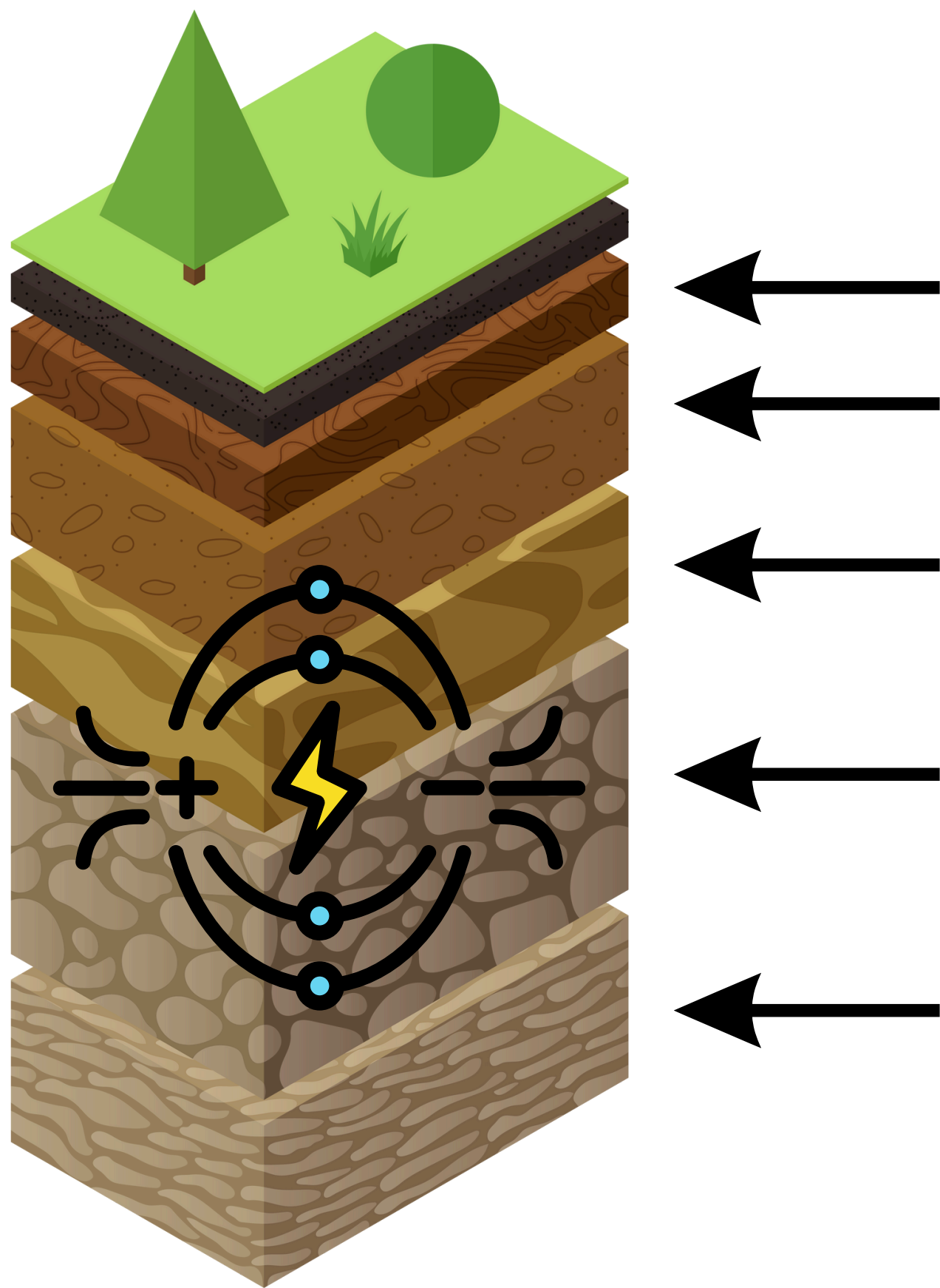
Arranjos geoeletricos em campo



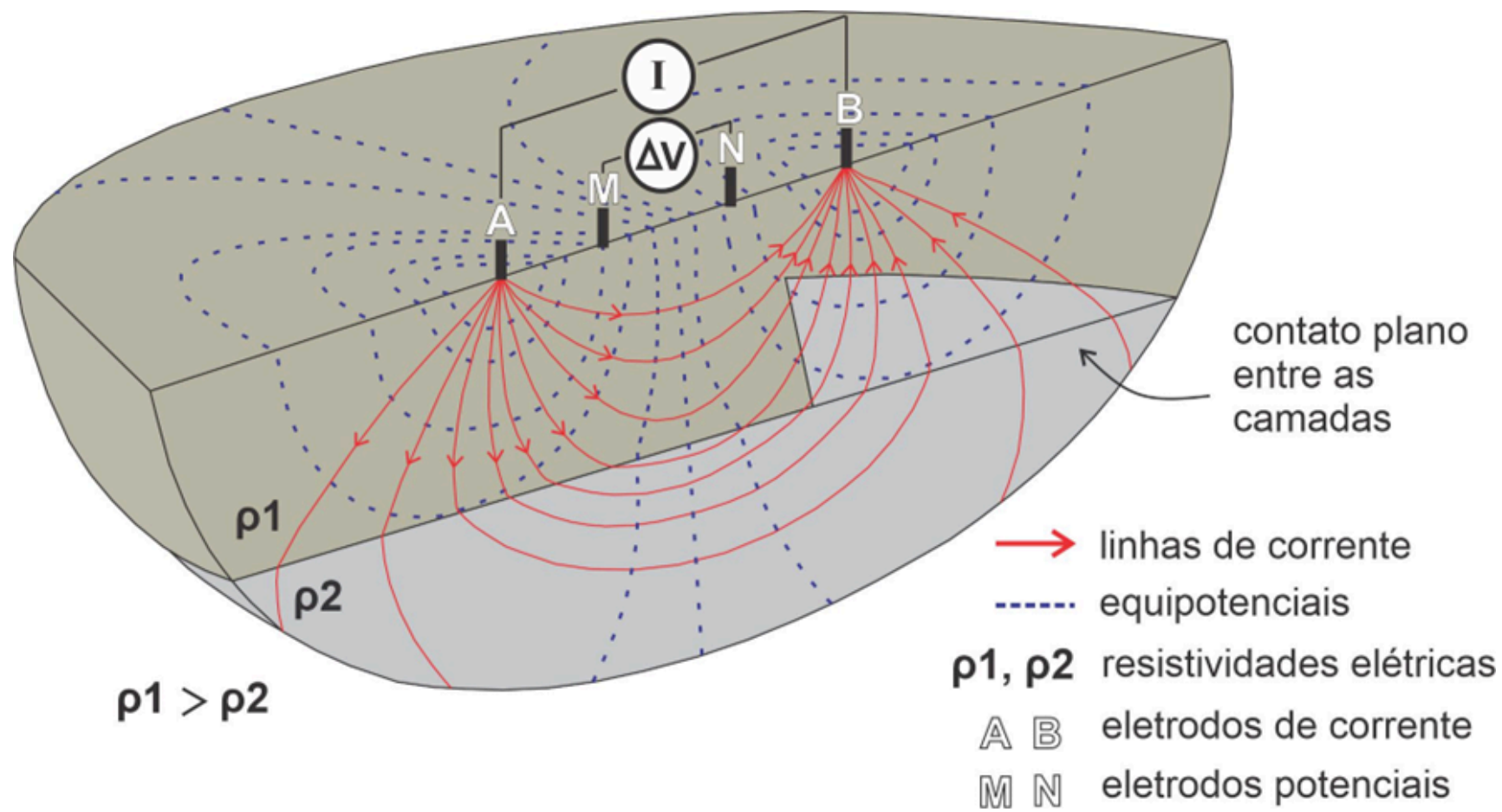


TÉCNICA DE TOMOGRAFIA ELÉTRICA

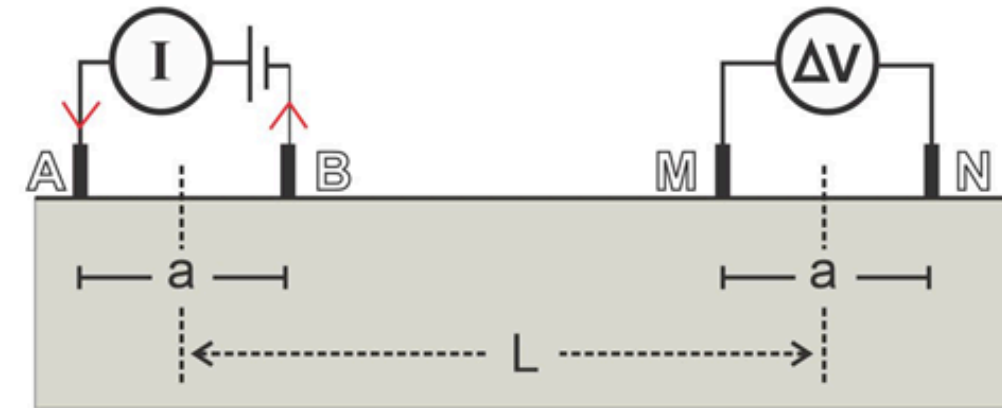




Arranjos geoeletricos em campo



Dipolo-dipolo

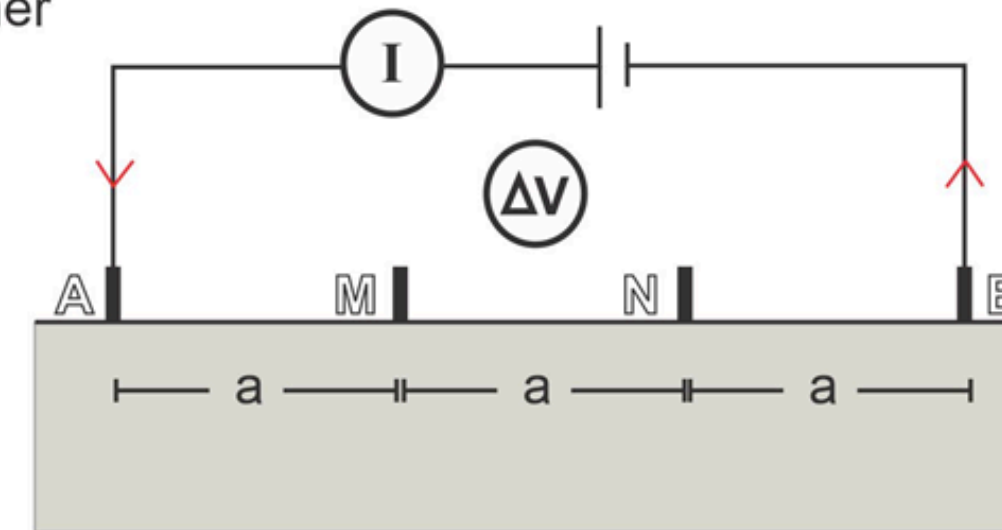


$$r_{AM} = L \quad r_{AN} = L + a$$

$$r_{MB} = L - a \quad r_{NB} = L$$

$$\rho_a = \pi \frac{V}{I} \frac{L(L^2 - a^2)}{a^2}$$

Wenner

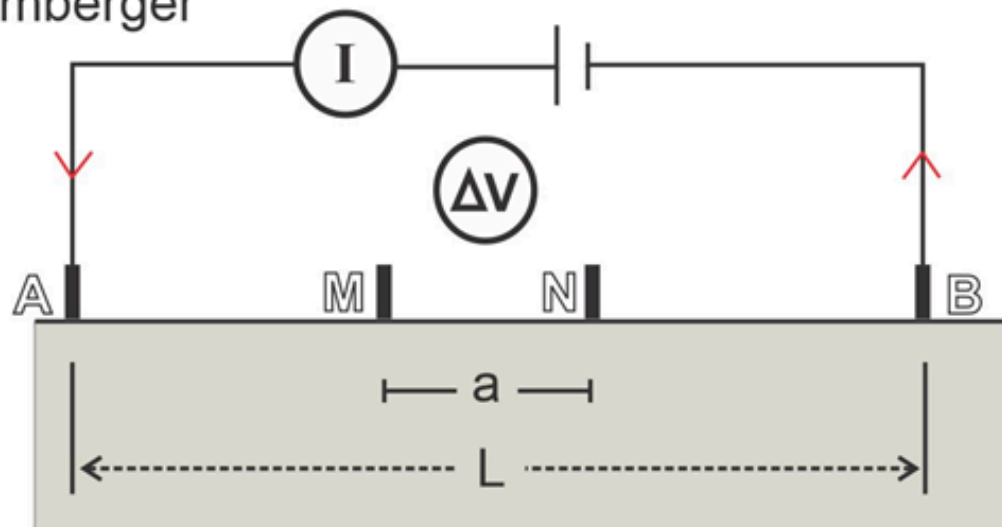


$$r_{AM} = a \quad r_{AN} = 2a$$

$$r_{MB} = 2a \quad r_{NB} = a$$

$$\rho_a = 2\pi \frac{V}{I} a$$

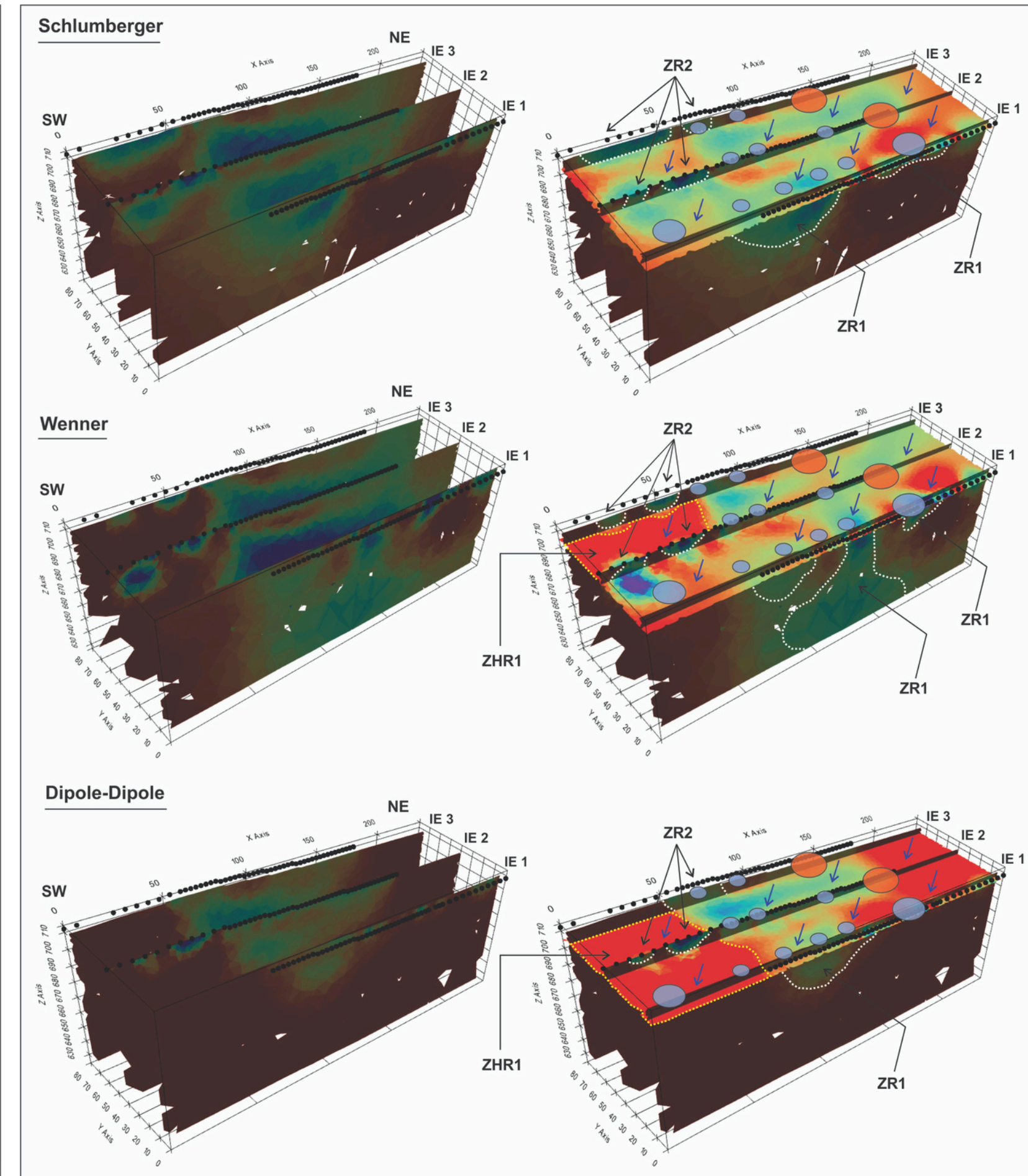
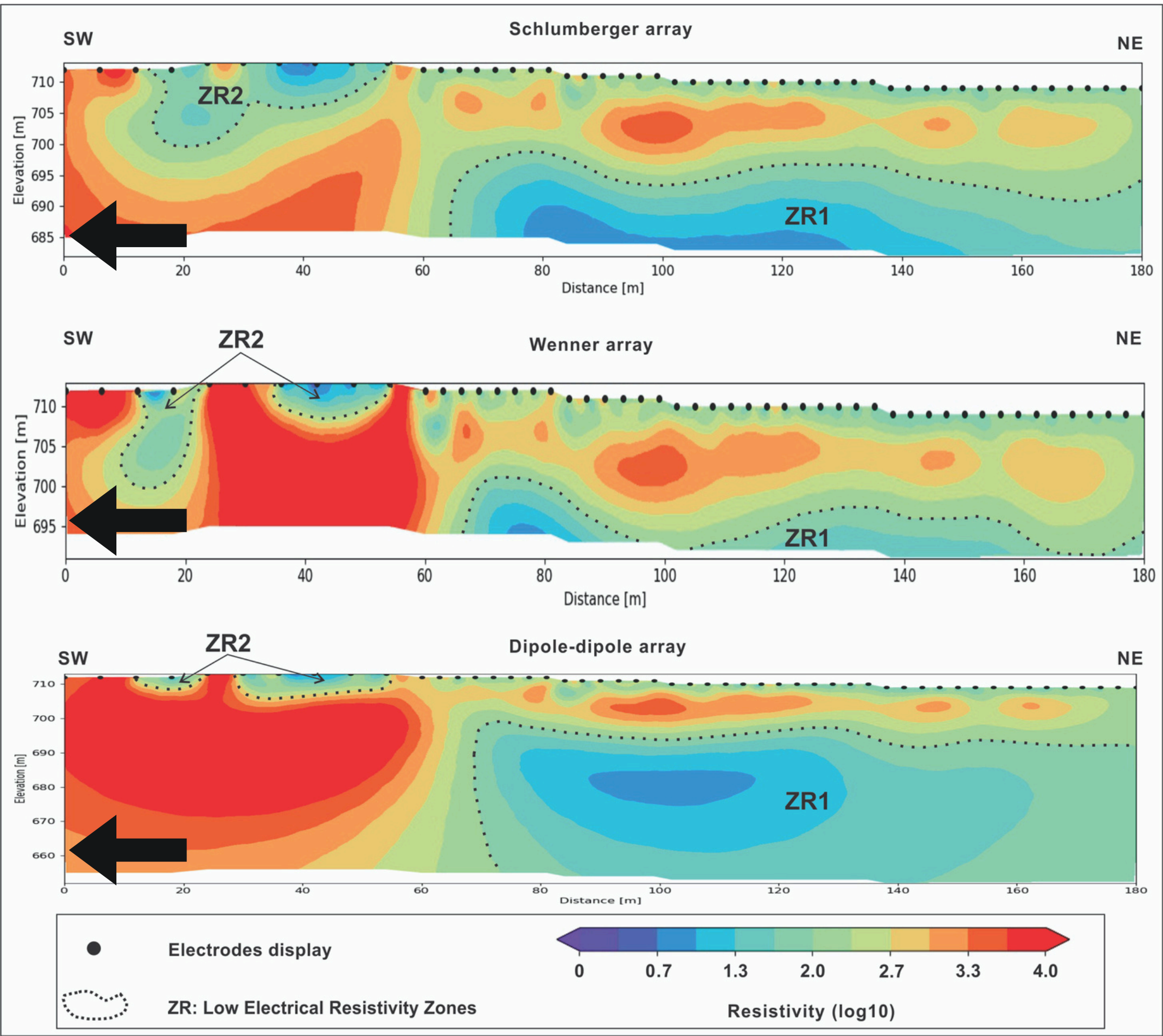
Schlumberger



$$r_{AM} = \frac{(L - a)}{2} \quad r_{AN} = r_{MB}$$

$$r_{MB} = \frac{(L + a)}{2} \quad r_{NB} = r_{AM}$$

$$\rho_a = \frac{\pi}{4} \frac{V}{I} \frac{(L^2 - a^2)}{a}$$

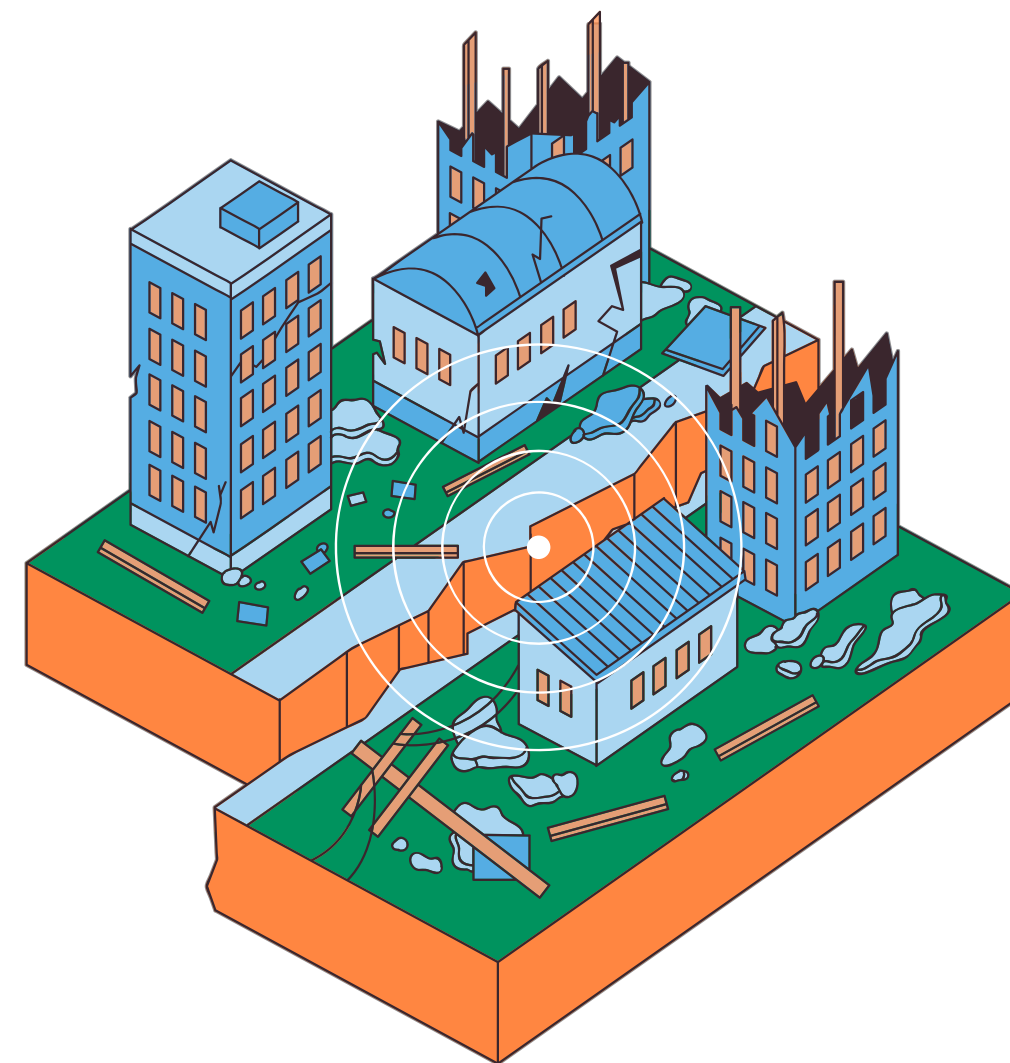
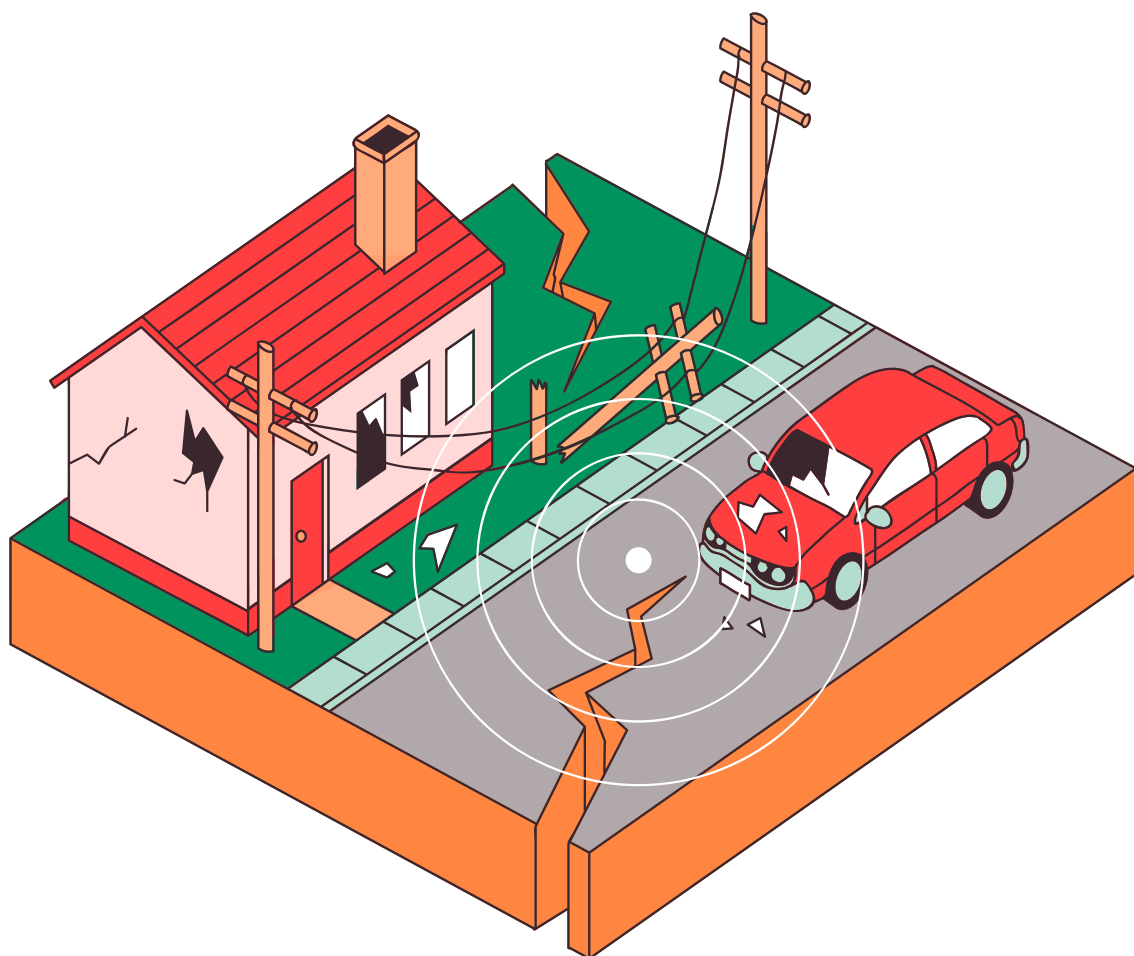
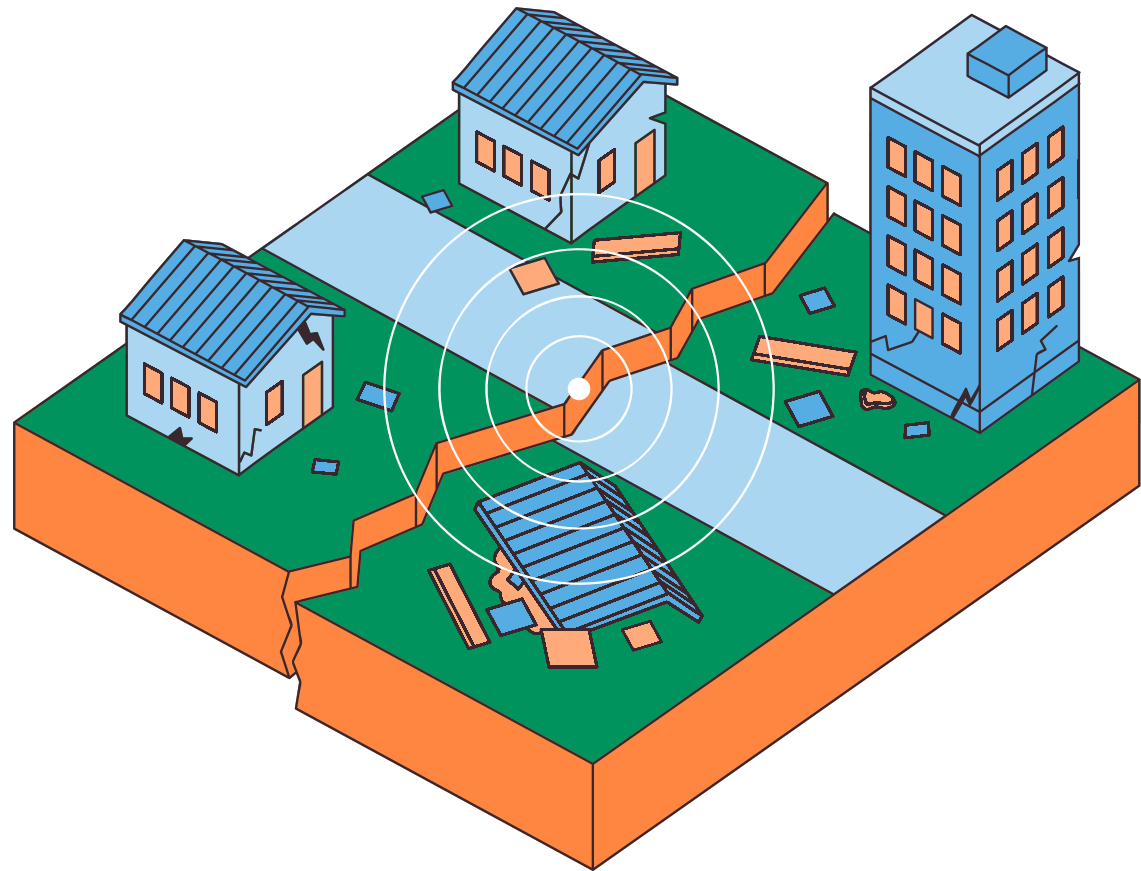


A blue background with a black seismic waveform (seismogram) running horizontally across the center. The waveform consists of many sharp, vertical spikes of varying heights, representing seismic activity.

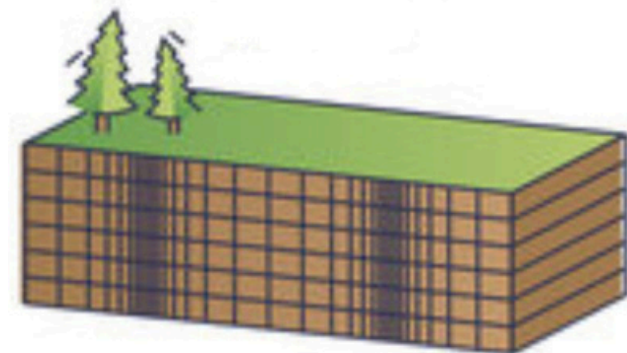
Sísmica

**Qual a primeira imagem que vem a
cabeça quando falamos em
“evento sísmico”?**

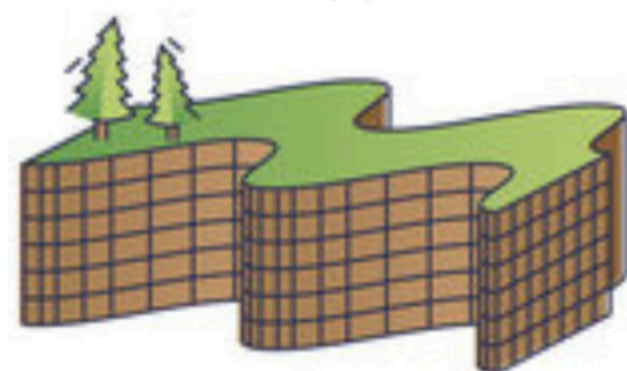




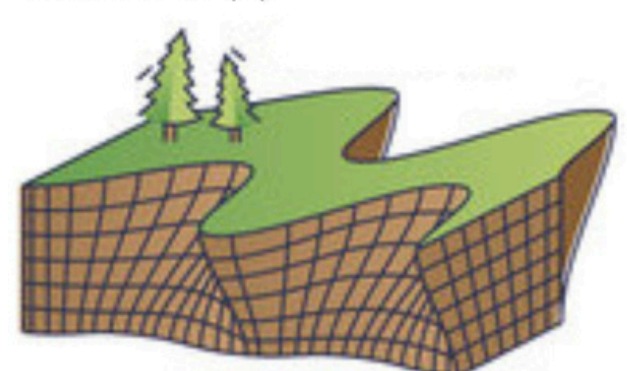
Onda compressional (P)



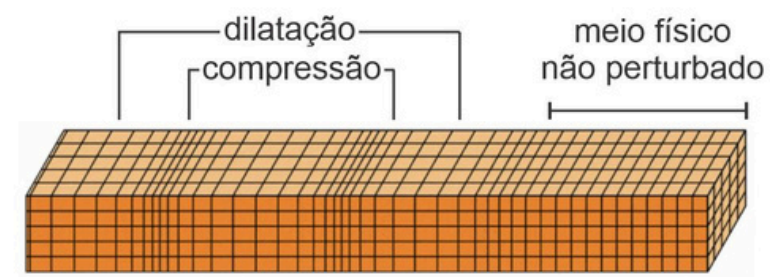
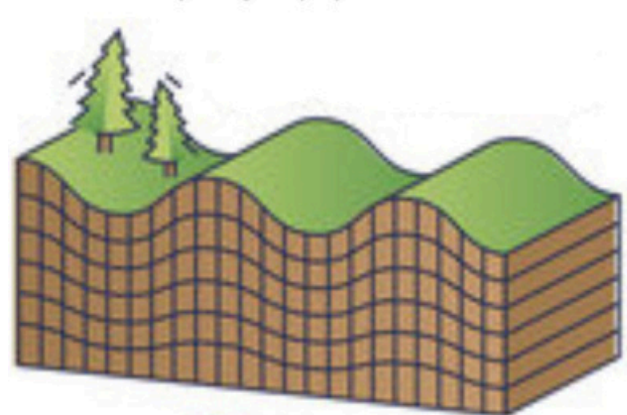
Onda cisalhante (S)



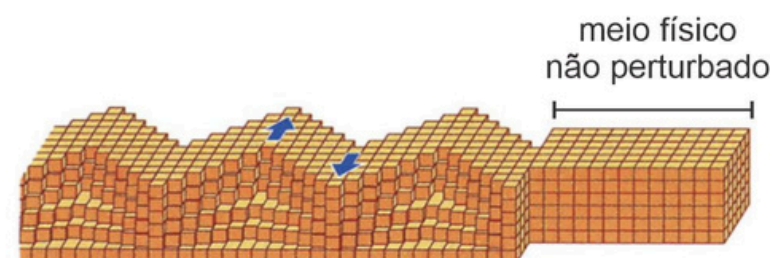
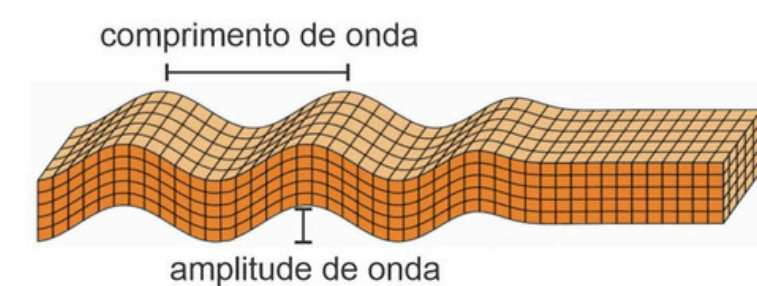
Onda Love (L)



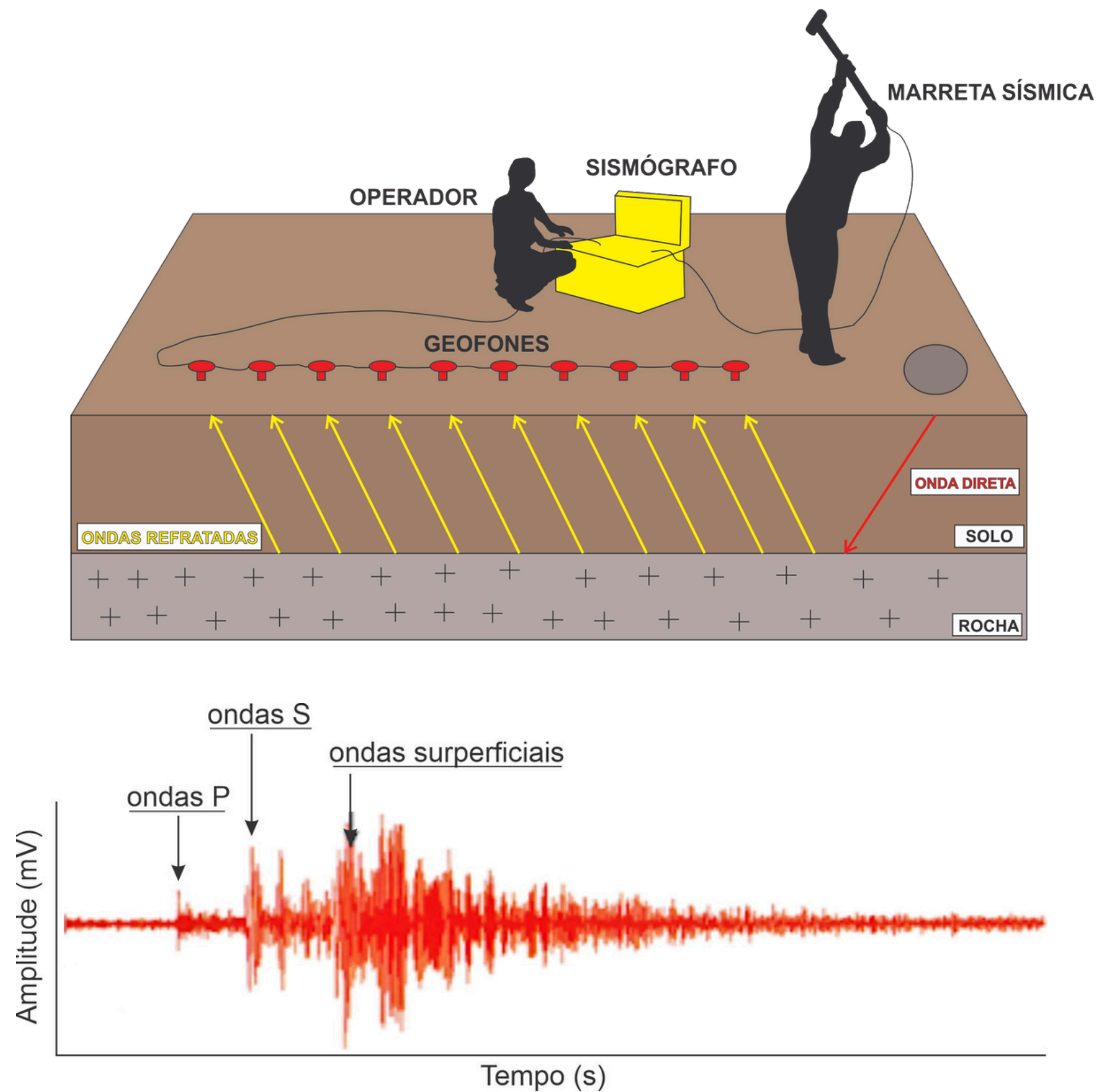
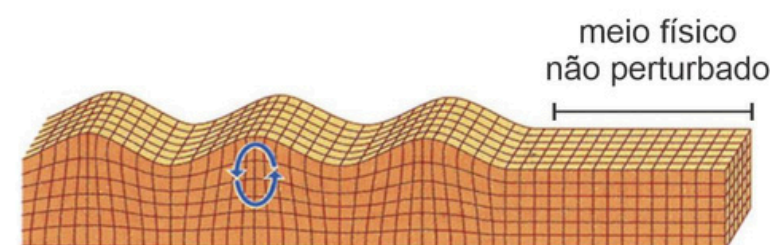
Onda Rayleigh (R)



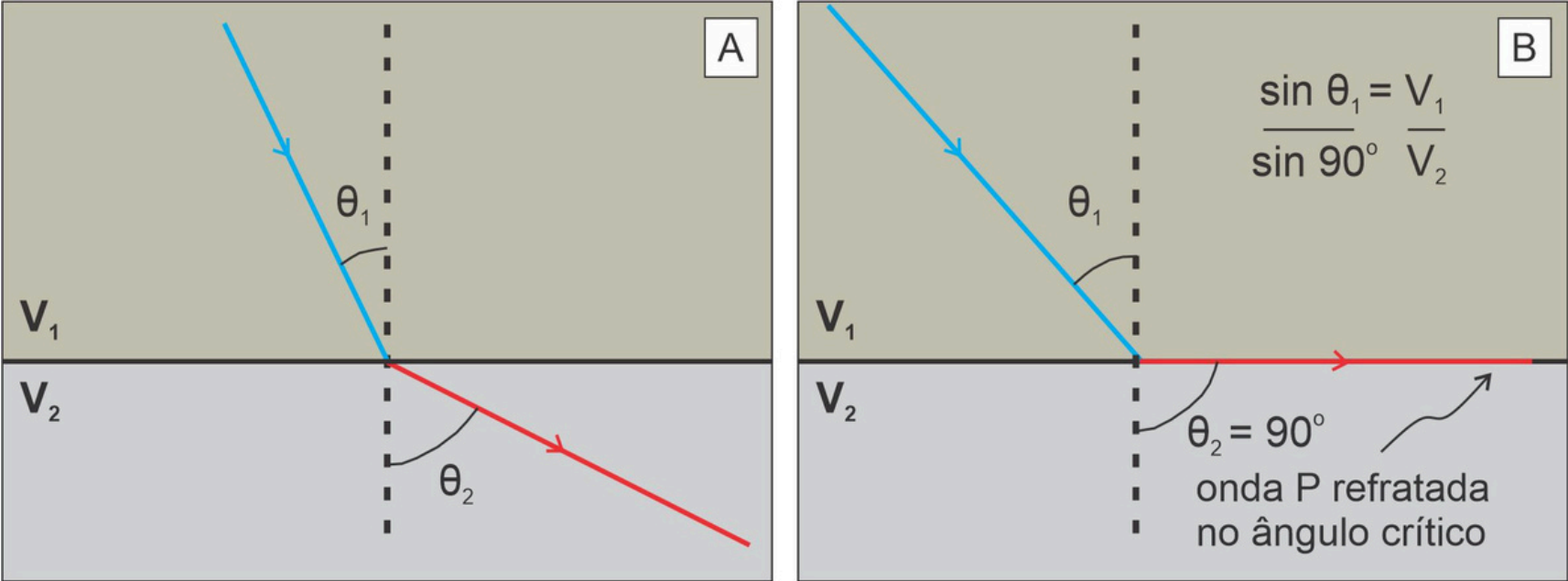
DIREÇÃO DE PROPAGAÇÃO →



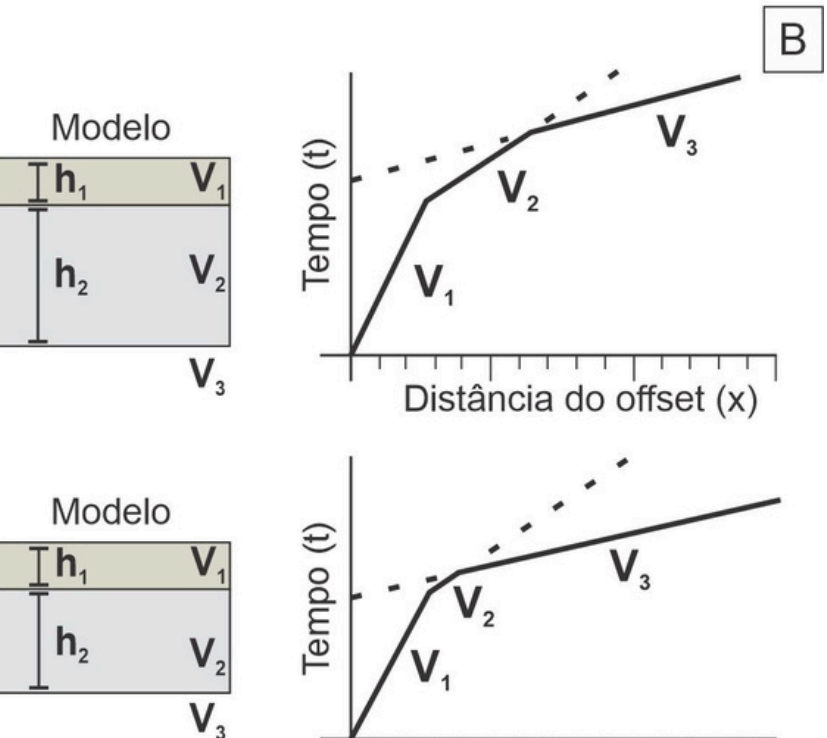
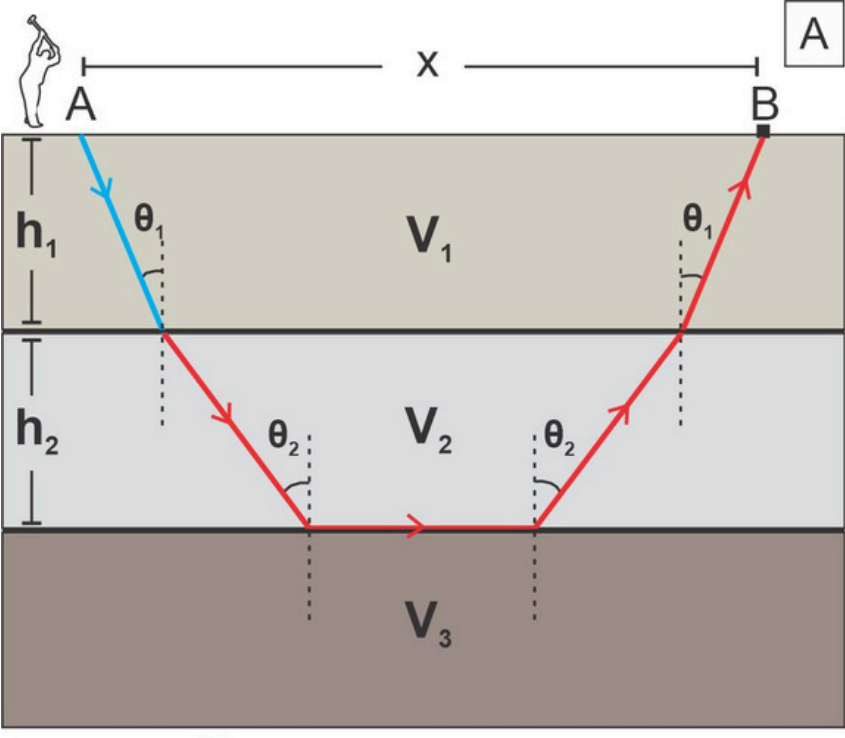
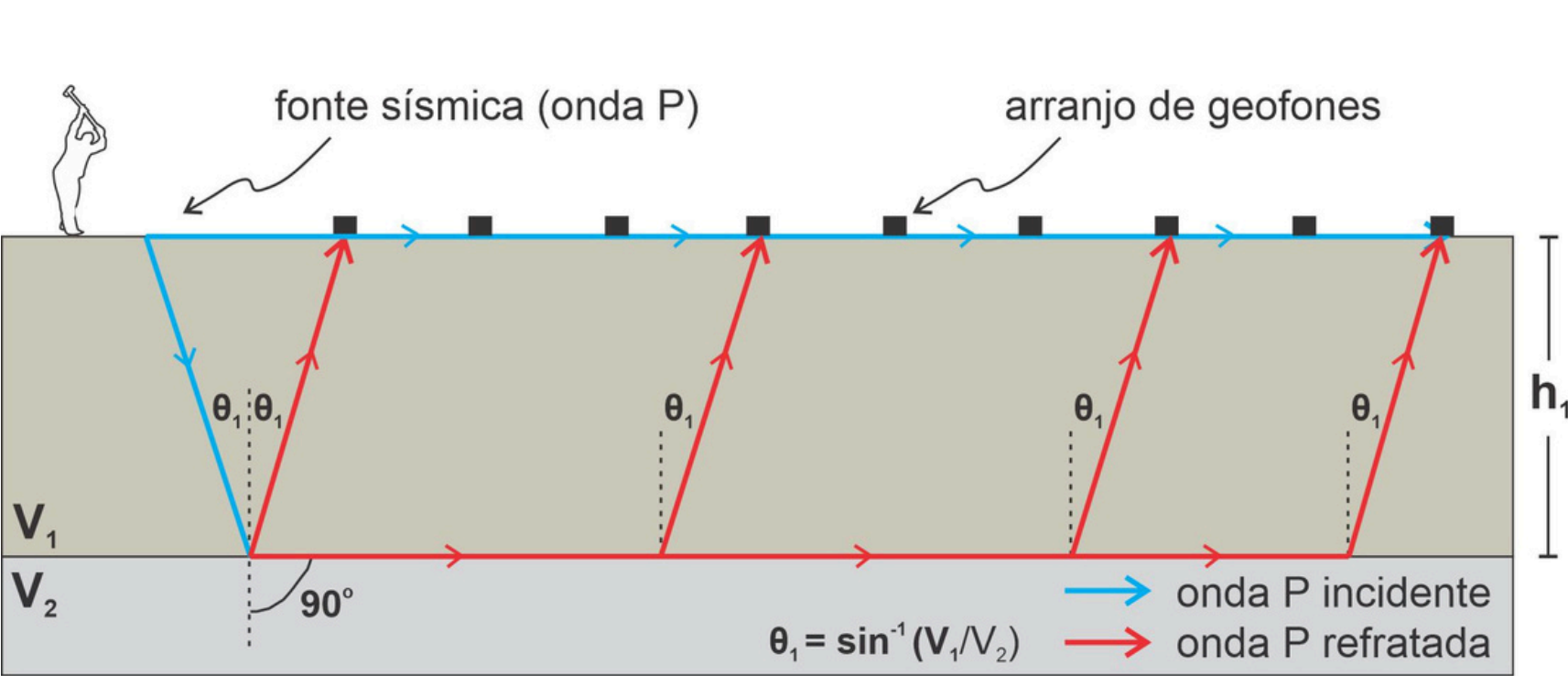
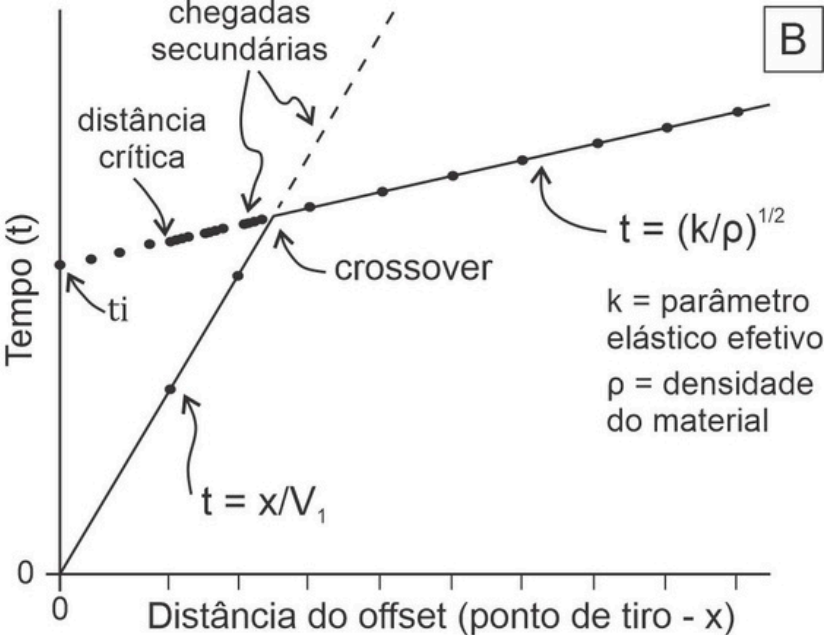
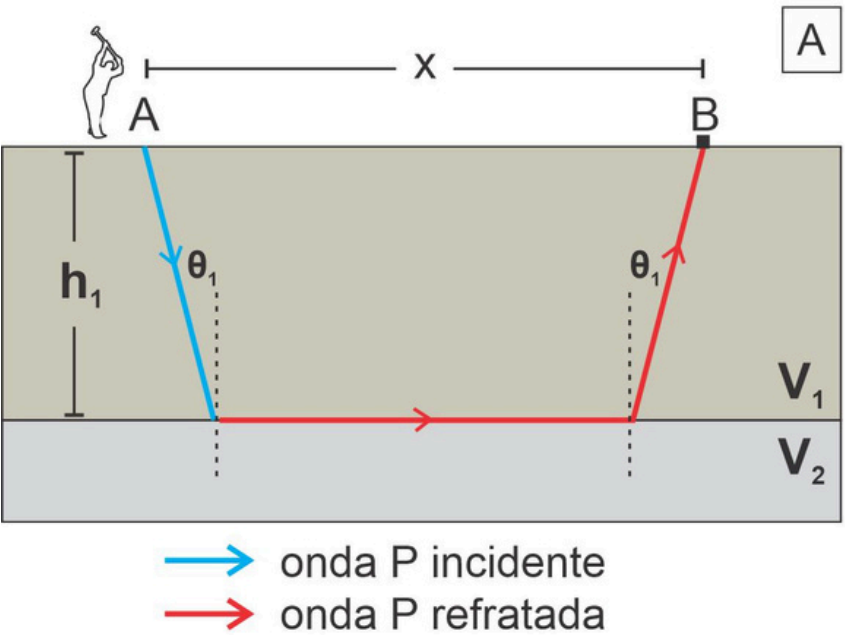
DIREÇÃO DE PROPAGAÇÃO →



SÍSMICA DE REFRAÇÃO

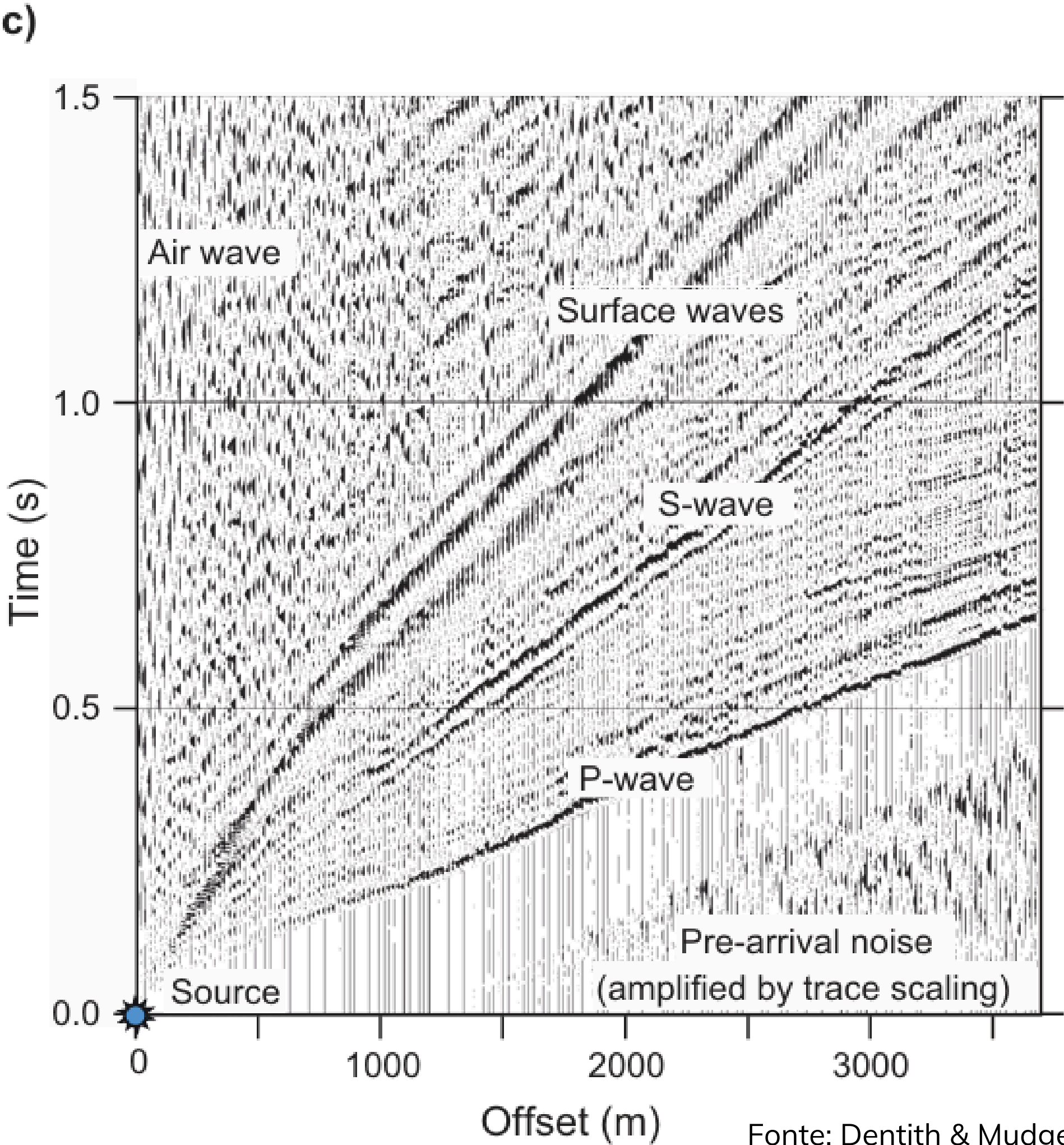
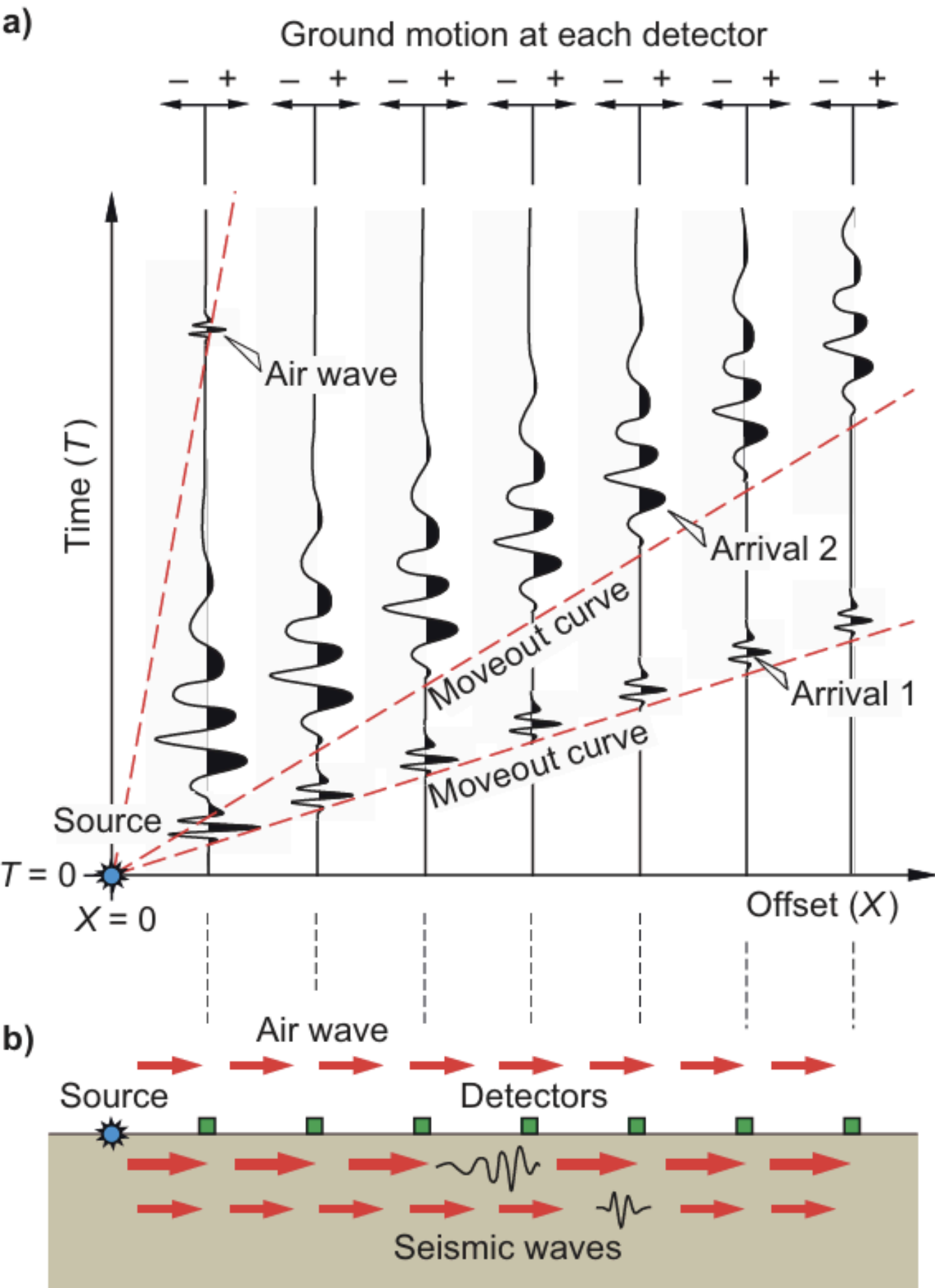


→ onda P incidente
→ onda P refratada



→ onda P incidente
→ onda P refratada

PROPRIEDADES DAS ONDAS SÍSMICAS



Como as ondas sísmicas são registradas?

Geofones convencionais



Como as ondas sísmicas são registradas?



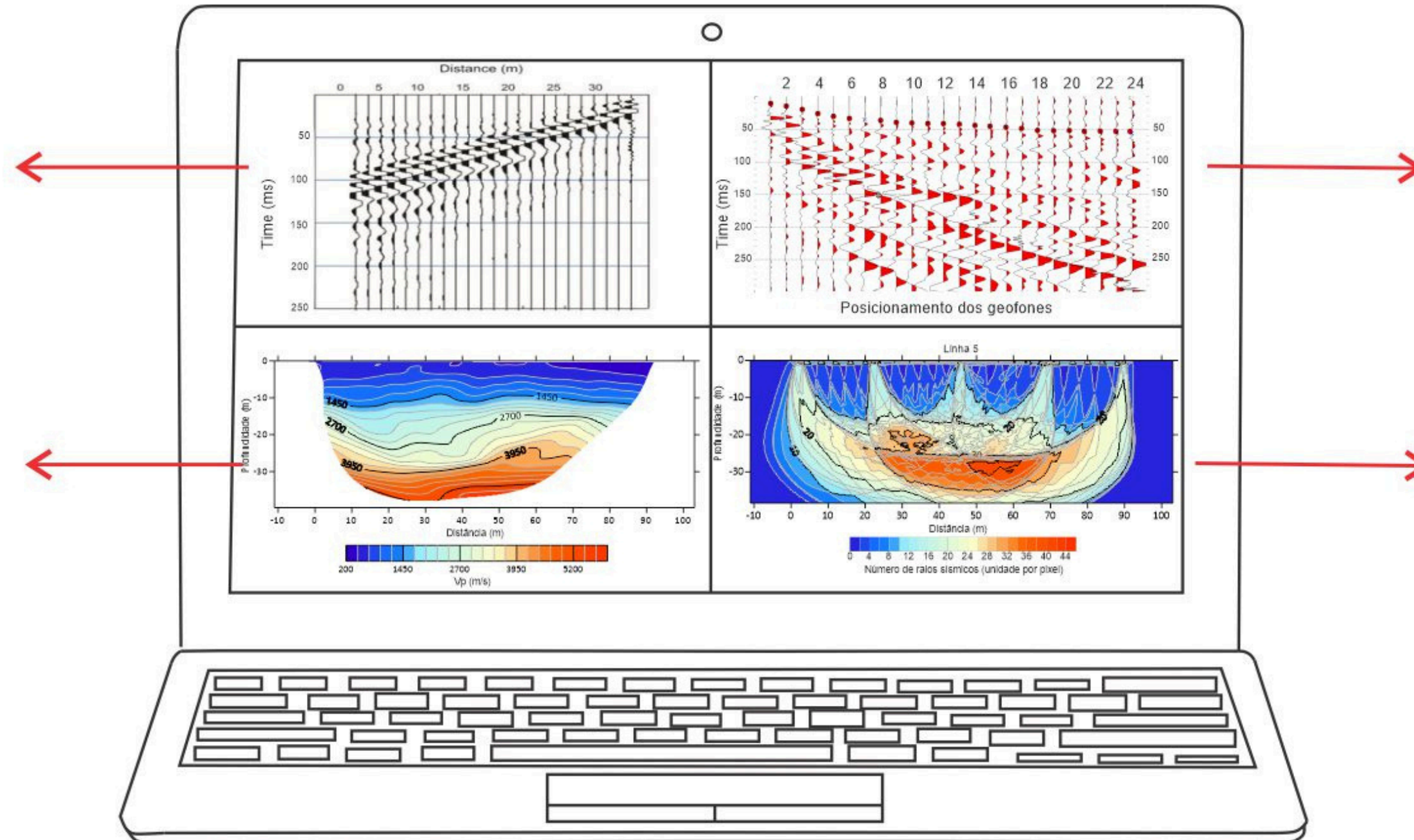
ESQUEMA DAS ETAPAS DE PROCESSAMENTO DOS DADOS DE TOMOGRAFIA SÍSMICA DE REFRAÇÃO

SISMOGRAMA

Gráfico
Distância (m)
x
tempo (ms)

ETAPA DE INVERSÃO

Seção tomográfica
de refração sísmica

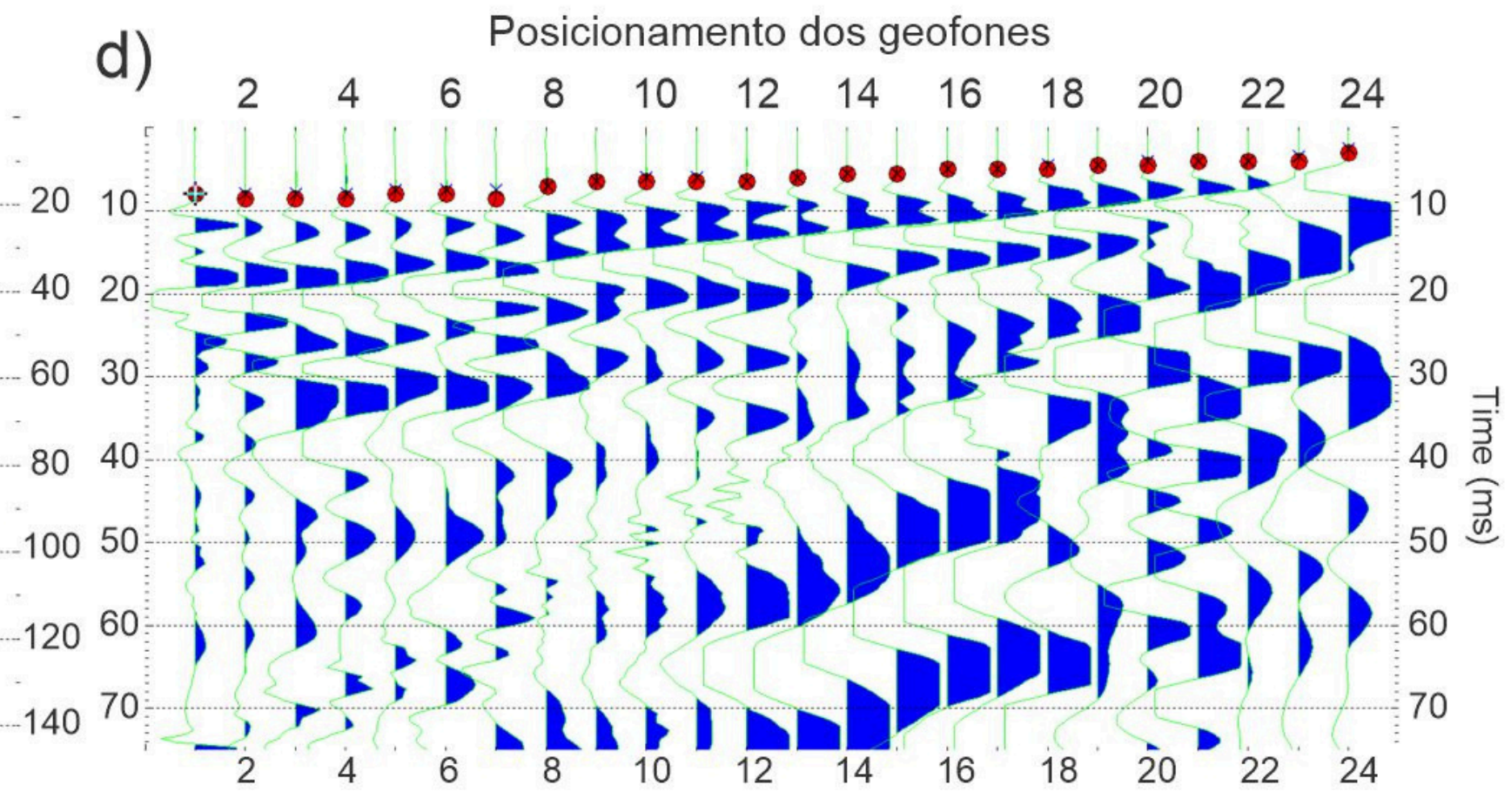
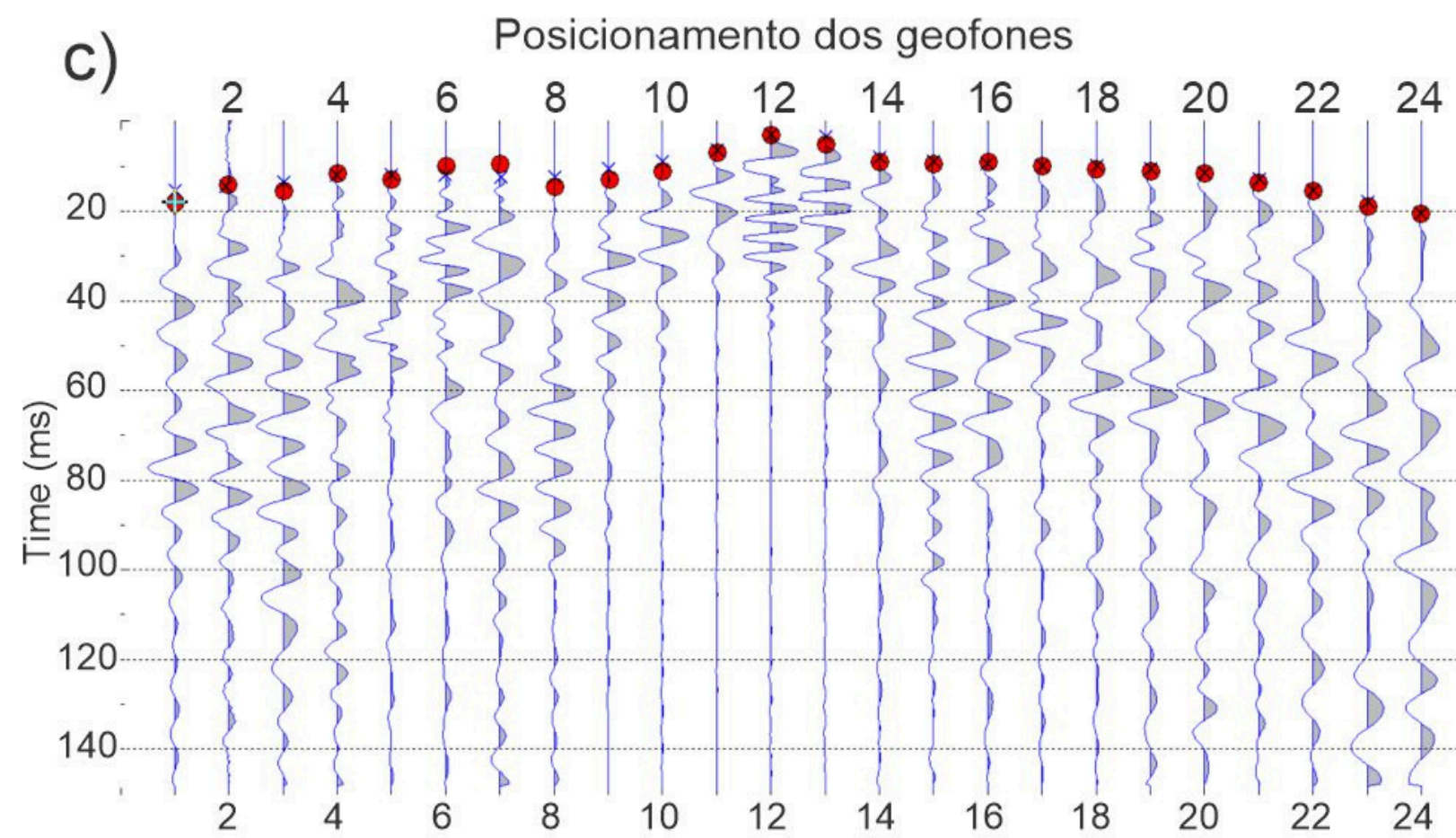
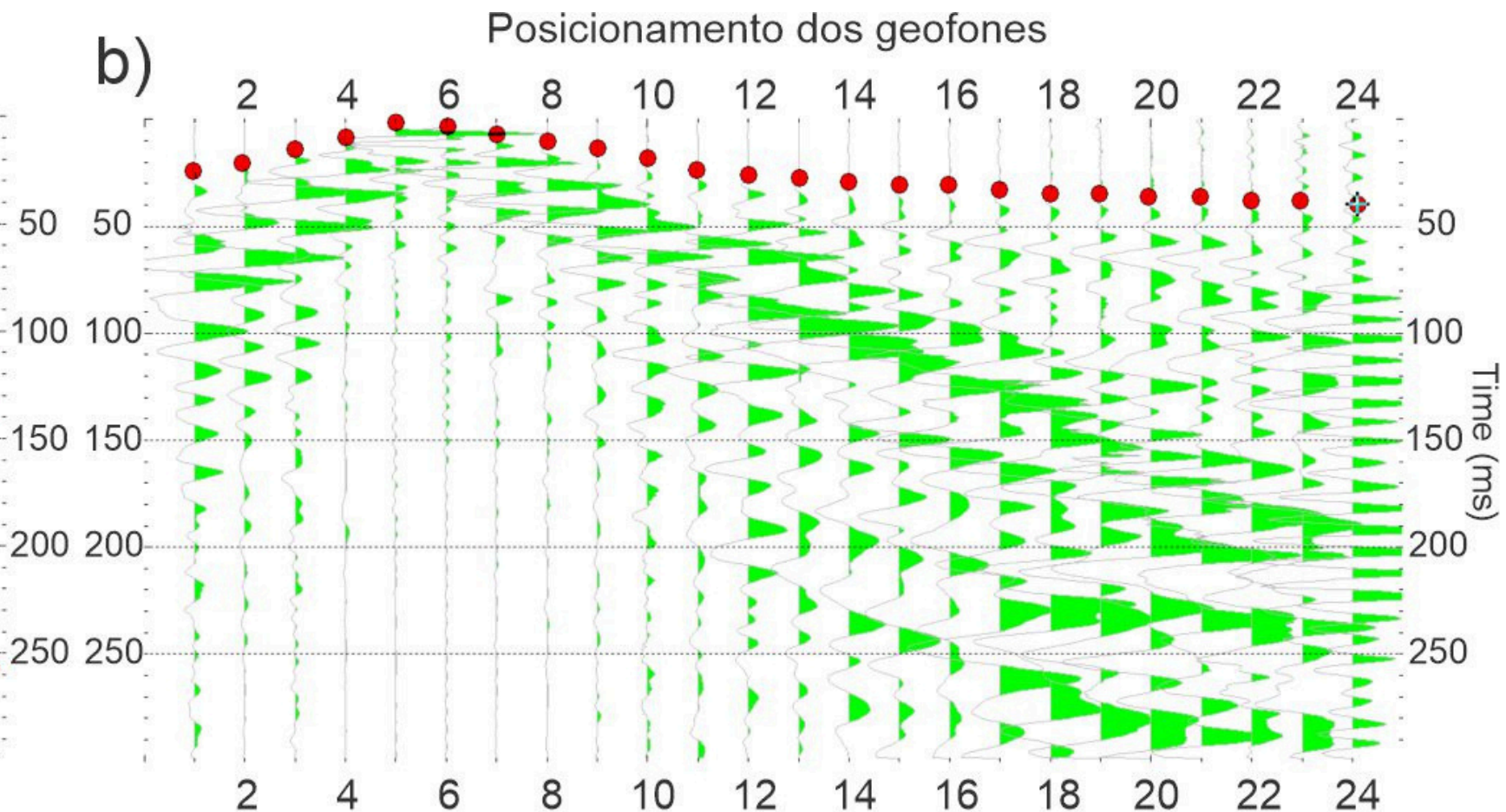
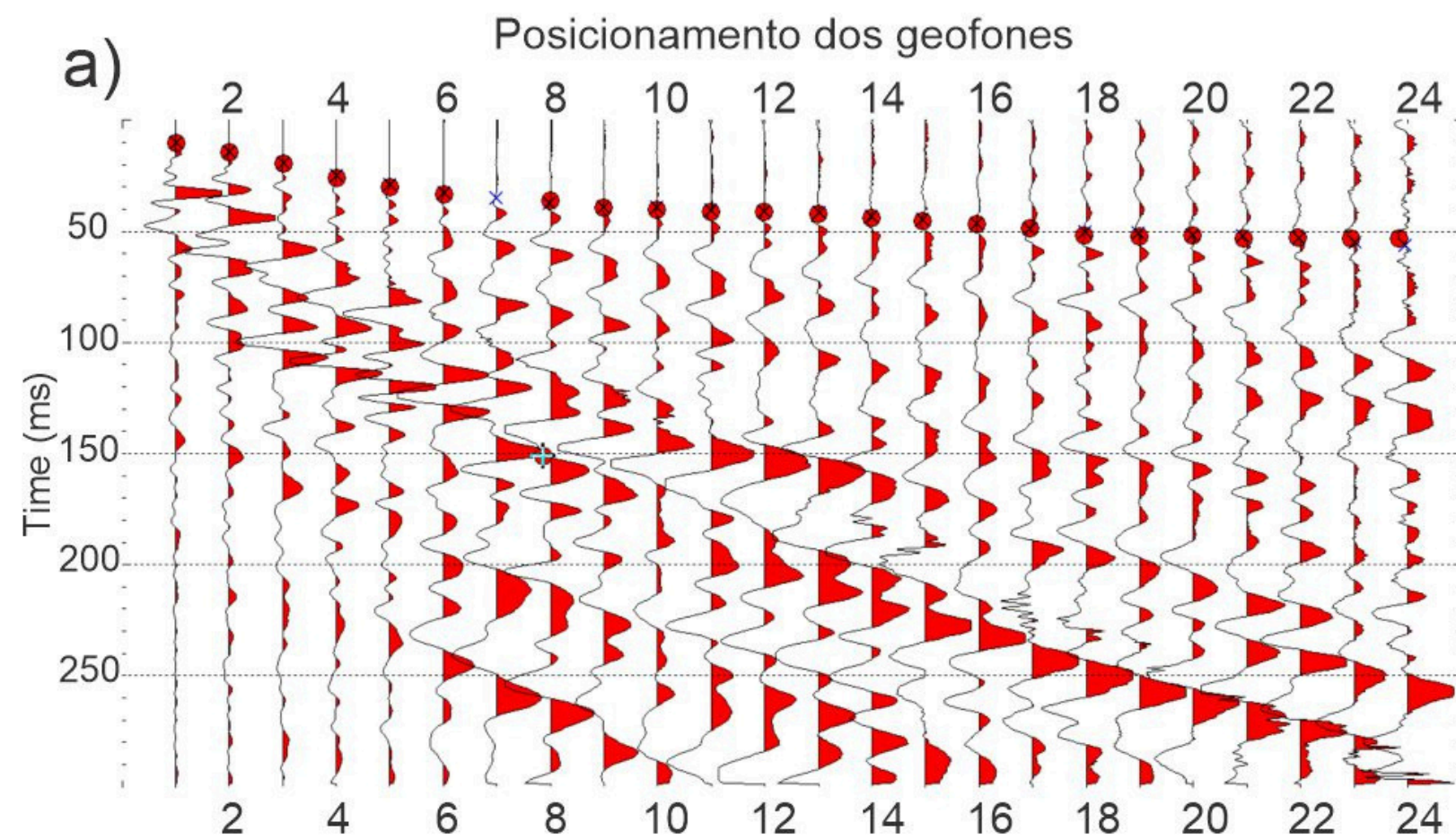


SISMOGRAMA

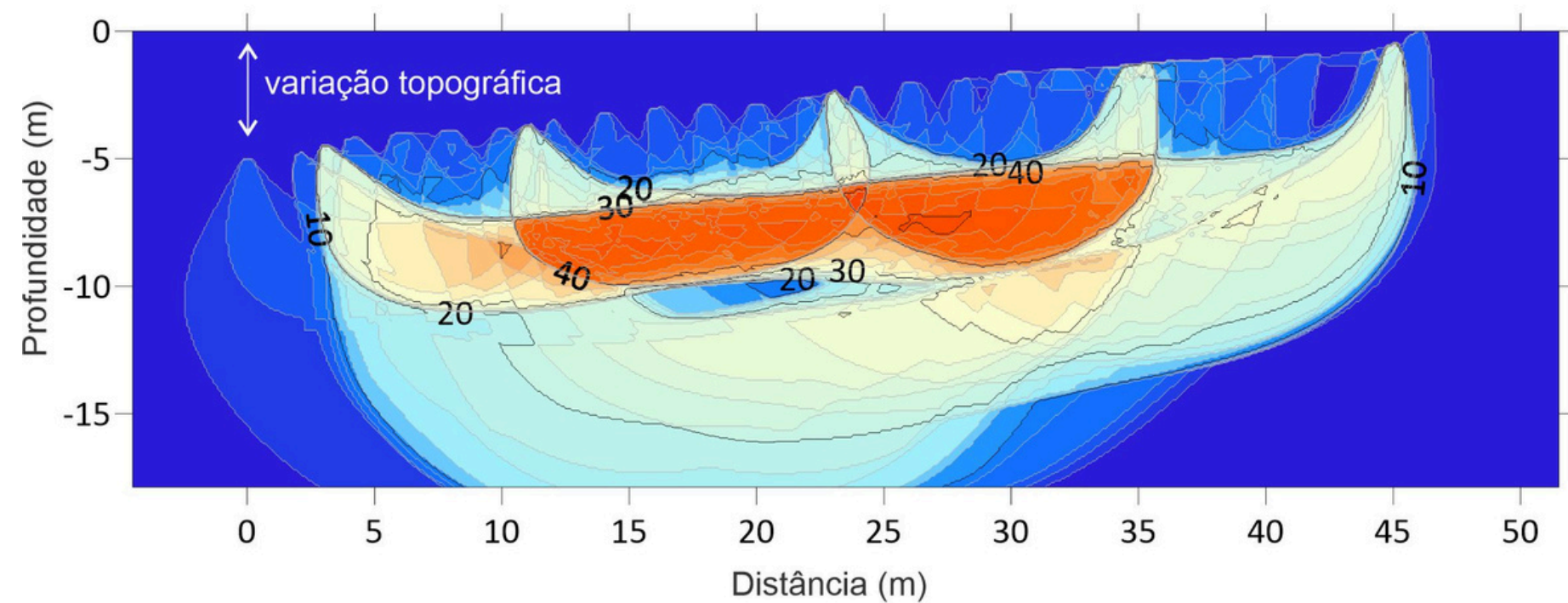
Determinação dos
primeiros pontos
de chegadas das
ondas P

ETAPA DE INVERSÃO

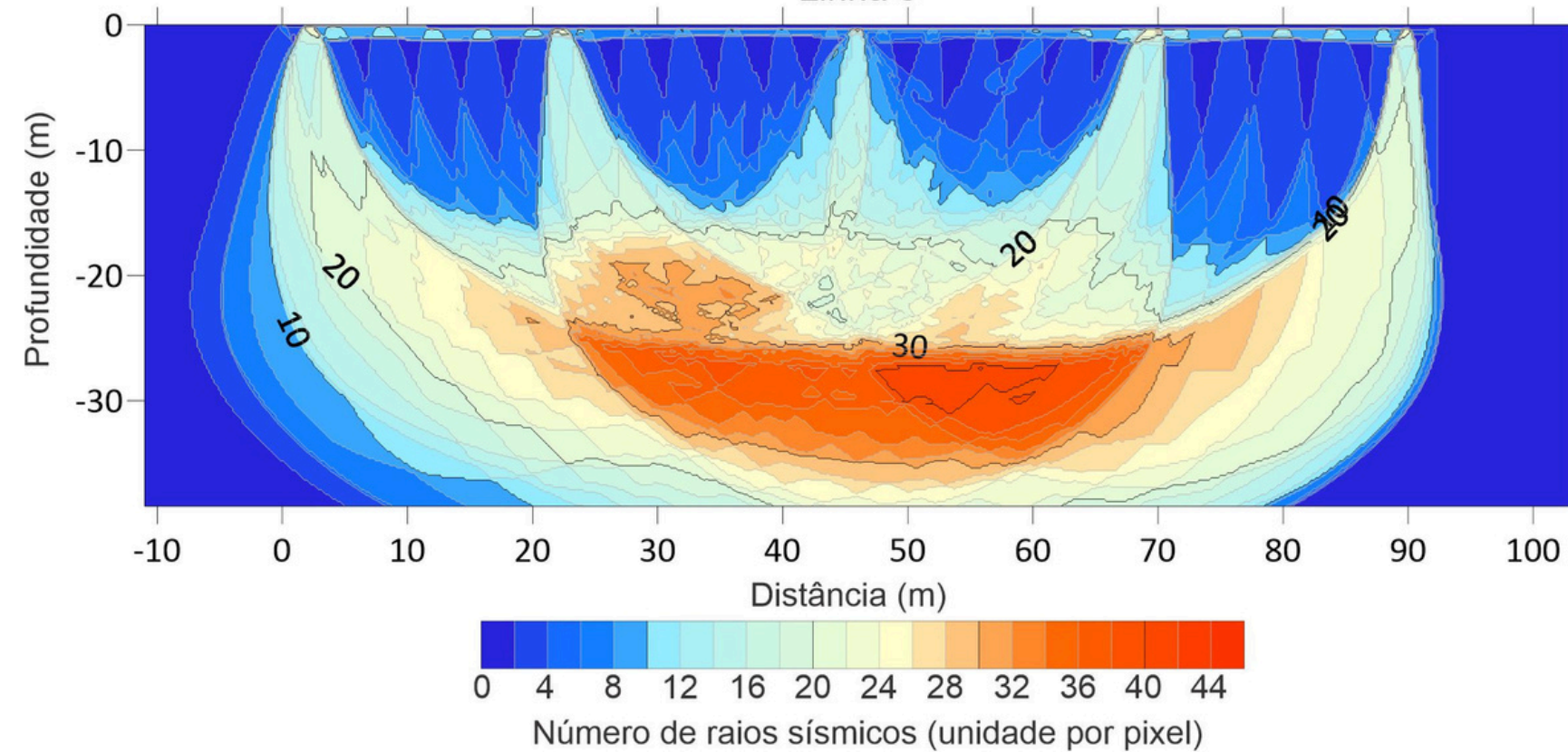
Seção com a
disposição dos
raios sísmicos



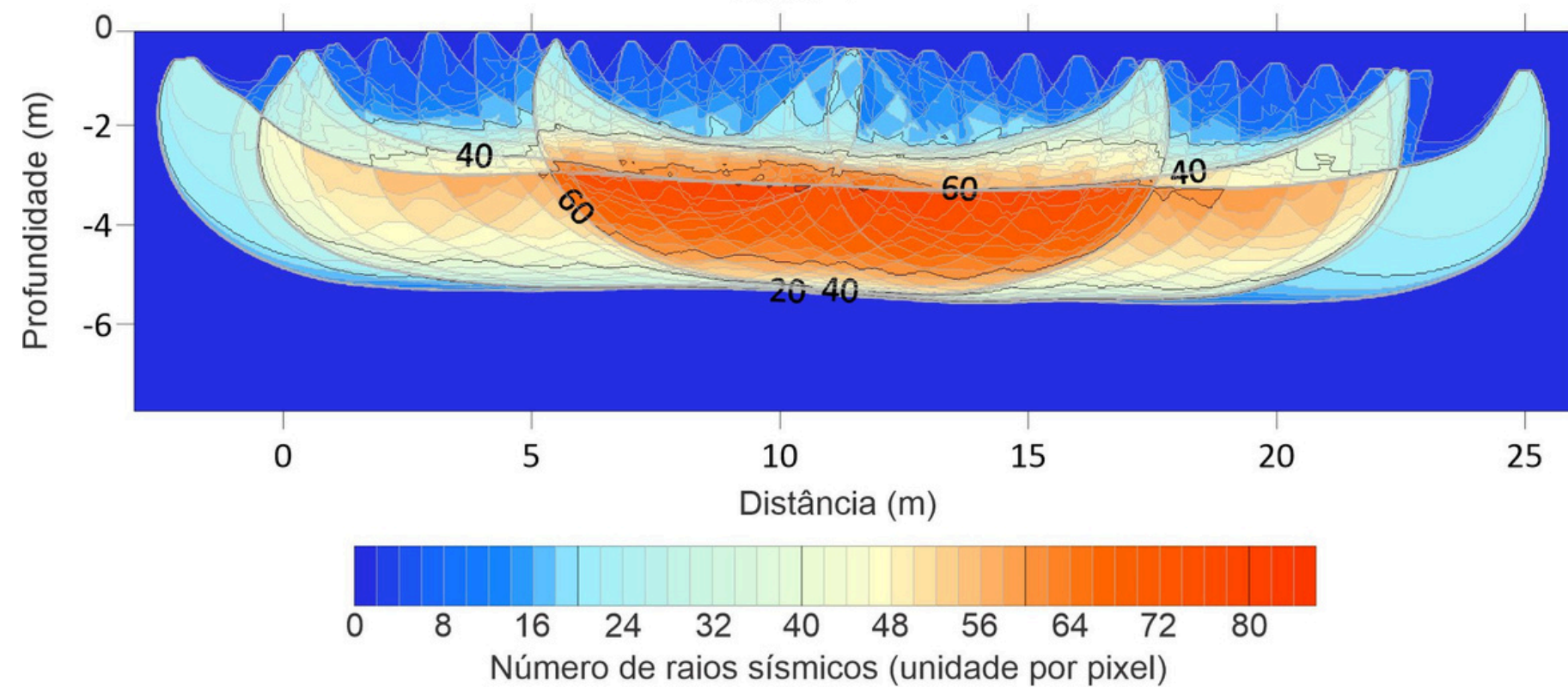
Linha 3



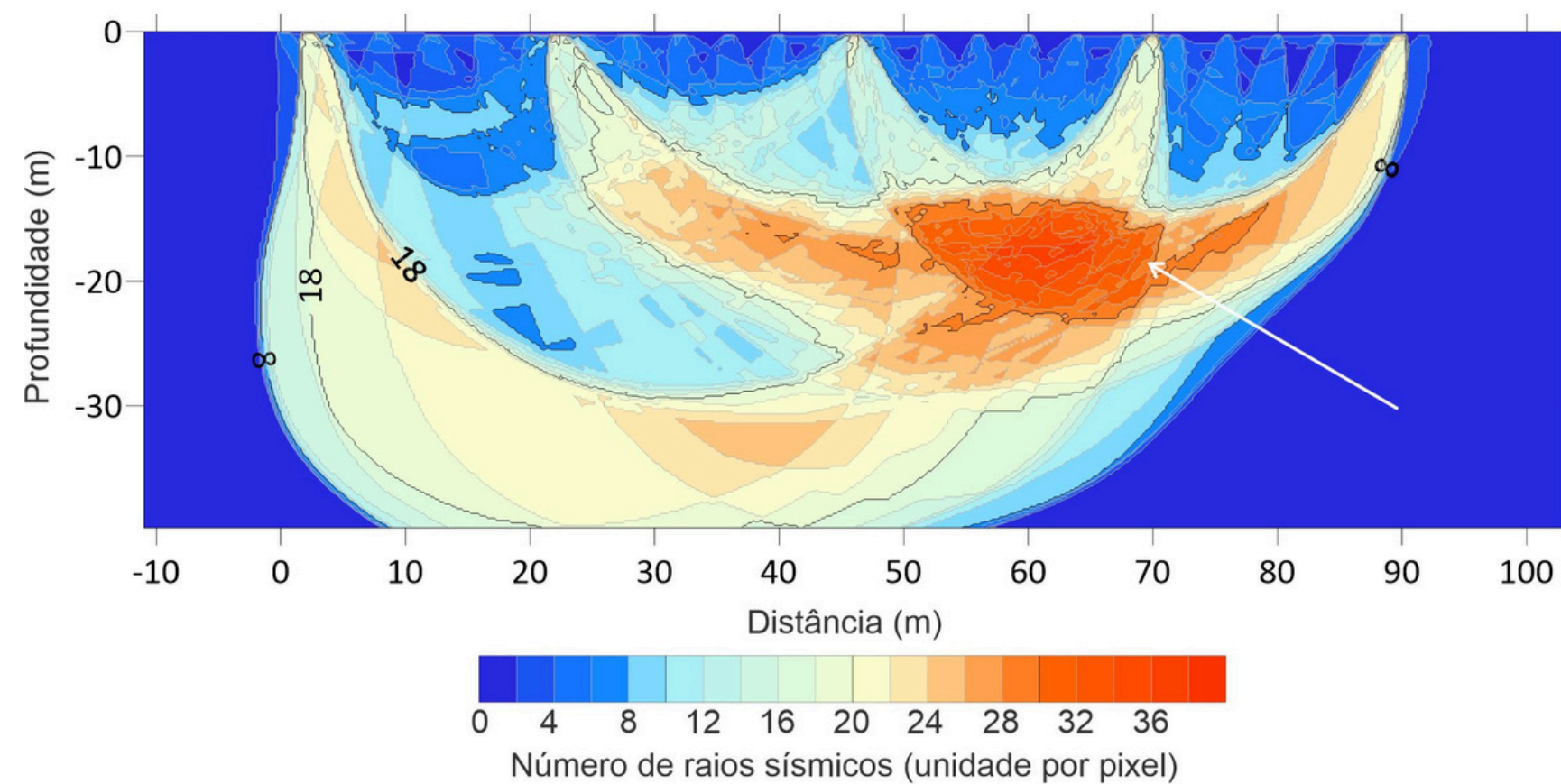
Linha 5



Linha 4



Linha 6



2

Estudos de caso

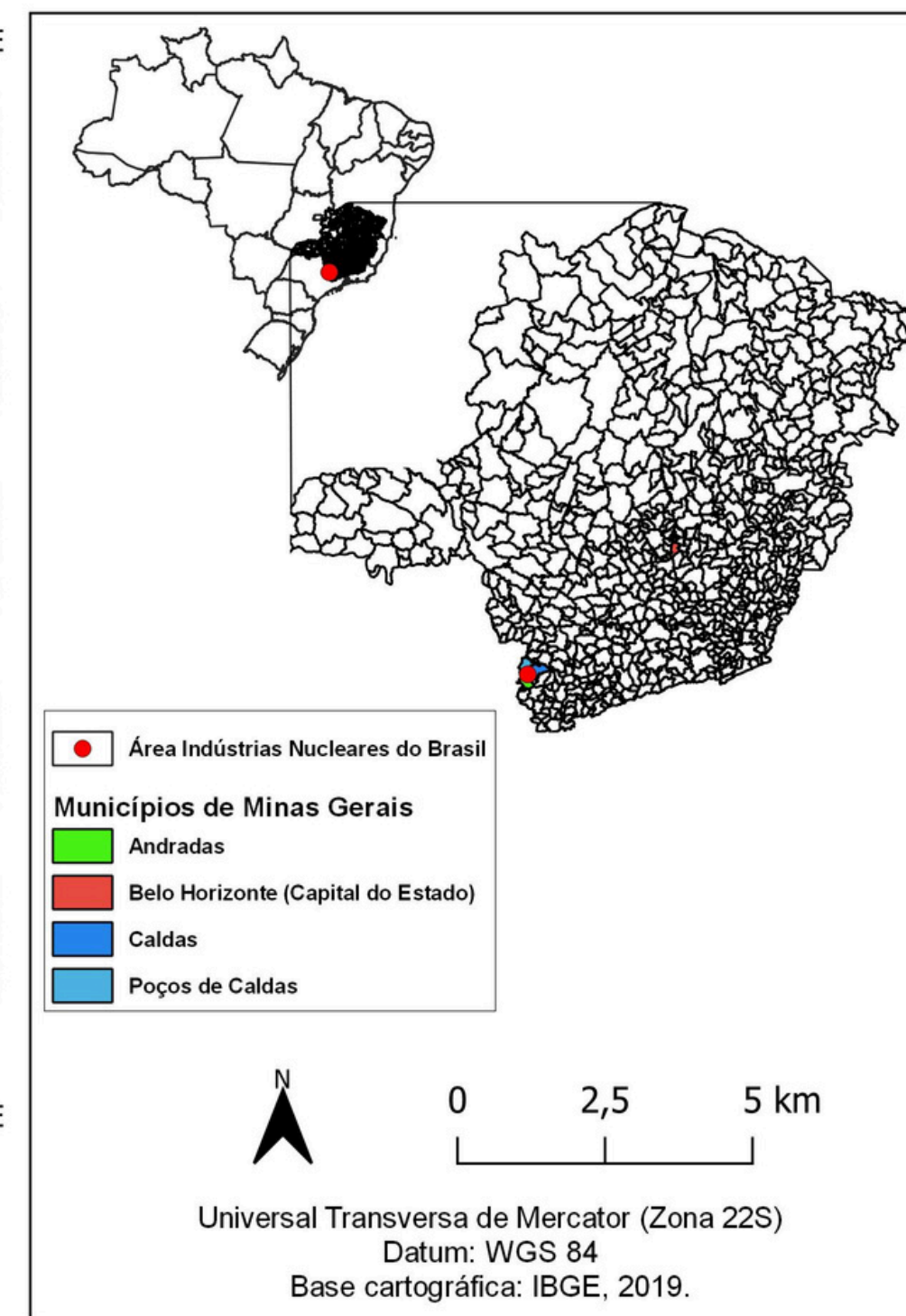
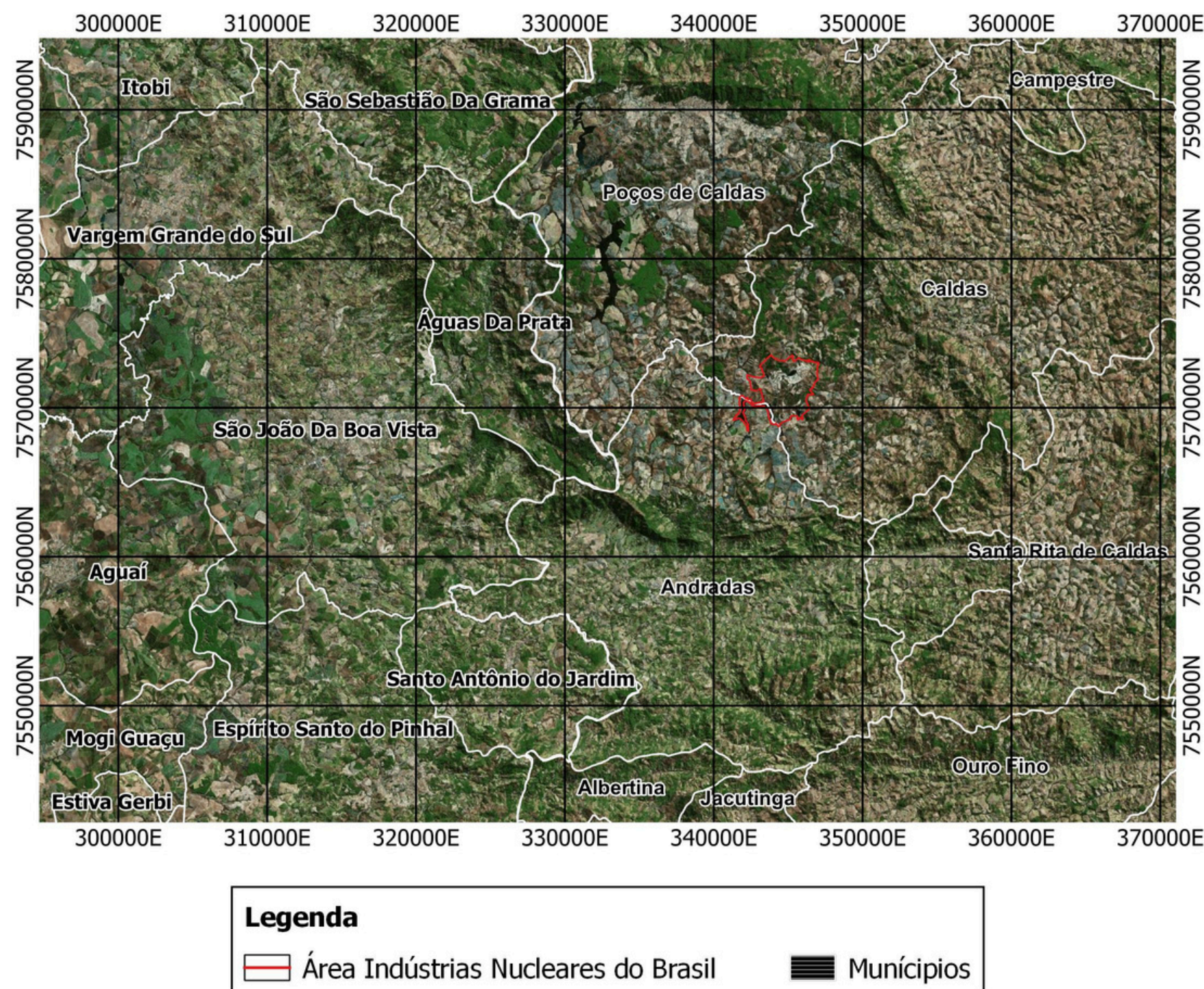
Mina Osamu Utsumi, Poços de Caldas (MG)



Pertencente à Indústrias Nucleares do Brasil S. A.

Inserida na região conhecida como Planalto de Poços de Caldas, localizado no sudoeste do Estado de Minas Gerais e está inserida no Complexo Mínero-Industrial de Poços de Caldas – CIPC.

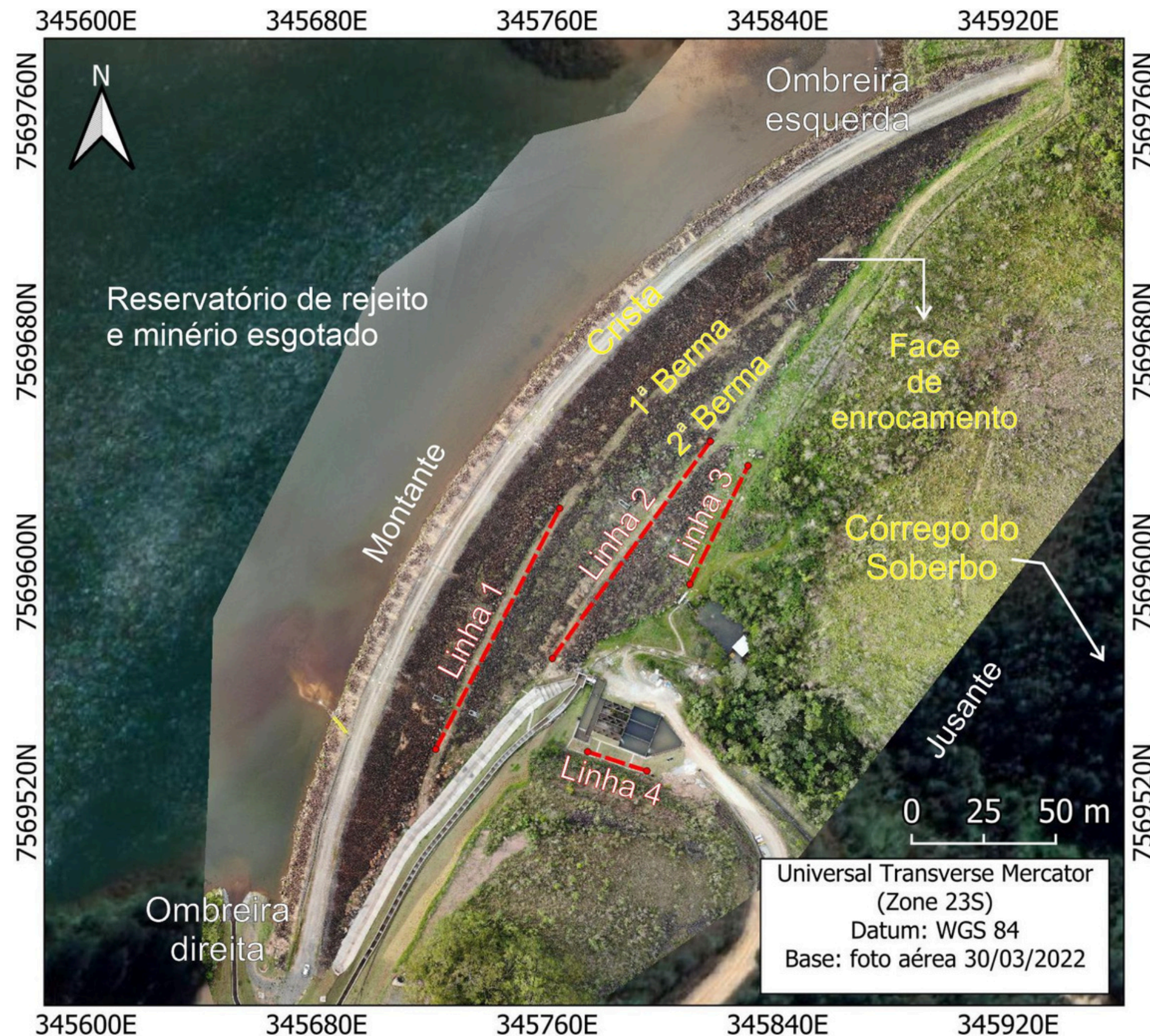
Todo o CIPC/INB ocupa uma área de aproximadamente 15 km².



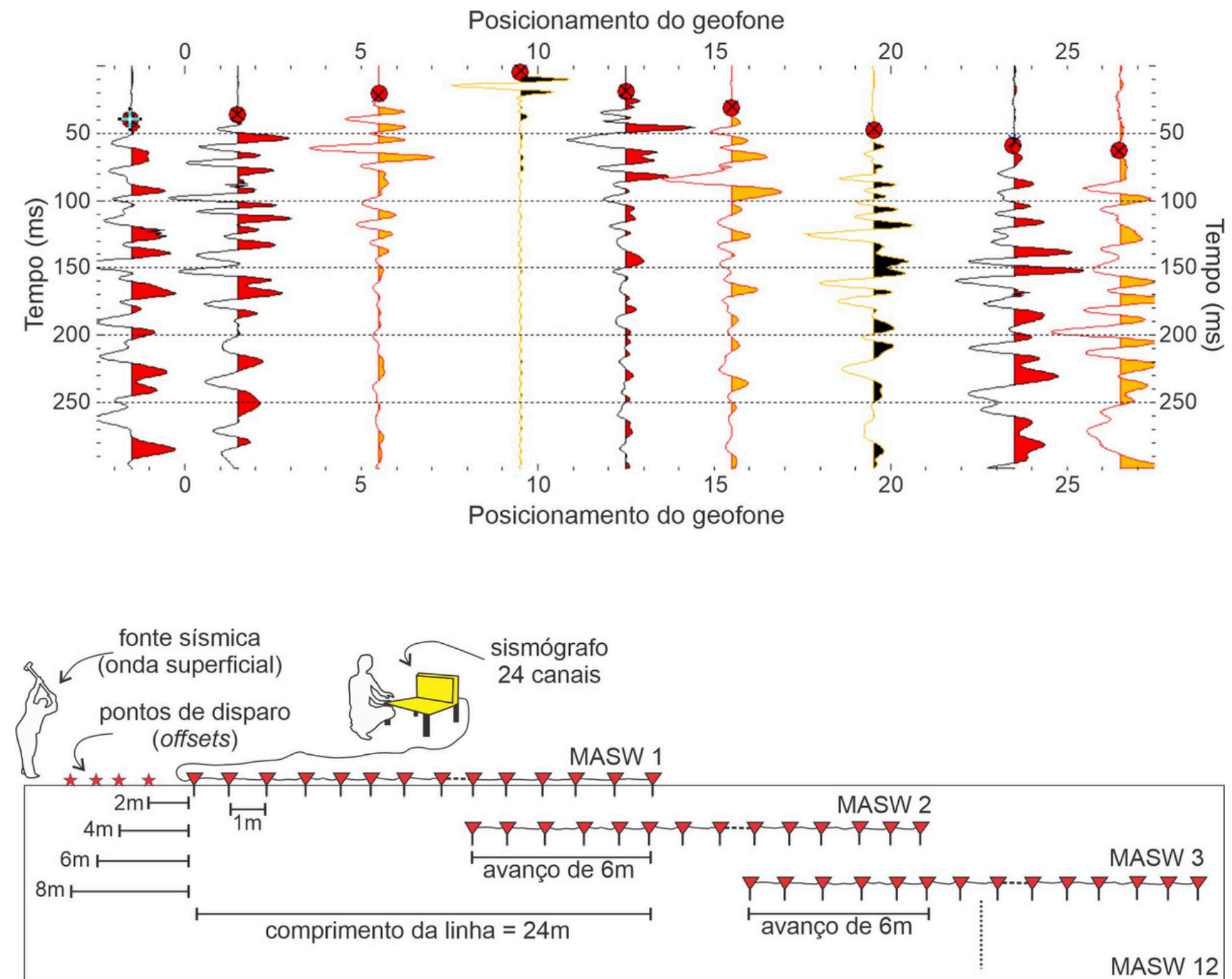
Mina Osamu Utsumi, Poços de Caldas (MG)



Sísmica de refração e MASW



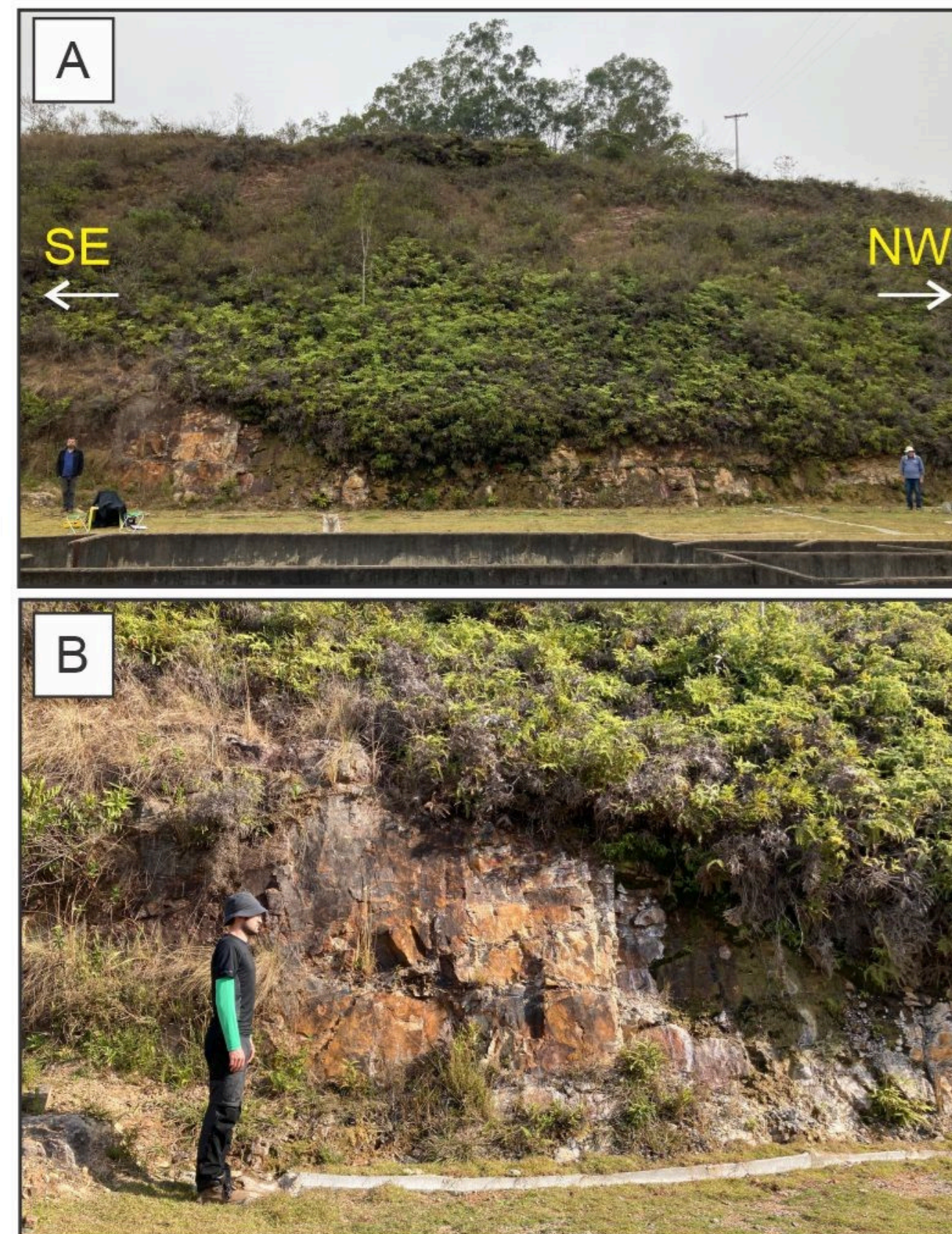
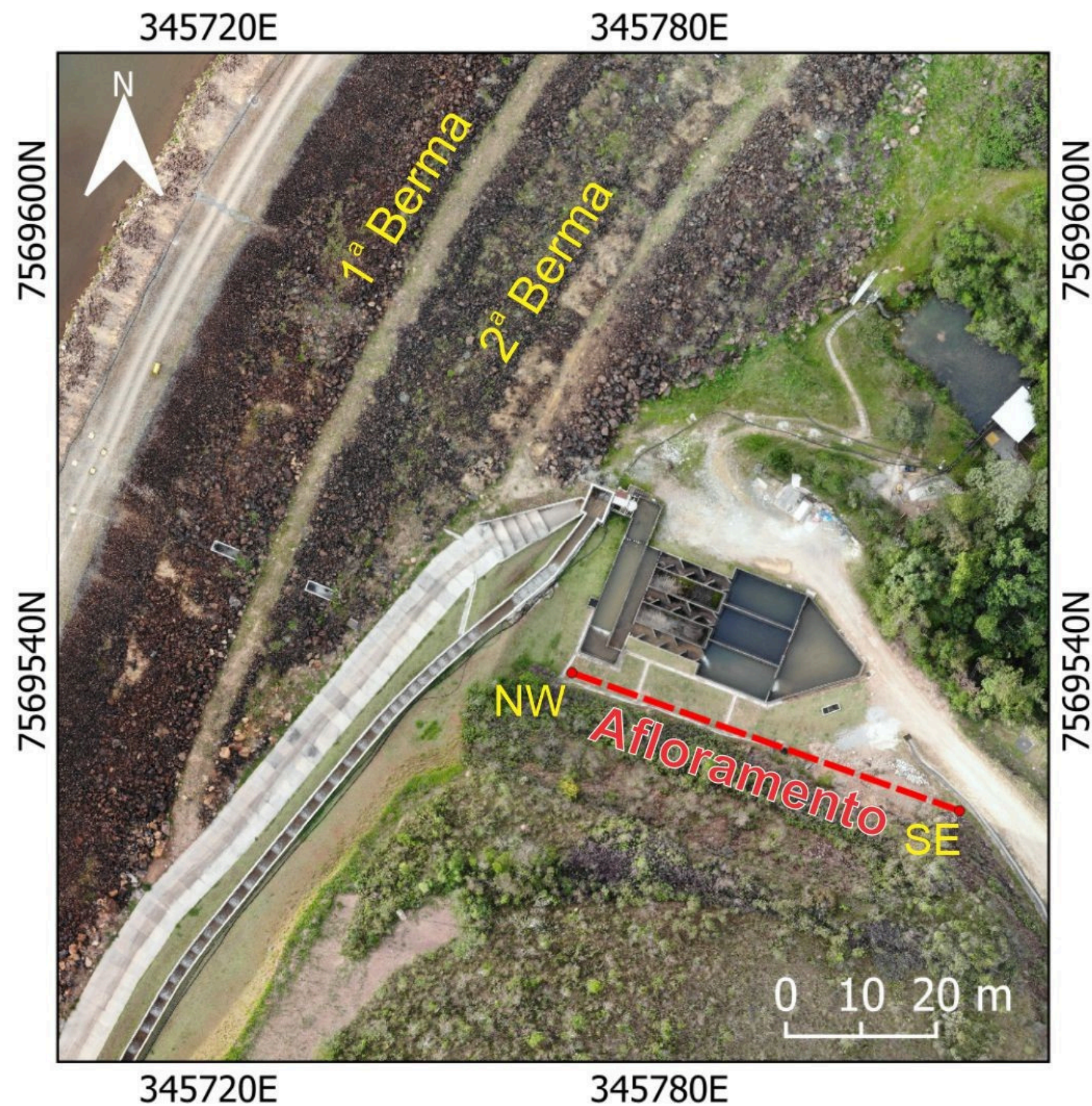
AQUISIÇÕES SÍSMICAS NA BARRAGEM



Aquisições de dados de Sísmica de refração e MASW

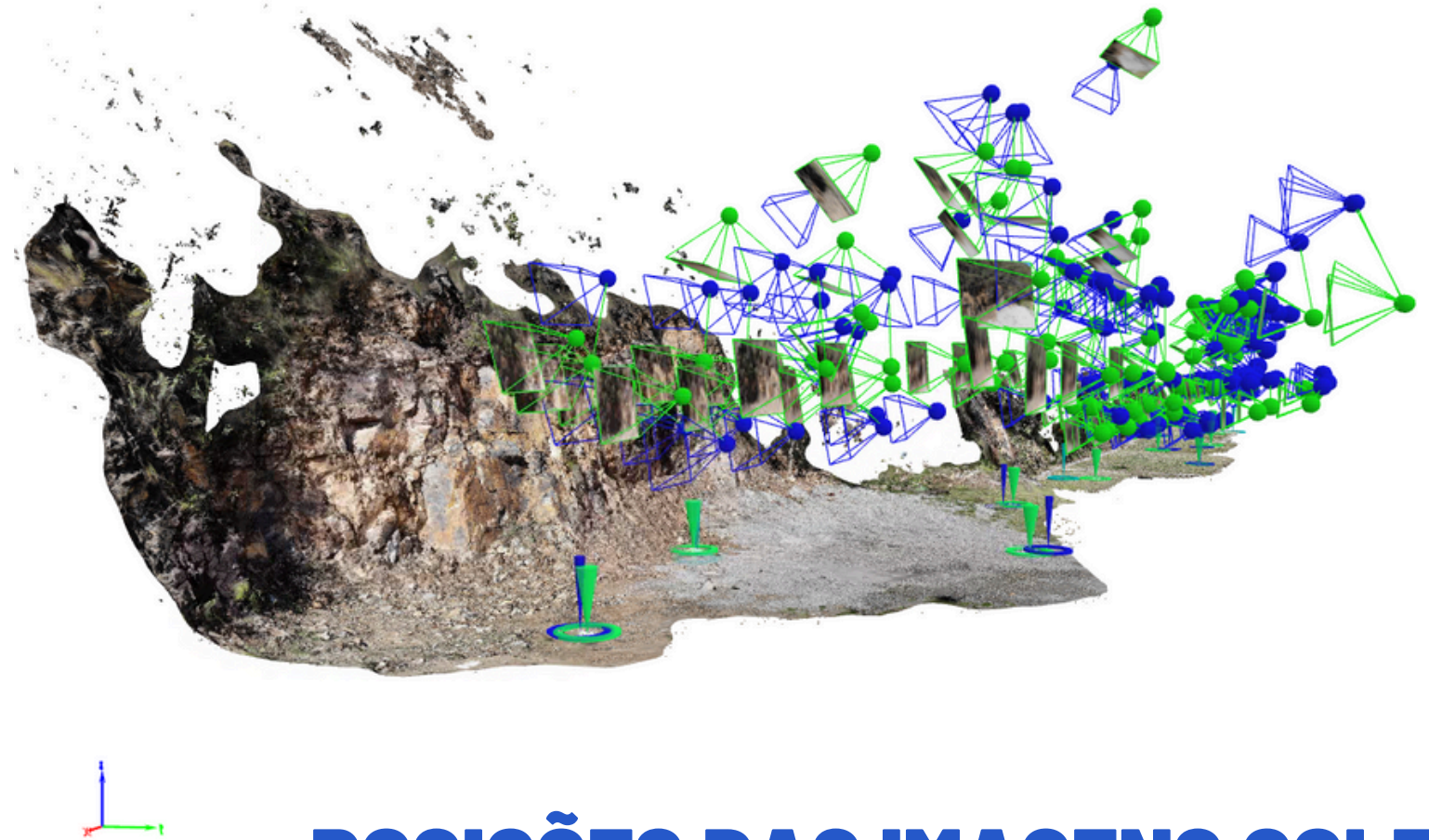
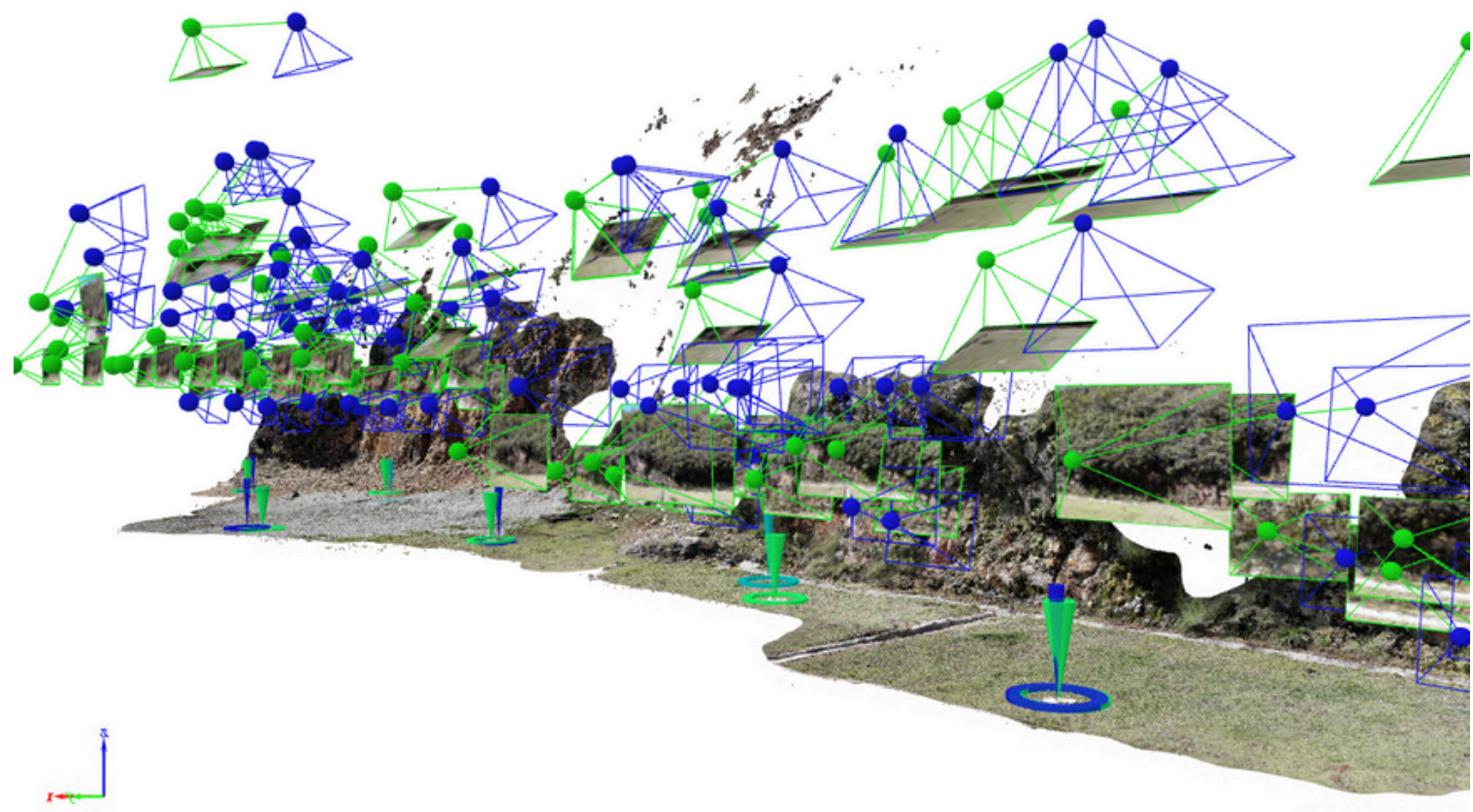


Análise estrutural de maciço rochoso

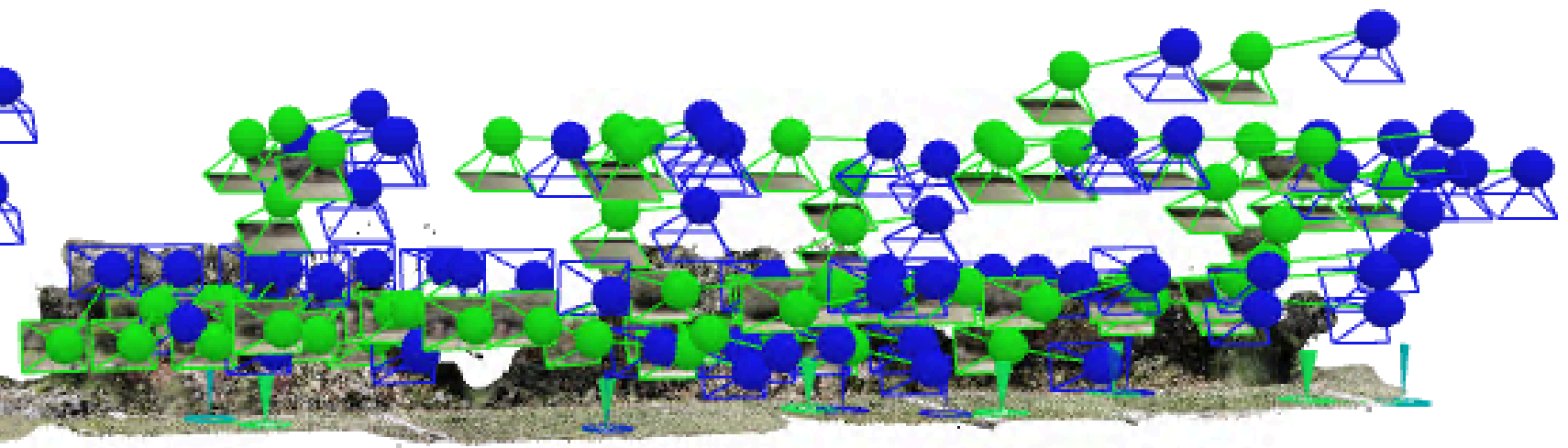
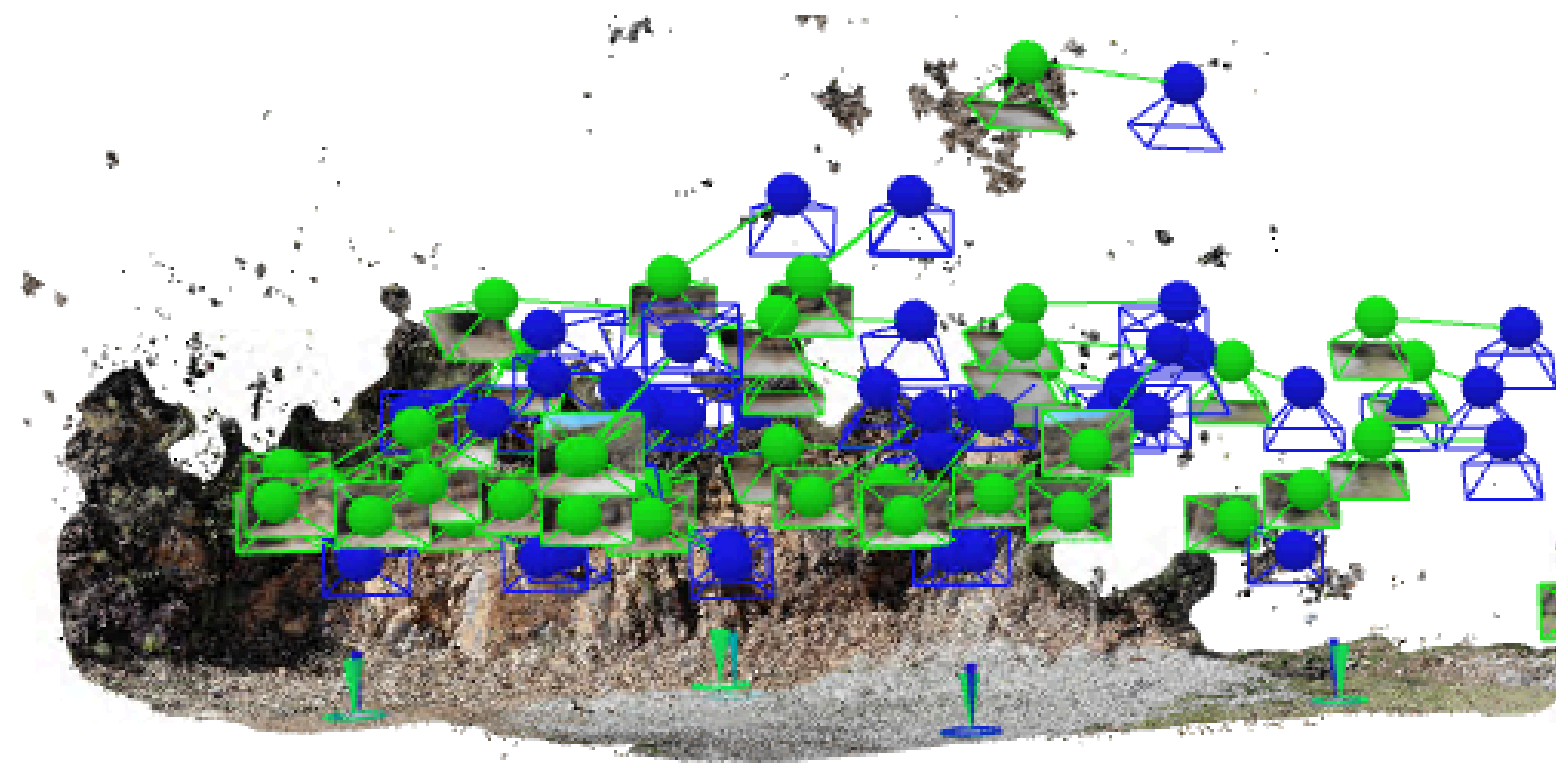


Fonte: Guireli Netto et al., 2023.

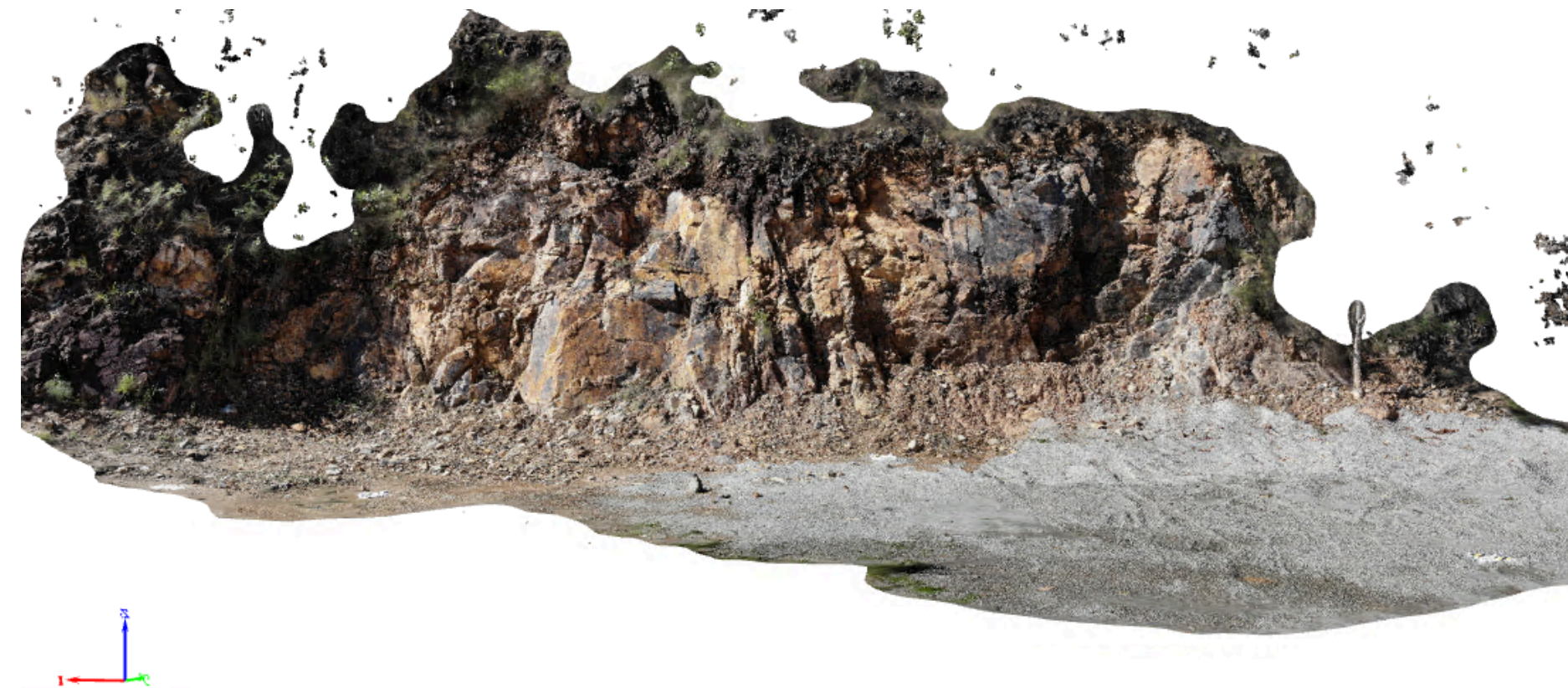
Análise estrutural de maciço rochoso por fotogrametria



**POSIÇÕES DAS IMAGENS COLETADAS
DURANTE O VOO DE VANT**



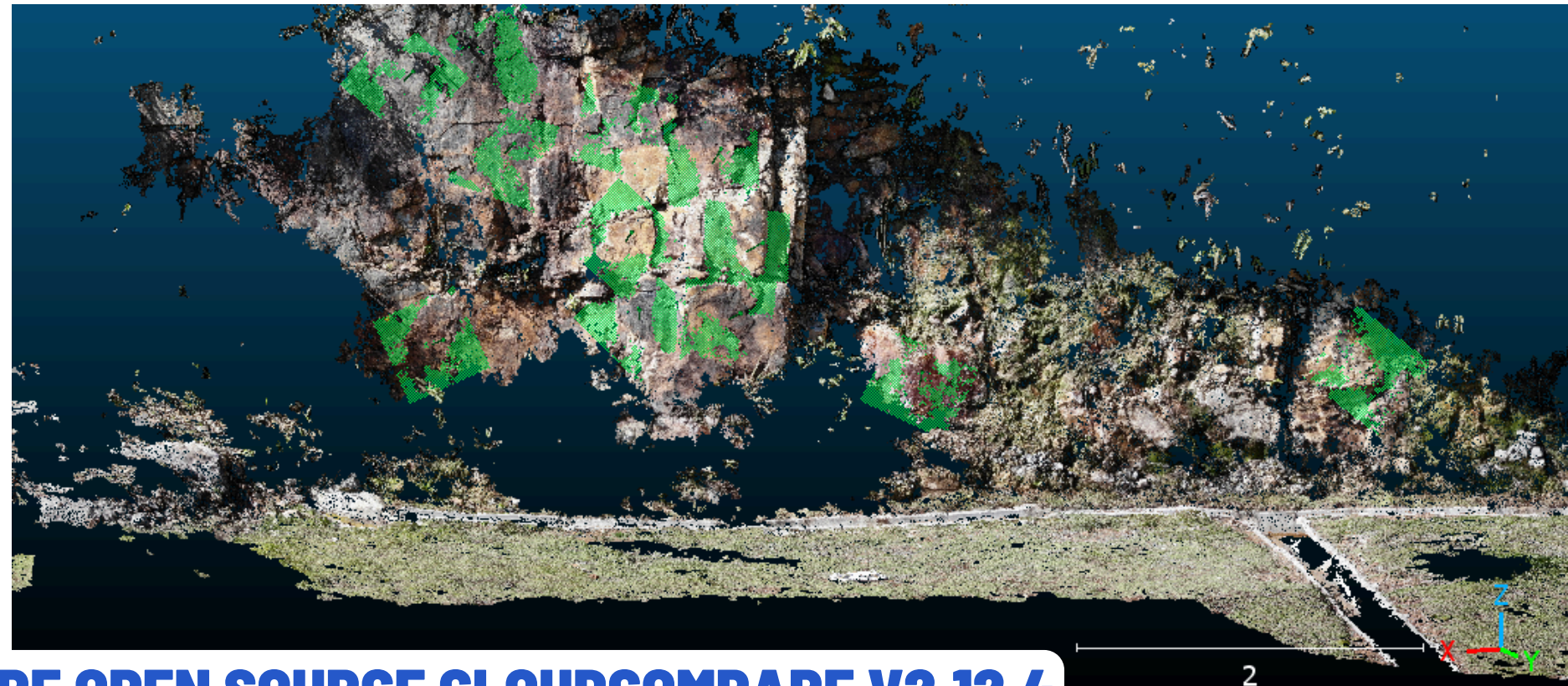
Análise estrutural de maciço rochoso por fotogrametria



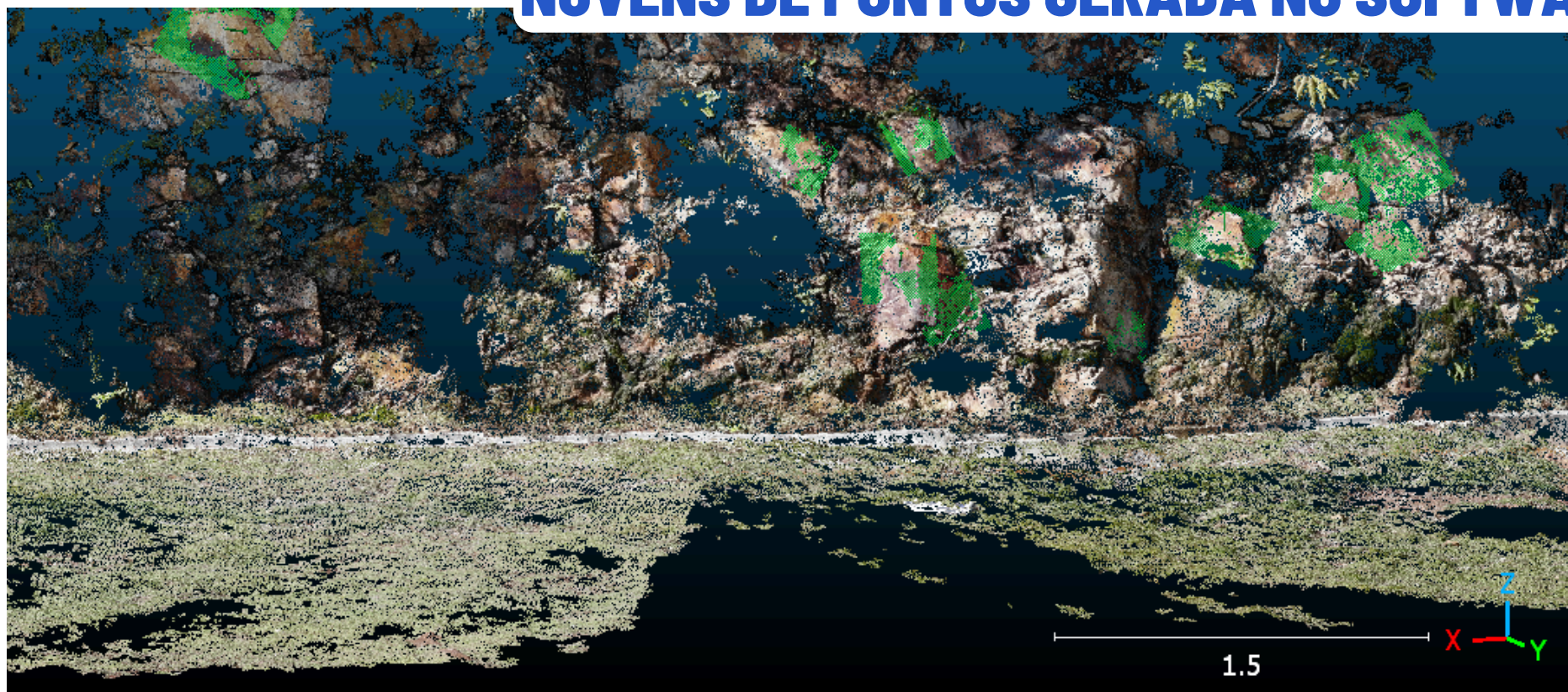
DIGITAL OUTCROP MODEL OBTIDO A PARTIR DE FOTOGRAMETRIA DIGITAL



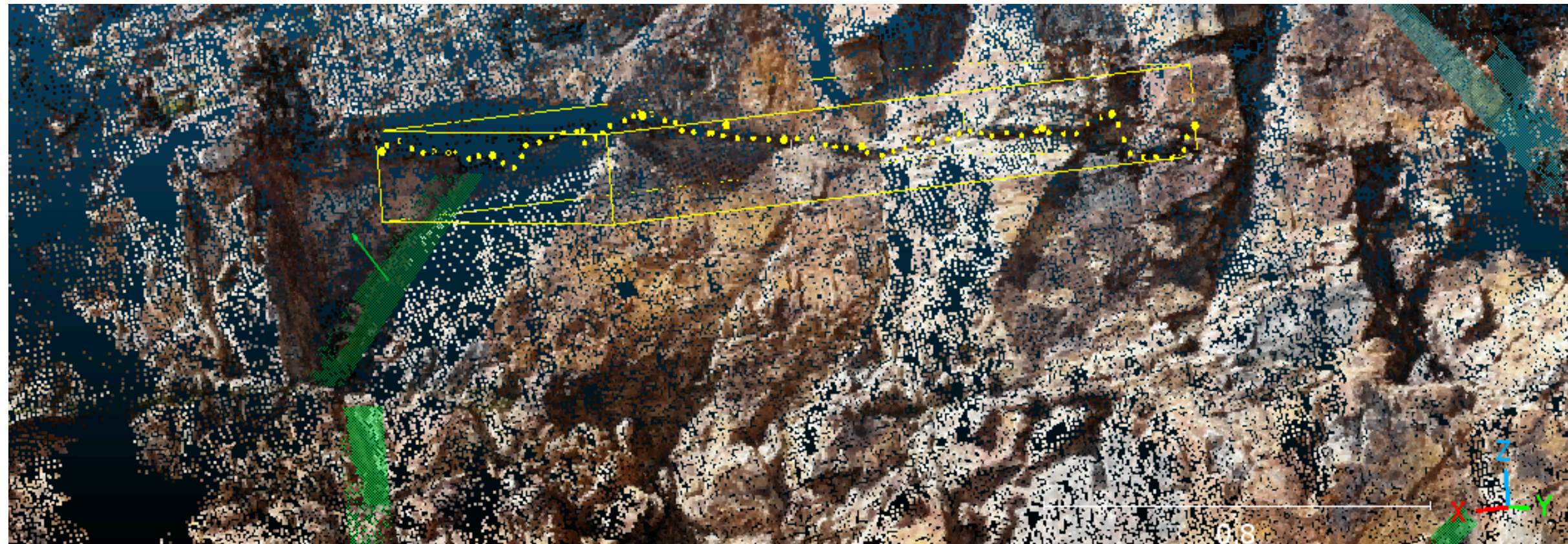
Análise estrutural de maciço rochoso por fotogrametria



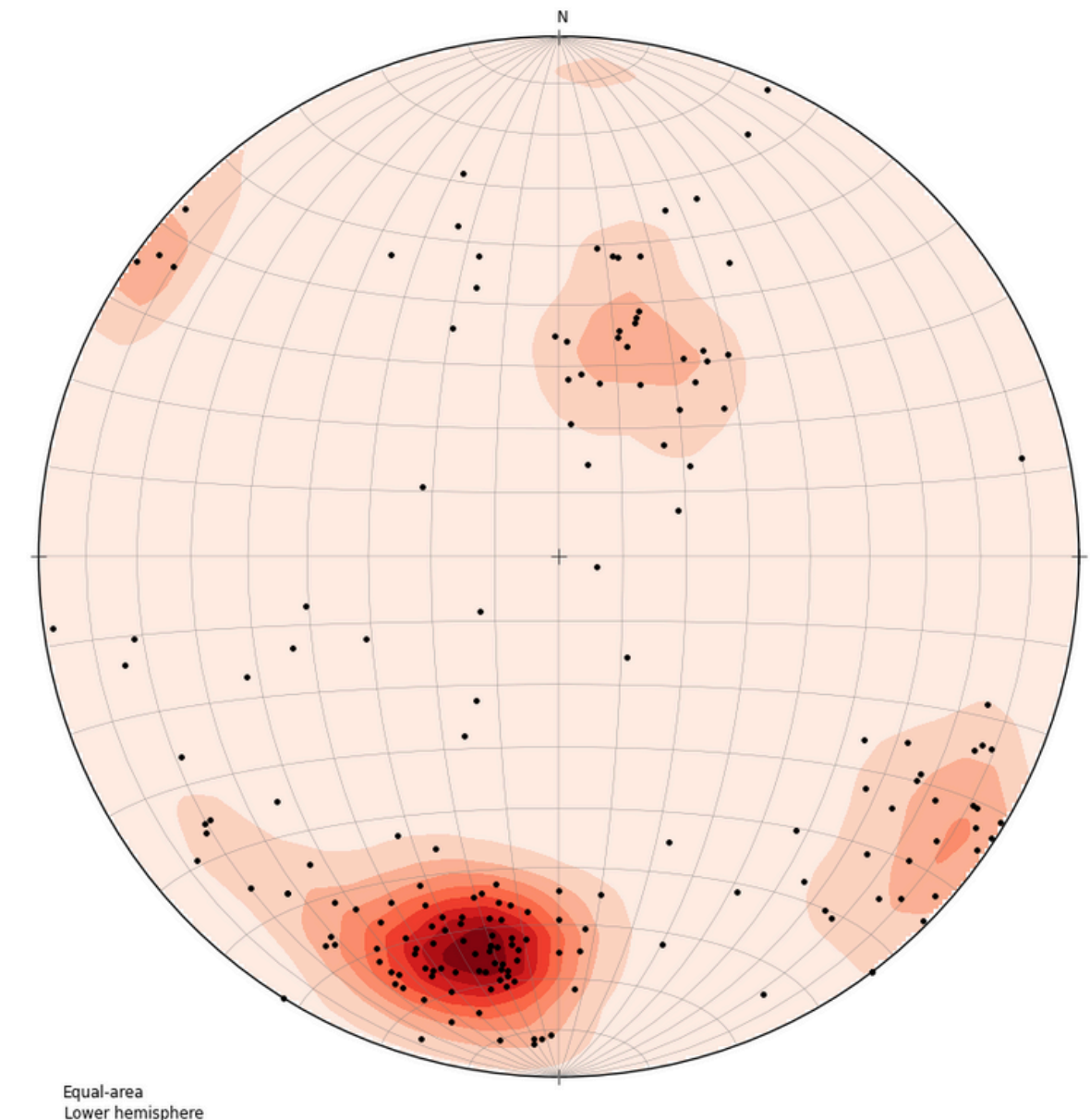
NUVENS DE PONTOS GERADA NO SOFTWARE OPEN SOURCE CLOUDCOMPARE V2.12.4



Análise estrutural de maciço rochoso por fotogrametria

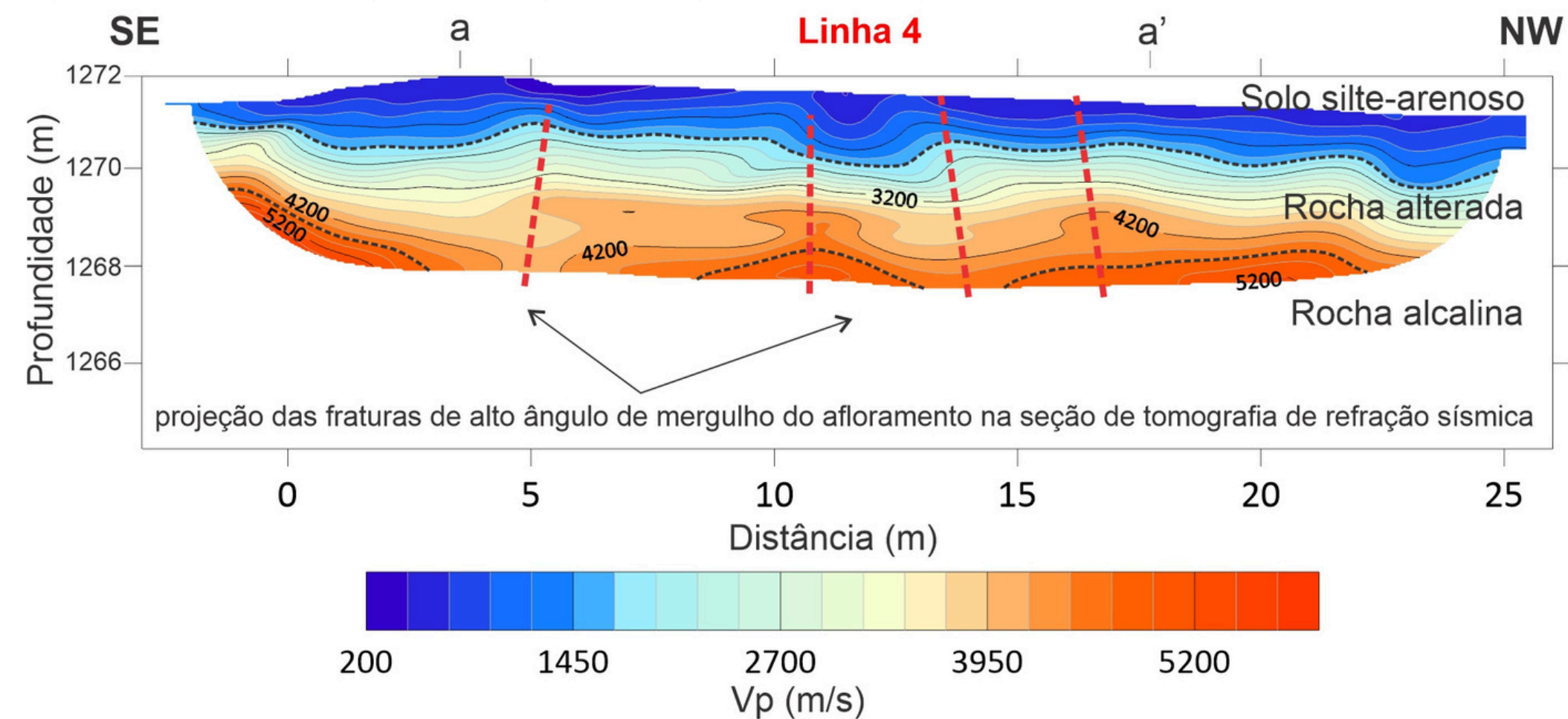
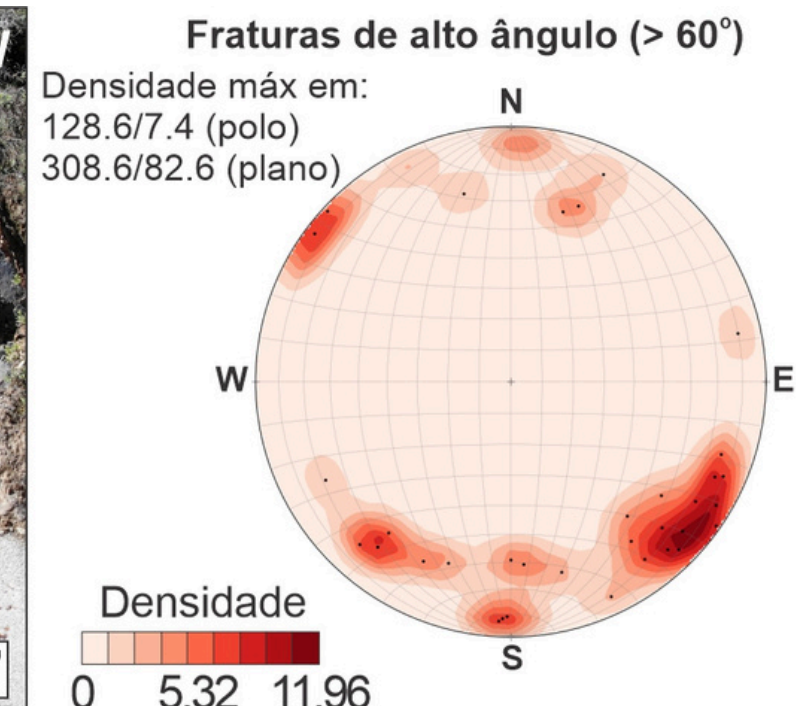


PROJEÇÕES ESTEREOGRÁFICA E TRIDIMENSIONAL DE ELEMENTOS PLANARES

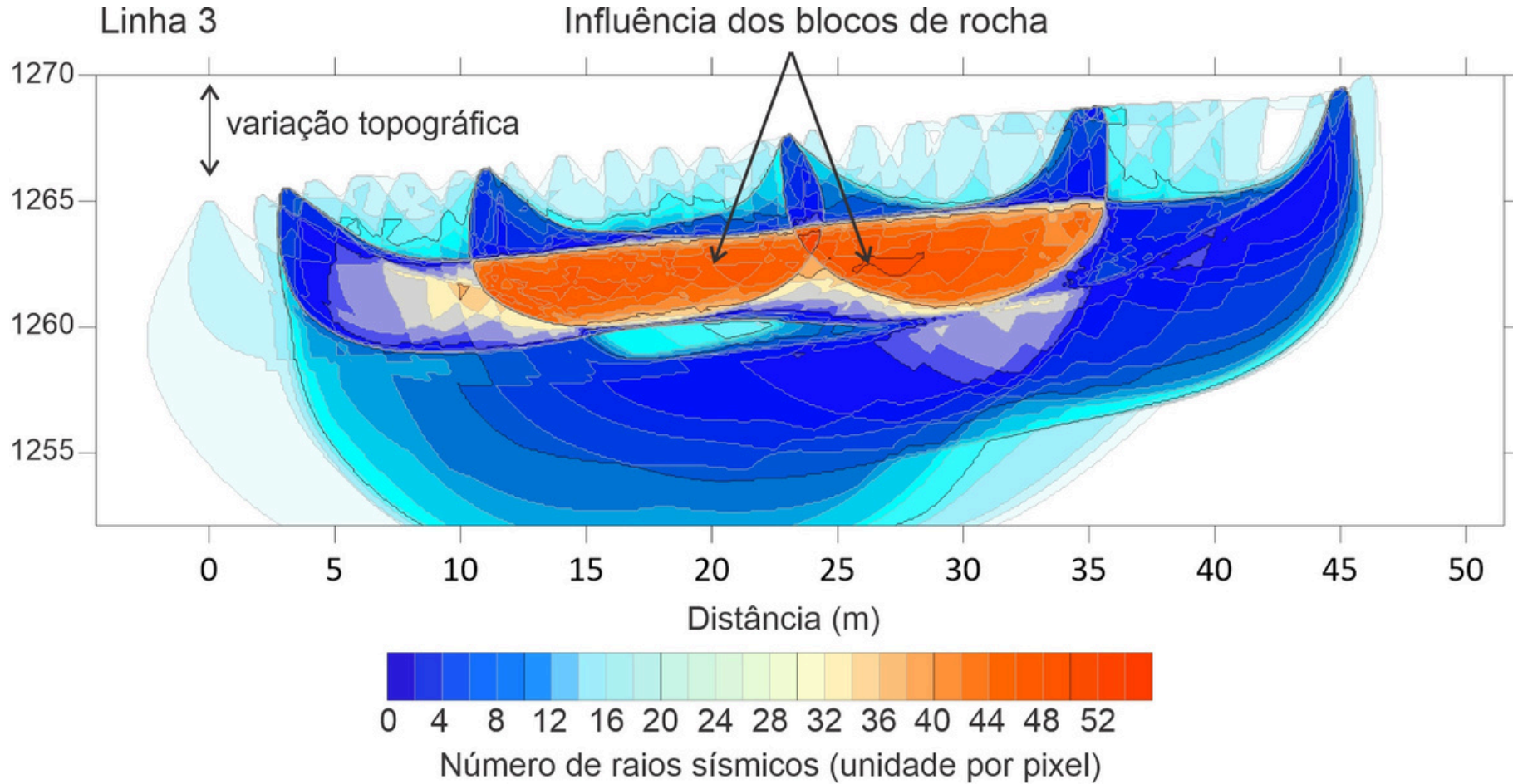
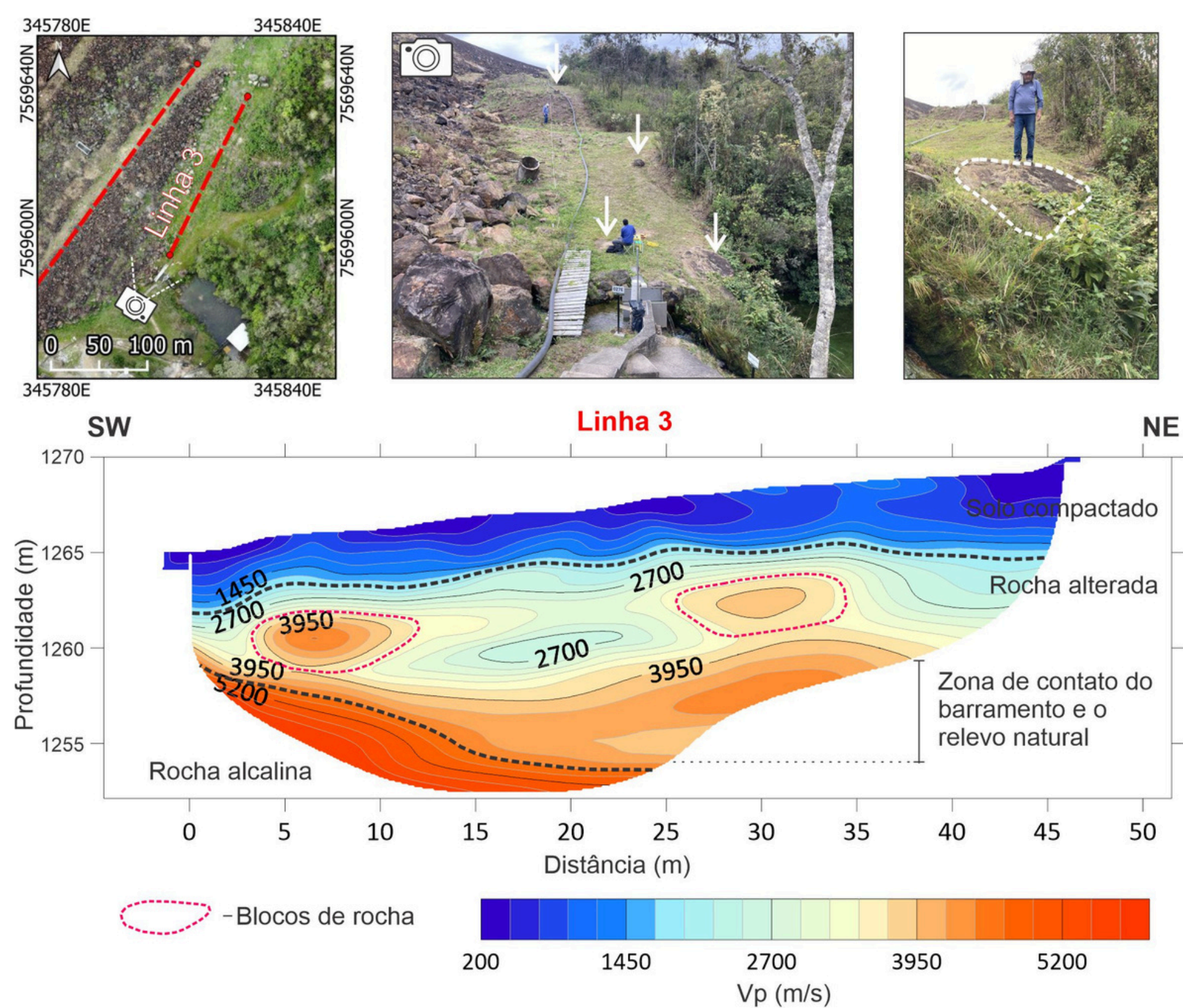


Fonte: Guireli Netto, 2024.

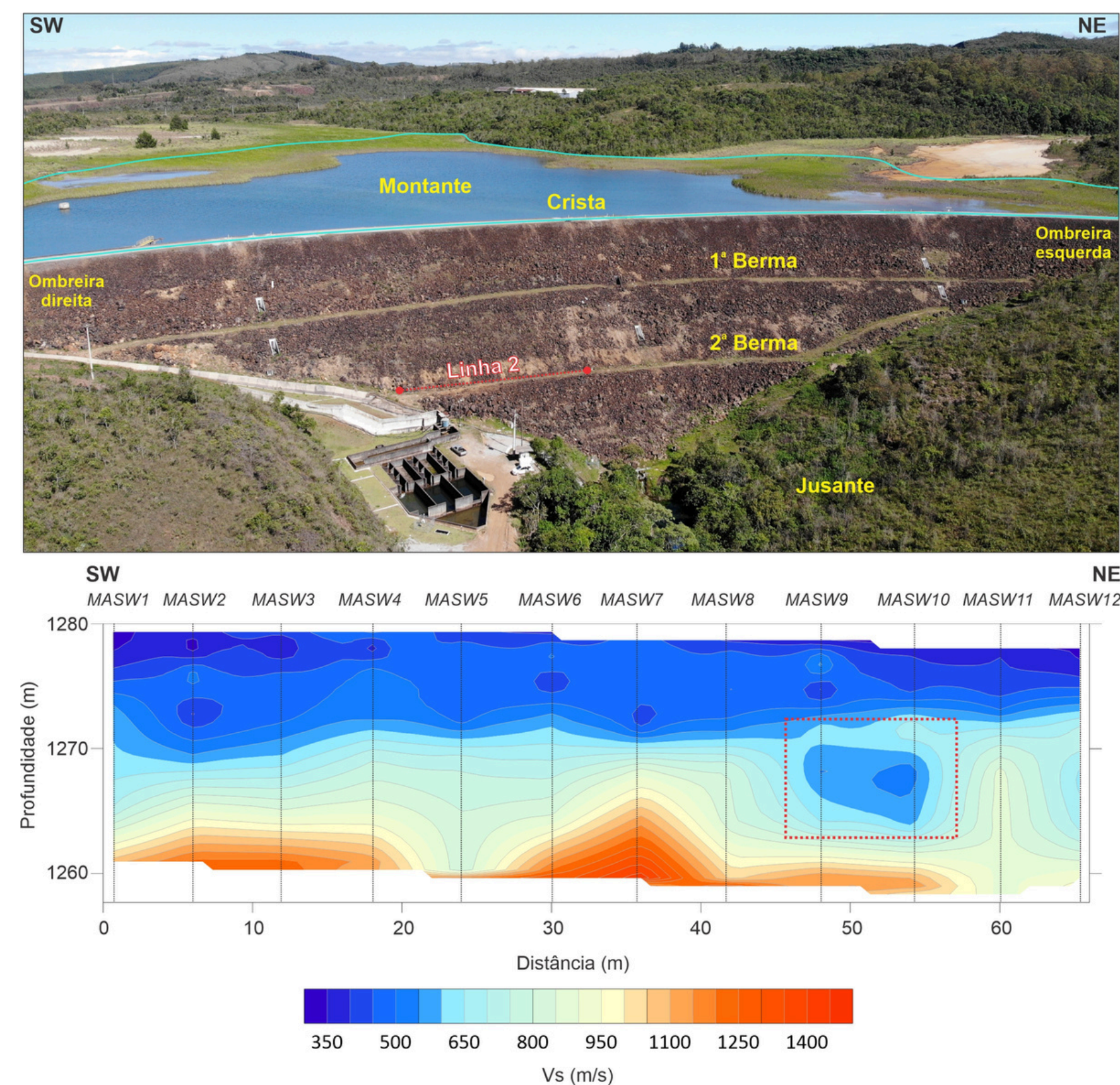
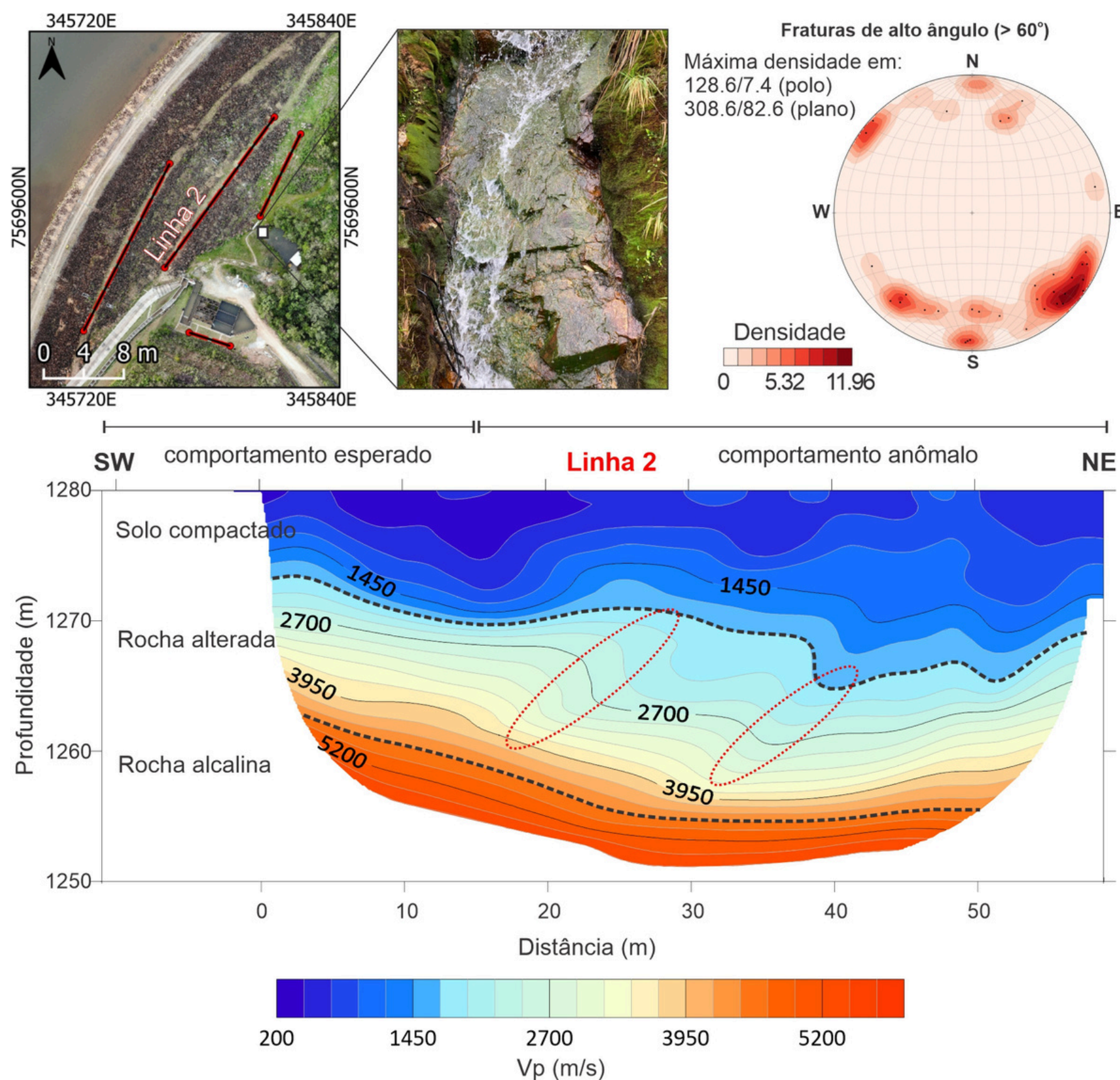
Mina Osamu Utsumi, Poços de Caldas (MG)



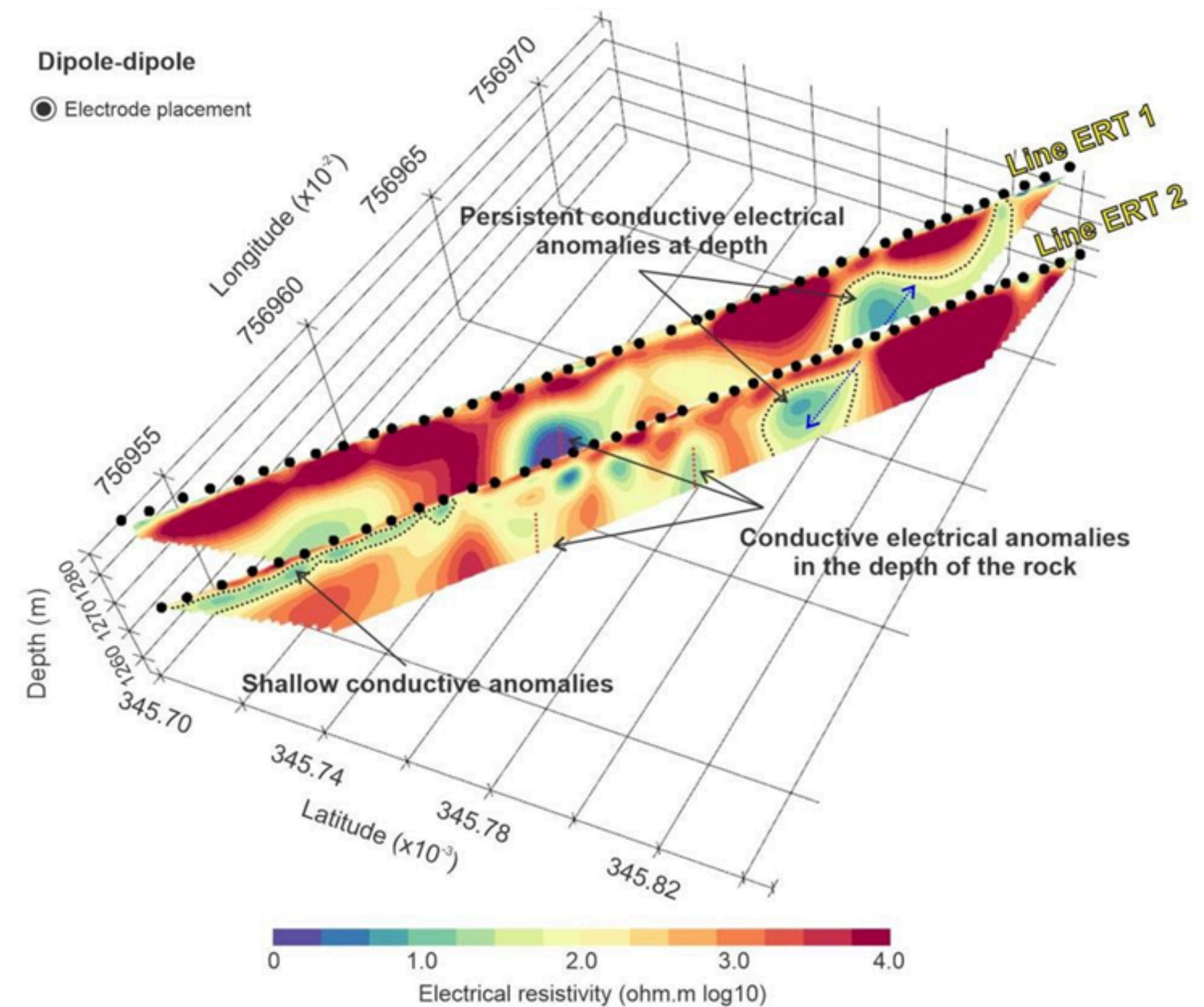
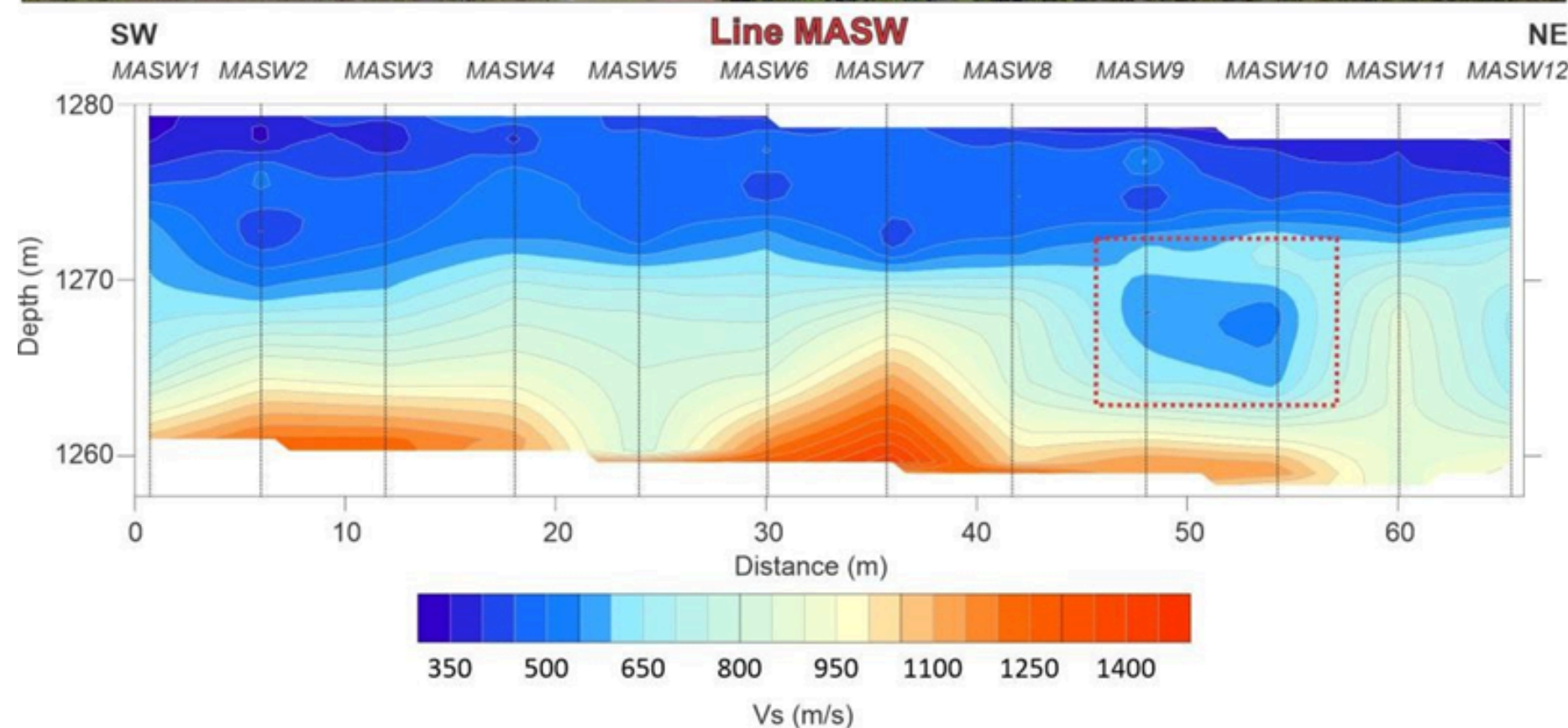
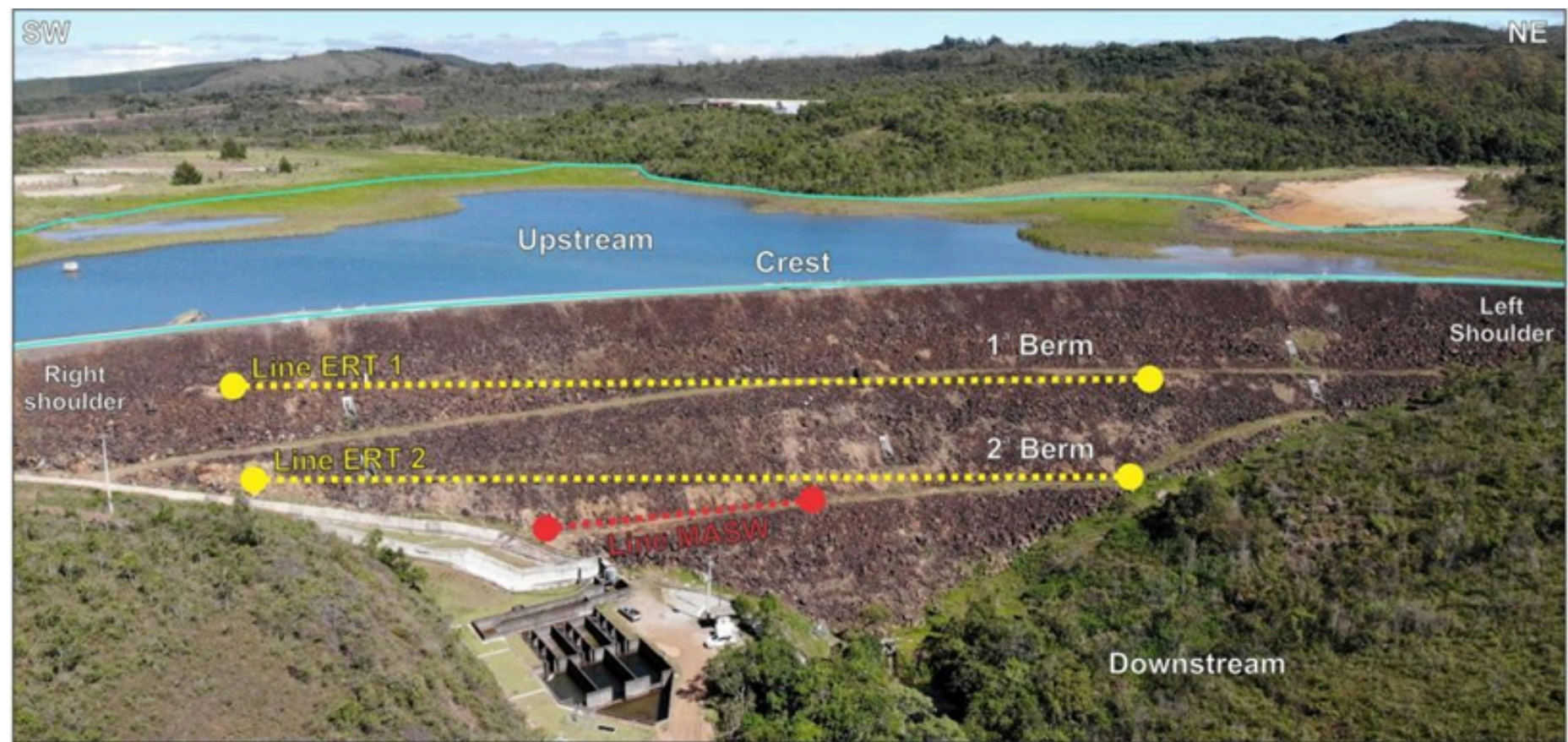
Mina Osamu Utsumi, Poços de Caldas (MG)



Mina Osamu Utsumi, Poços de Caldas (MG)



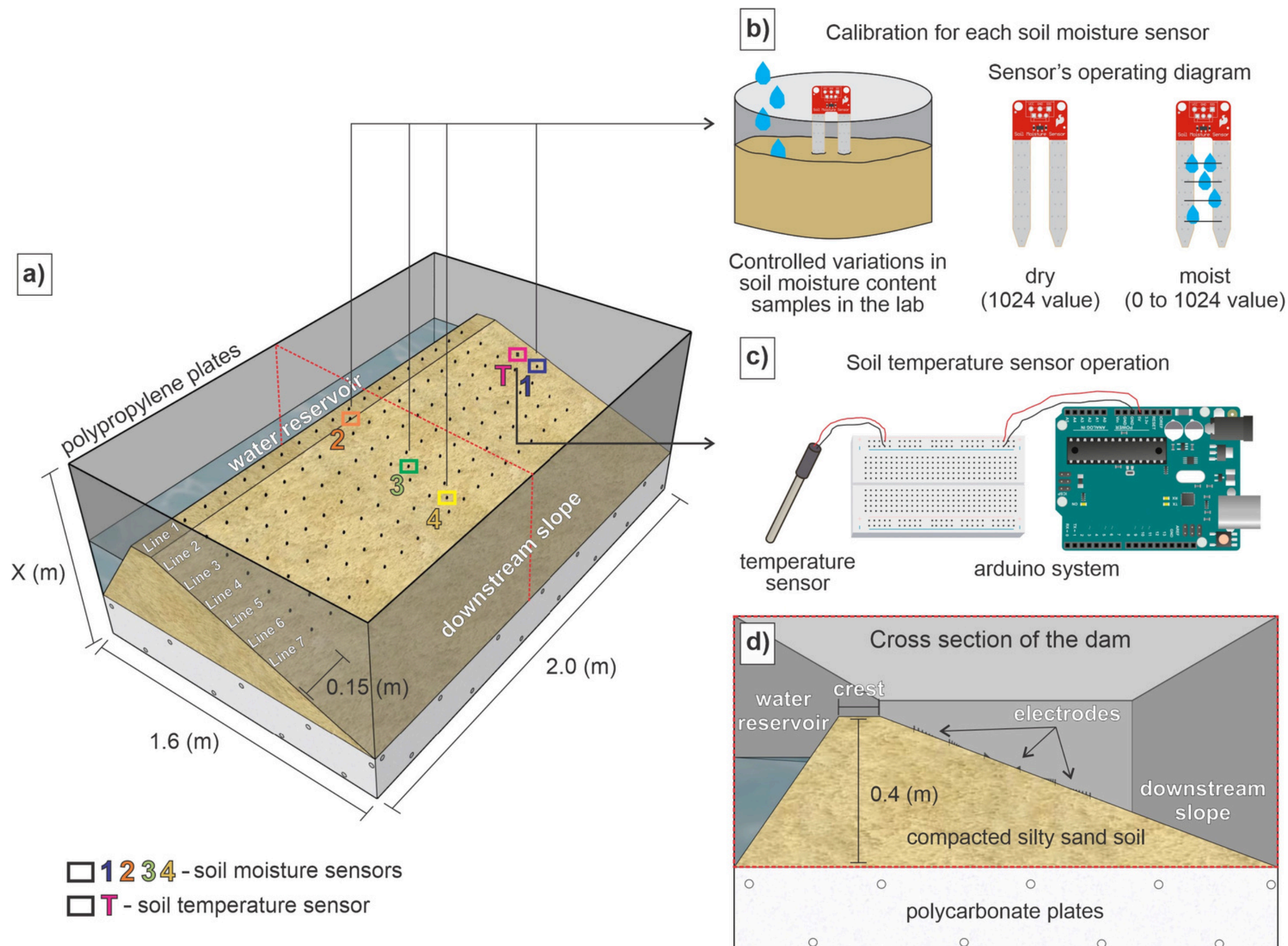
Mina Osamu Utsumi, Poços de Caldas (MG)



Fonte: under review in Journal of Mining and Environment

Projeto de Capacitação IPT e Intergeo Geofísica Aplicada

Monitoramento geelétrico de barragem de solo compactado para entendimento das alterações físicas do maciço a partir de avaliações geofísicas e sensores hidrogeológicos.

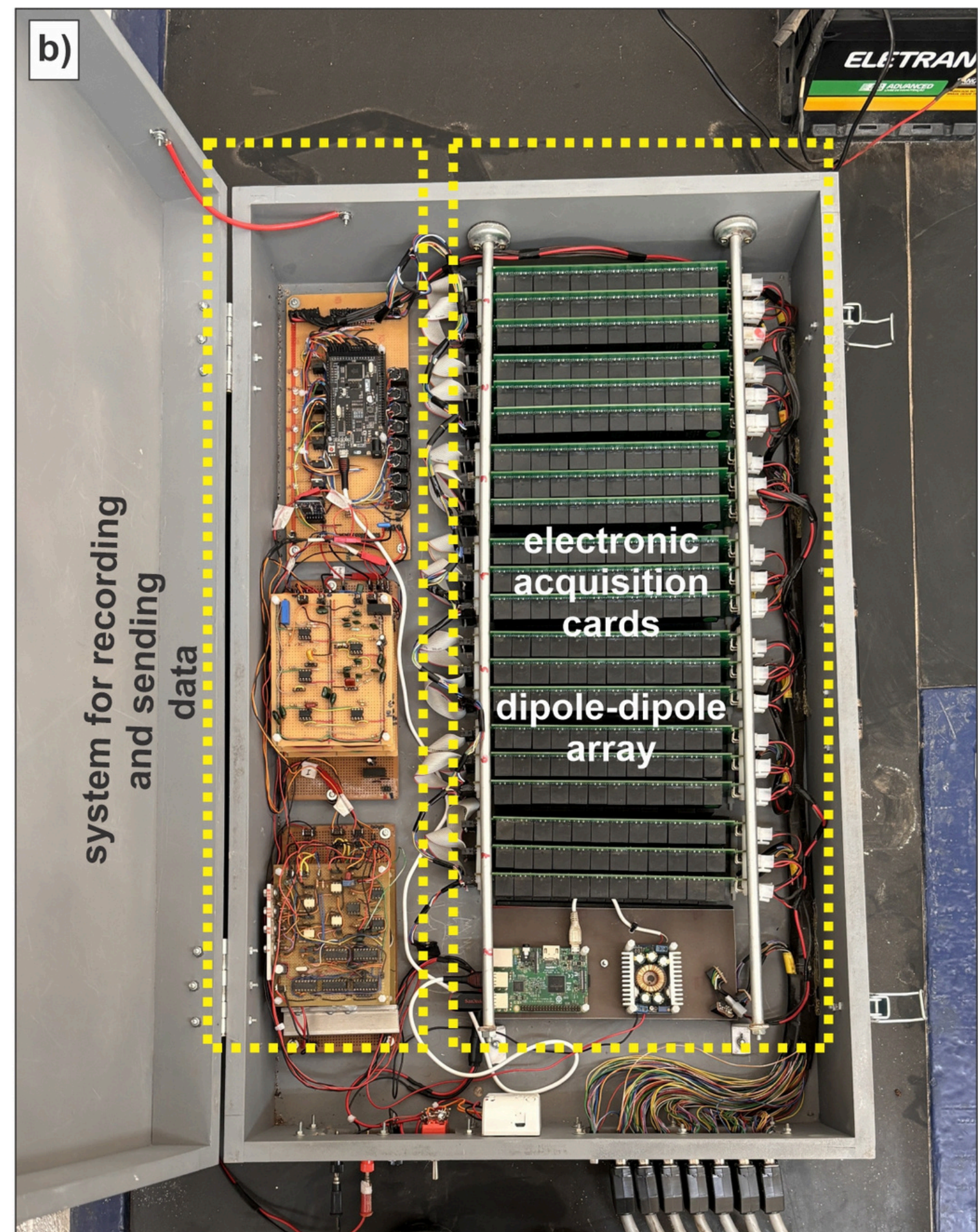


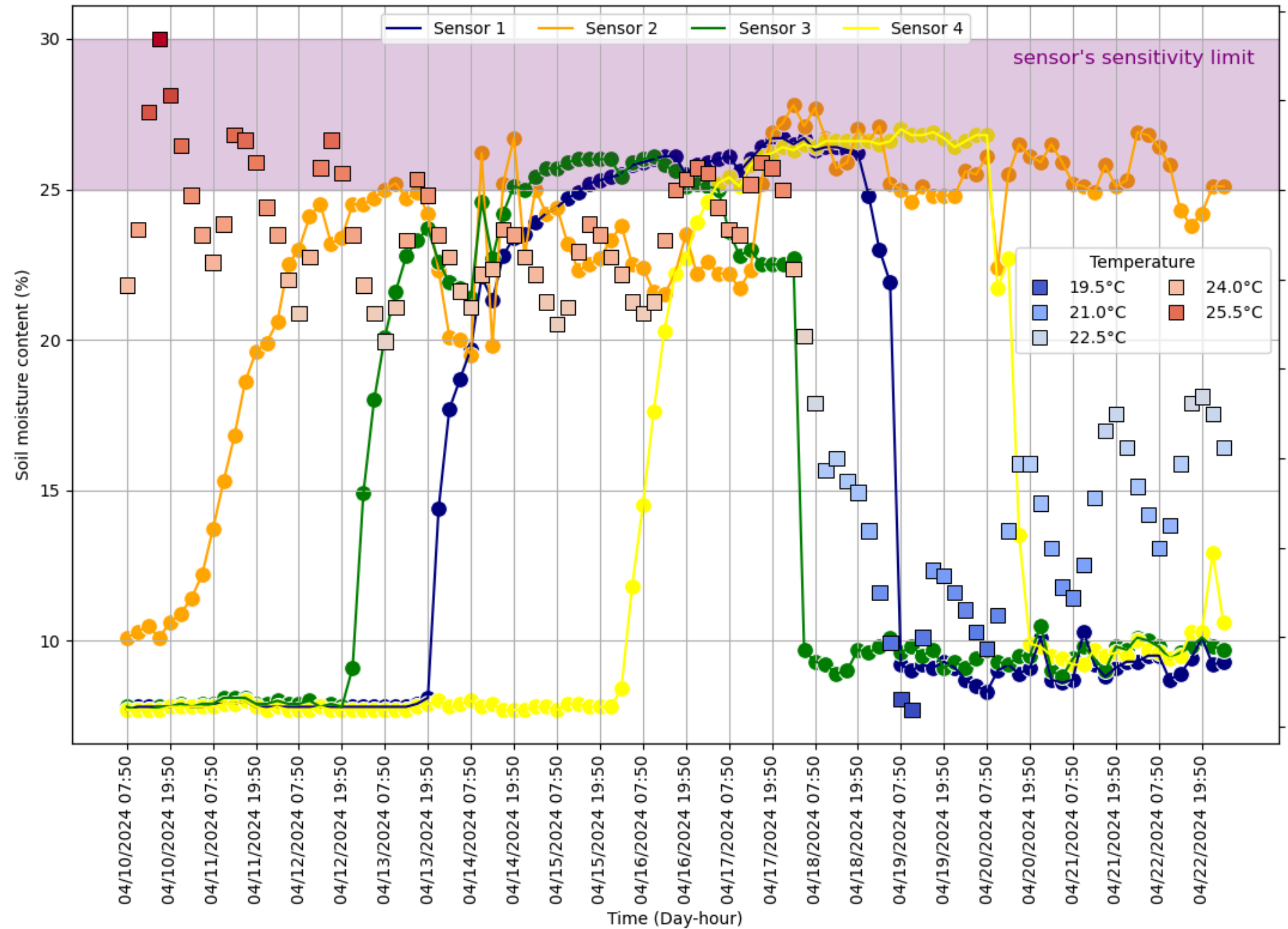
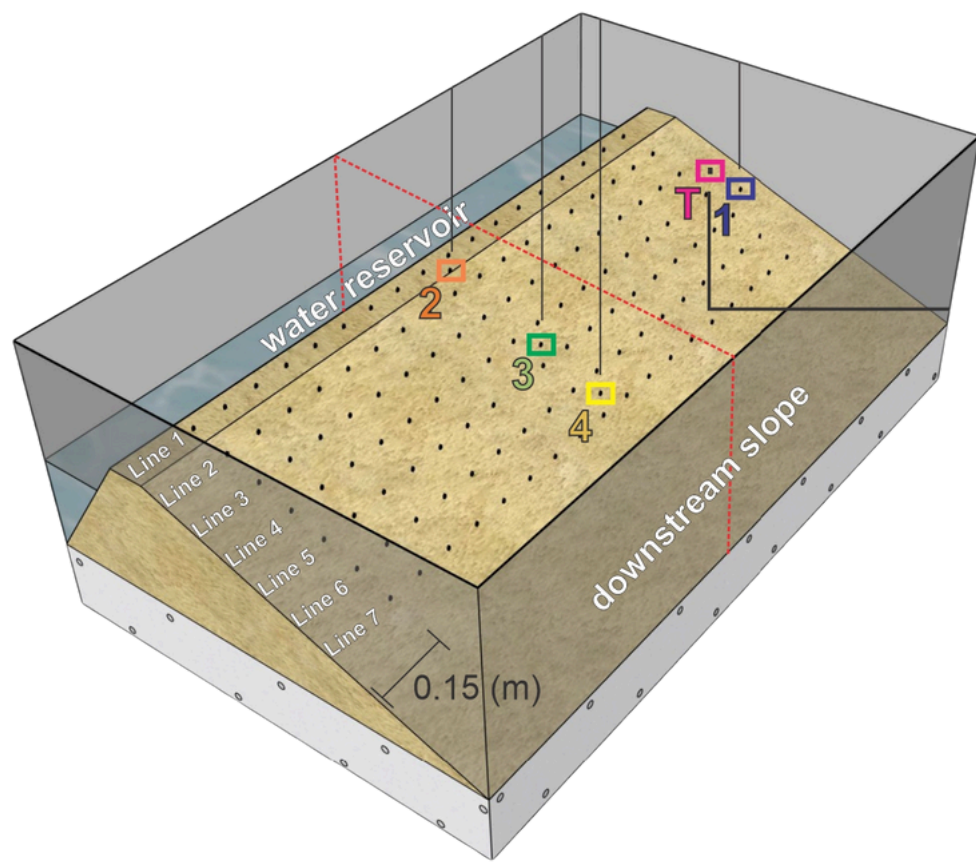


tínhamos uma engenheira civil e um sonho

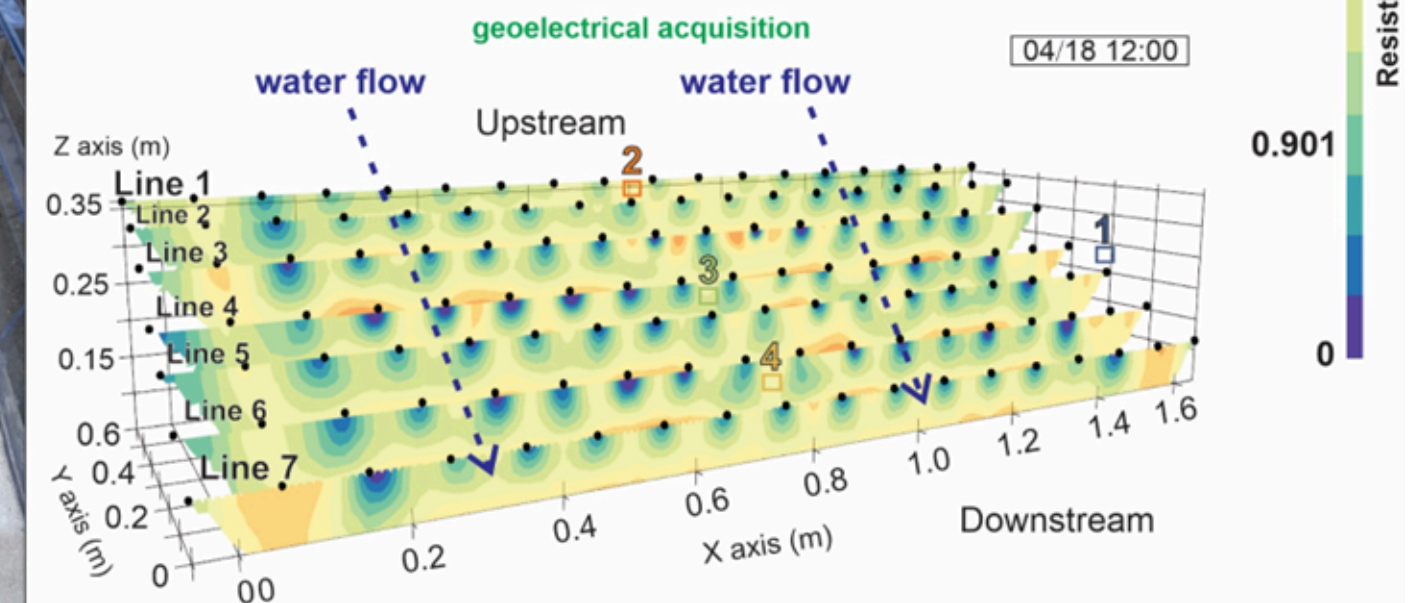
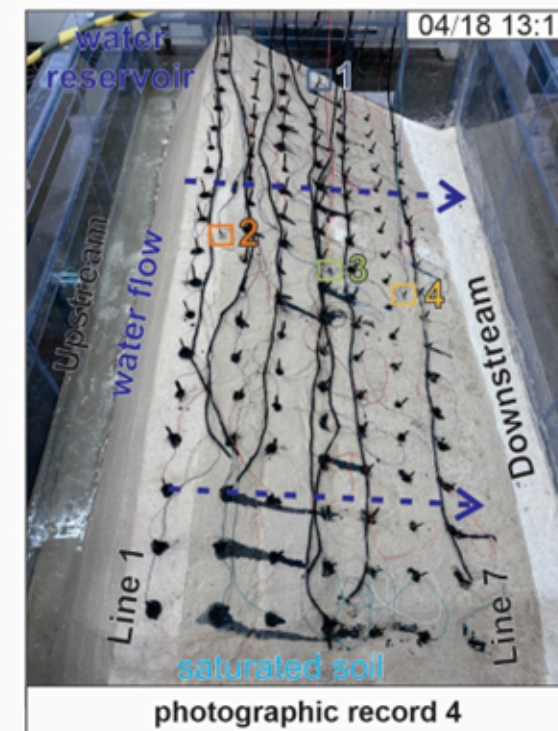
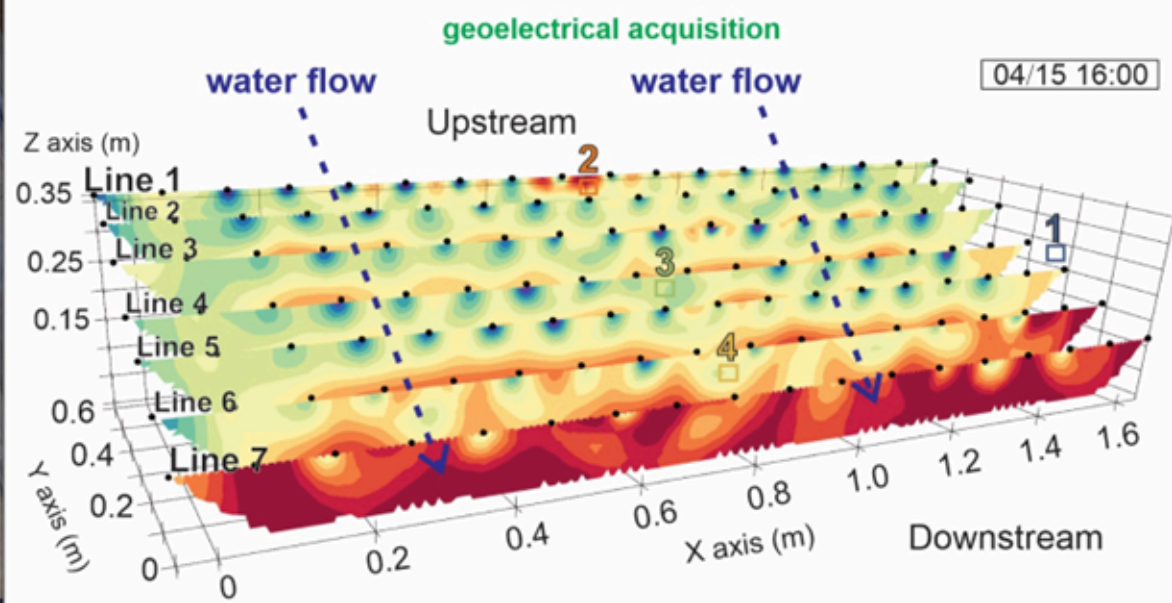
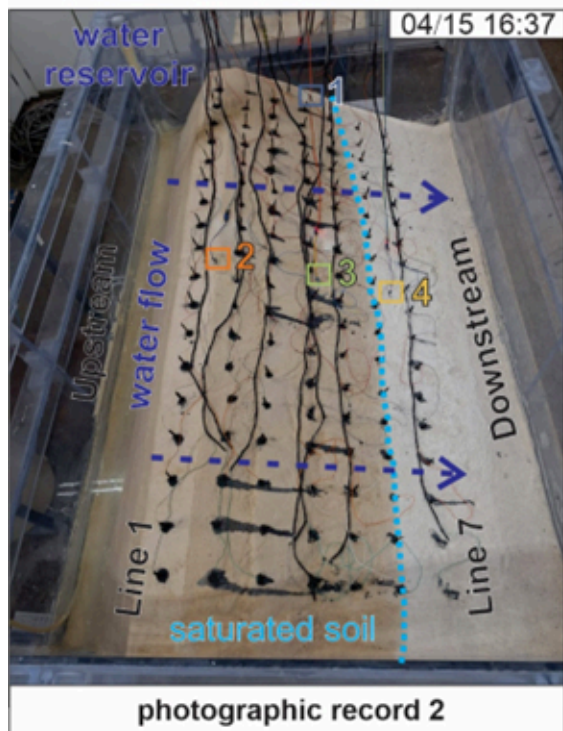
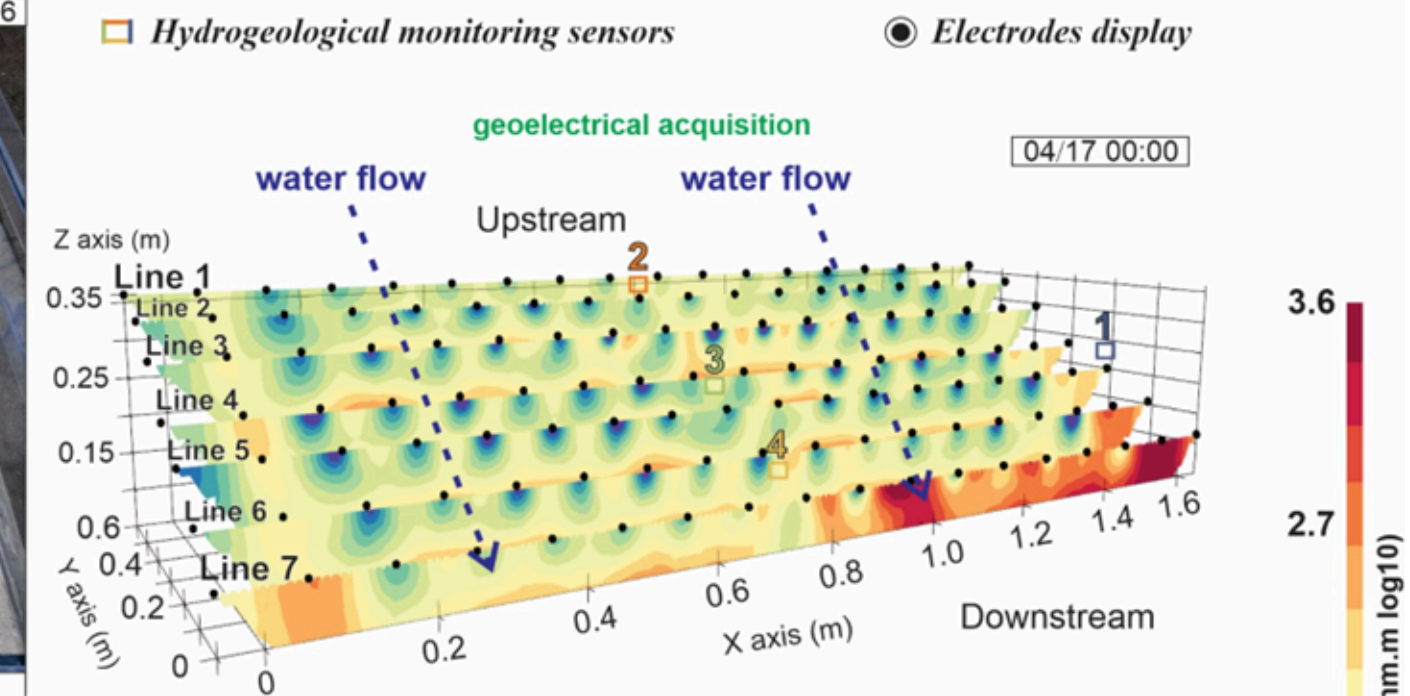
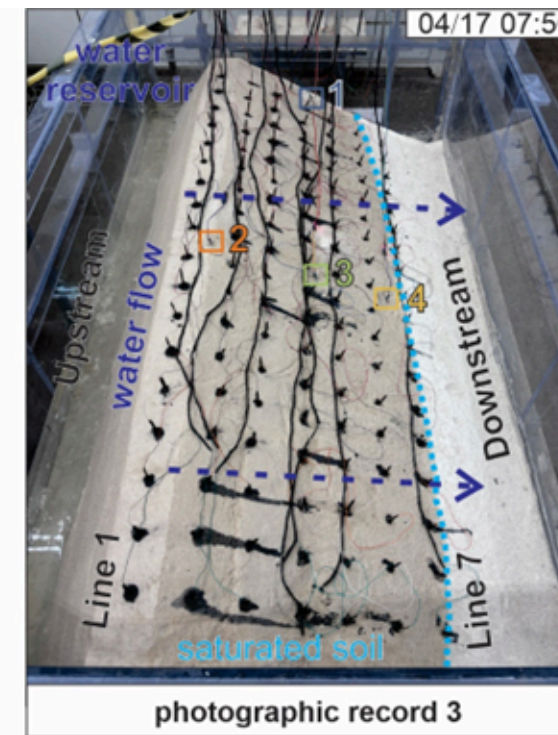
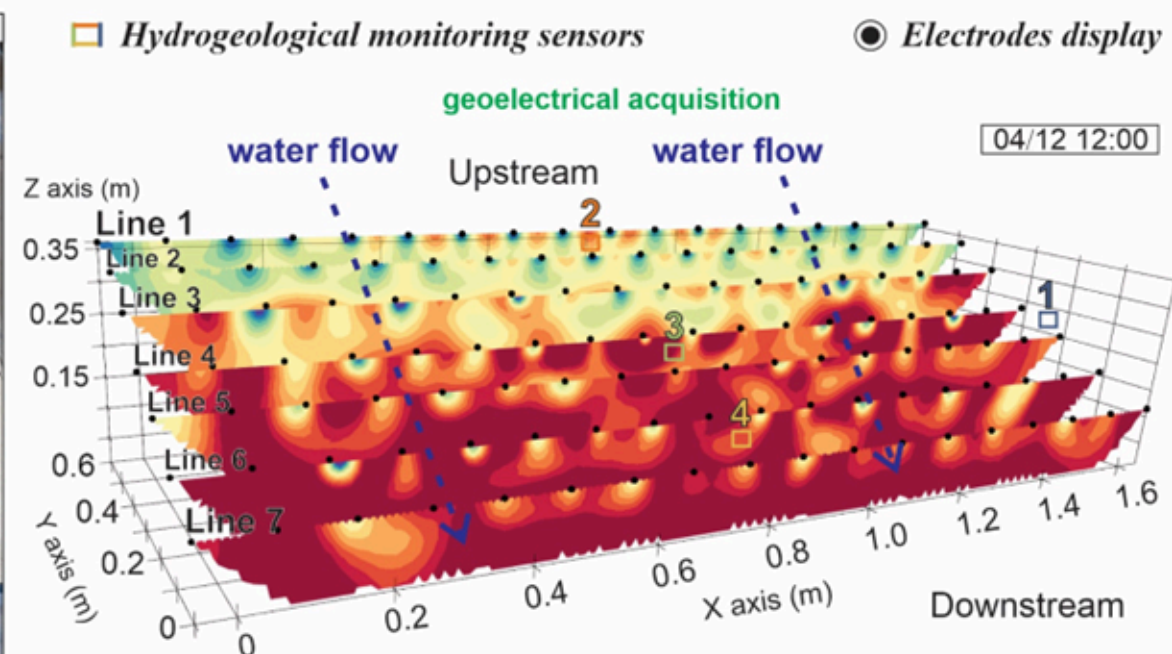
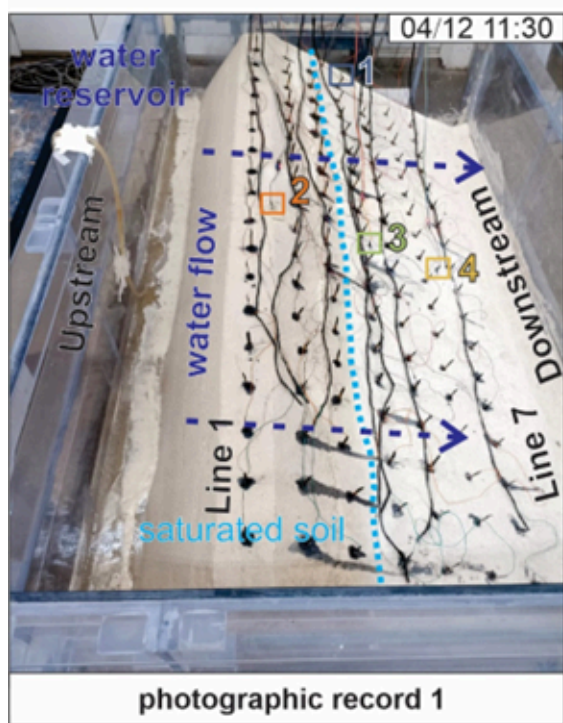






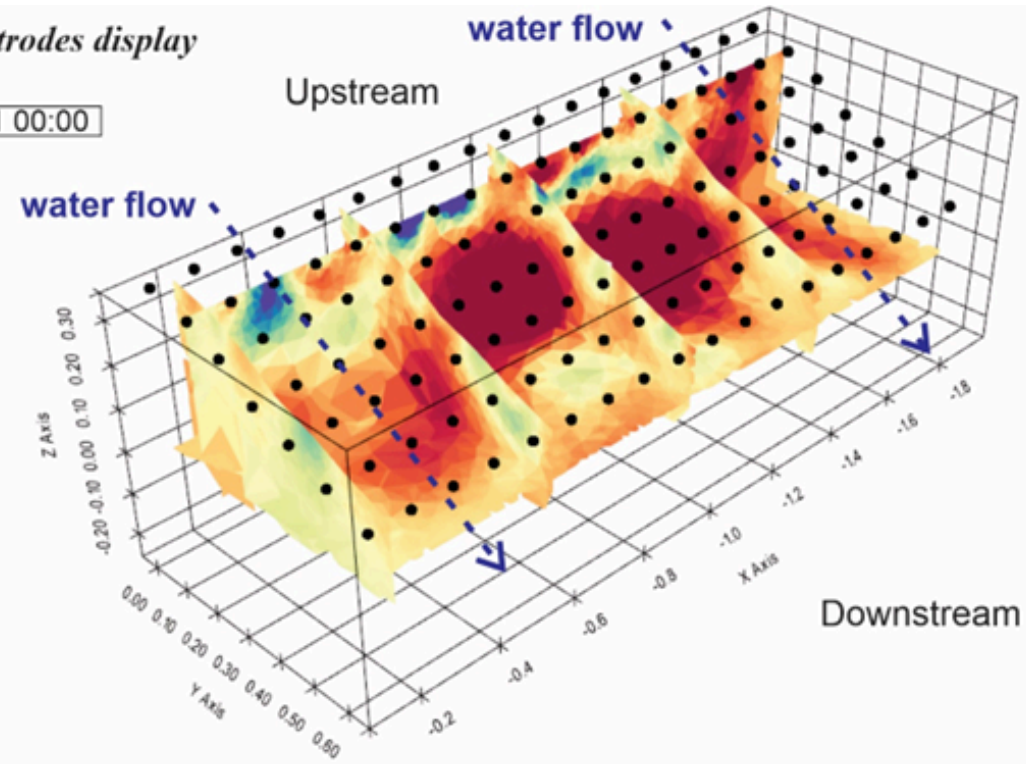


Avanço da frente de saturação do solo e a resposta geoeletrica

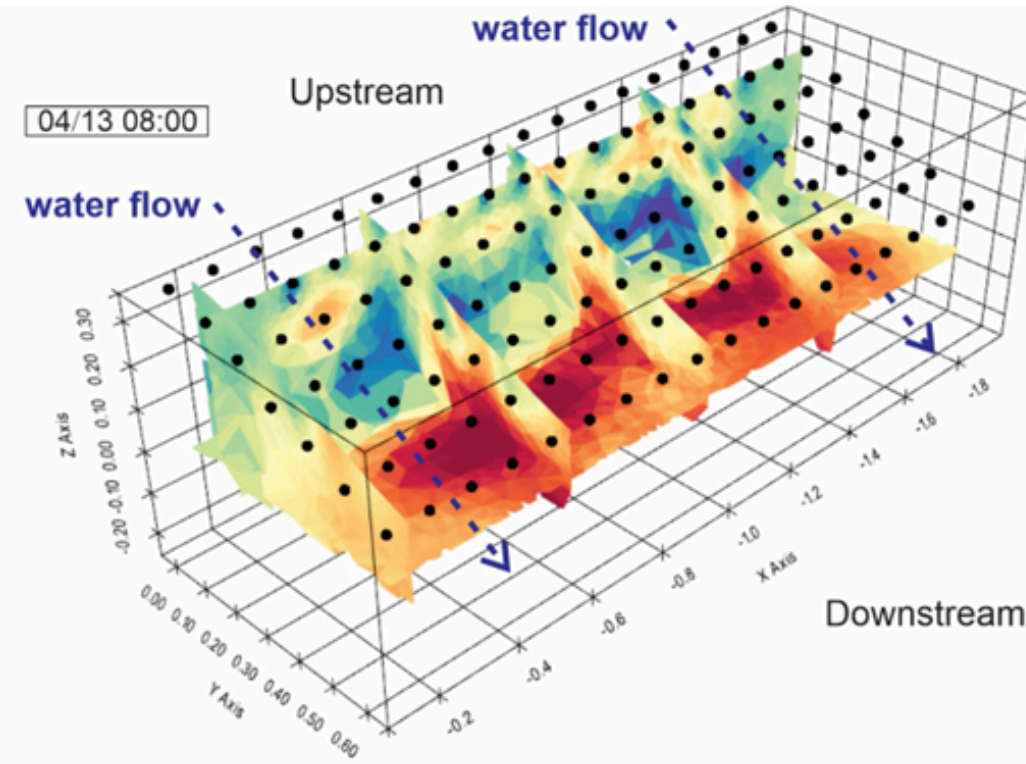


● *Electrodes display*

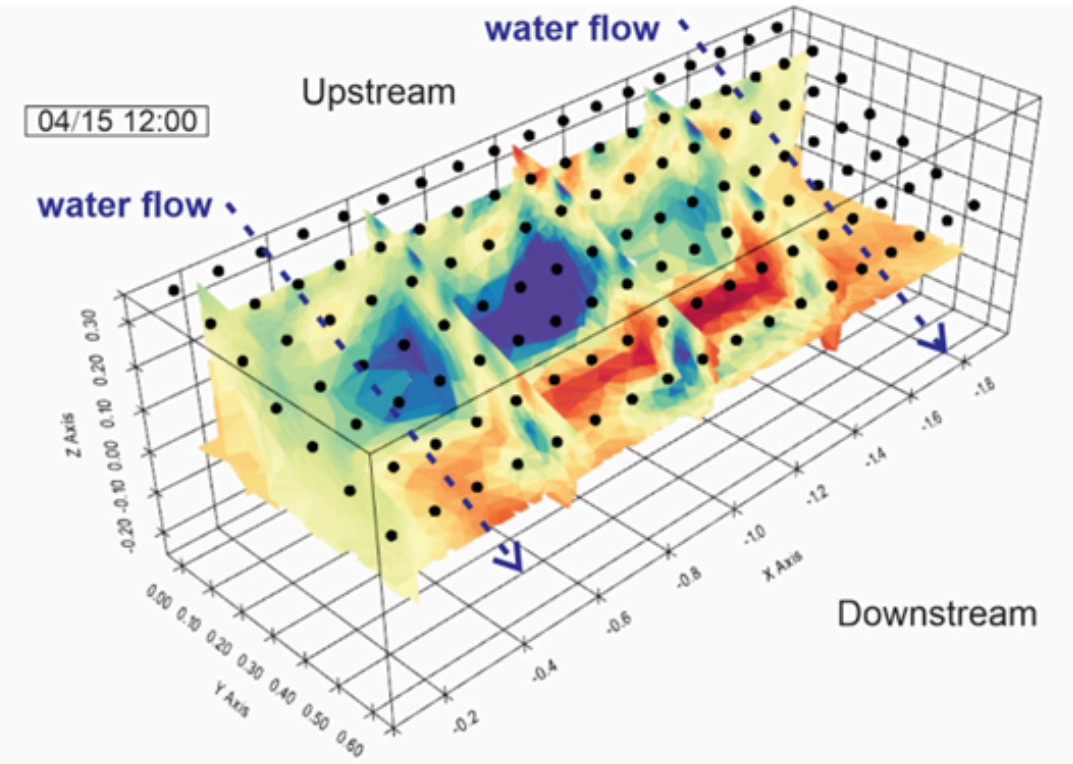
04/11 00:00



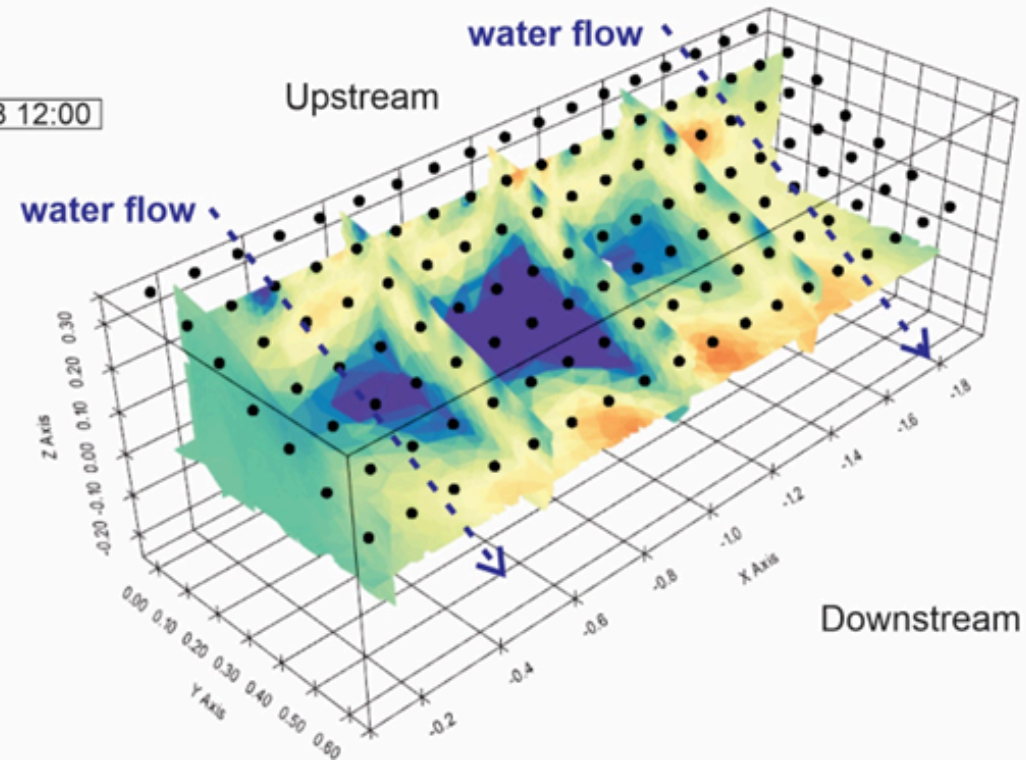
04/13 08:00



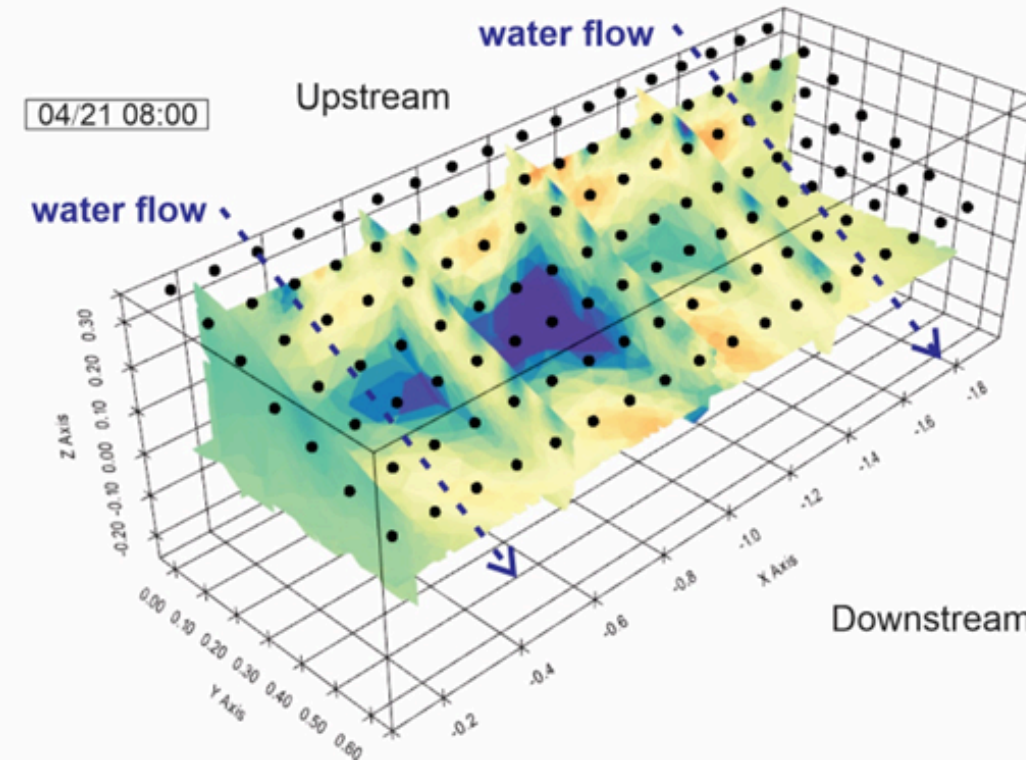
04/15 12:00



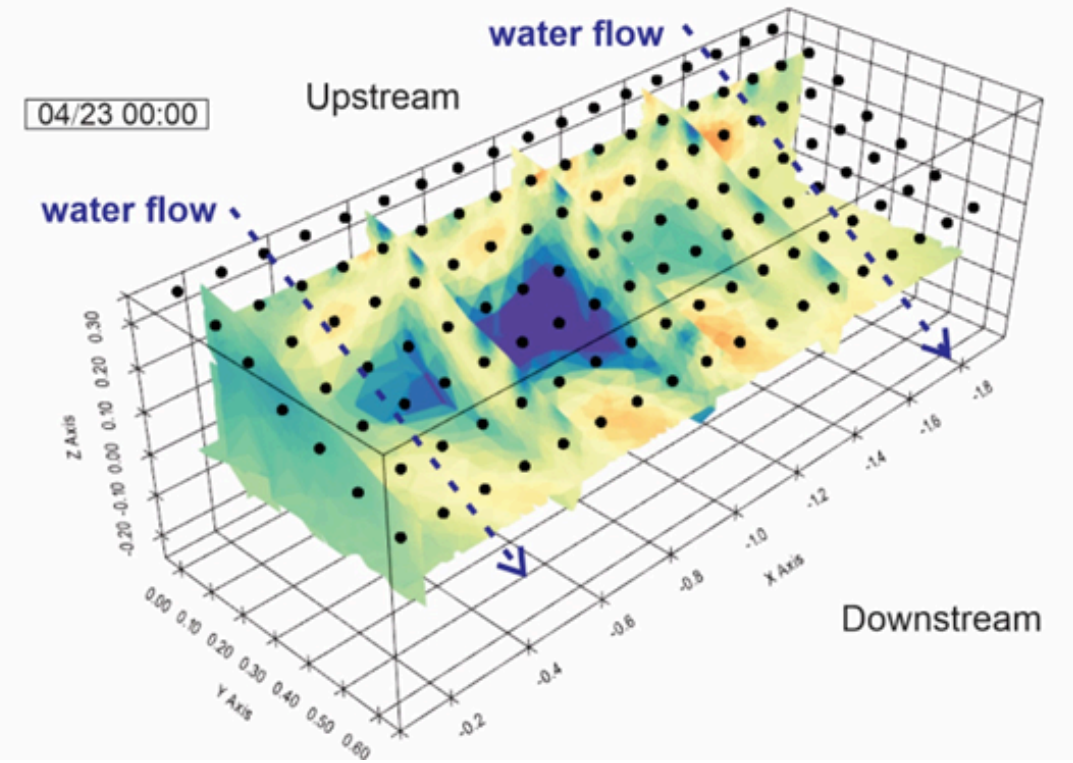
04/18 12:00

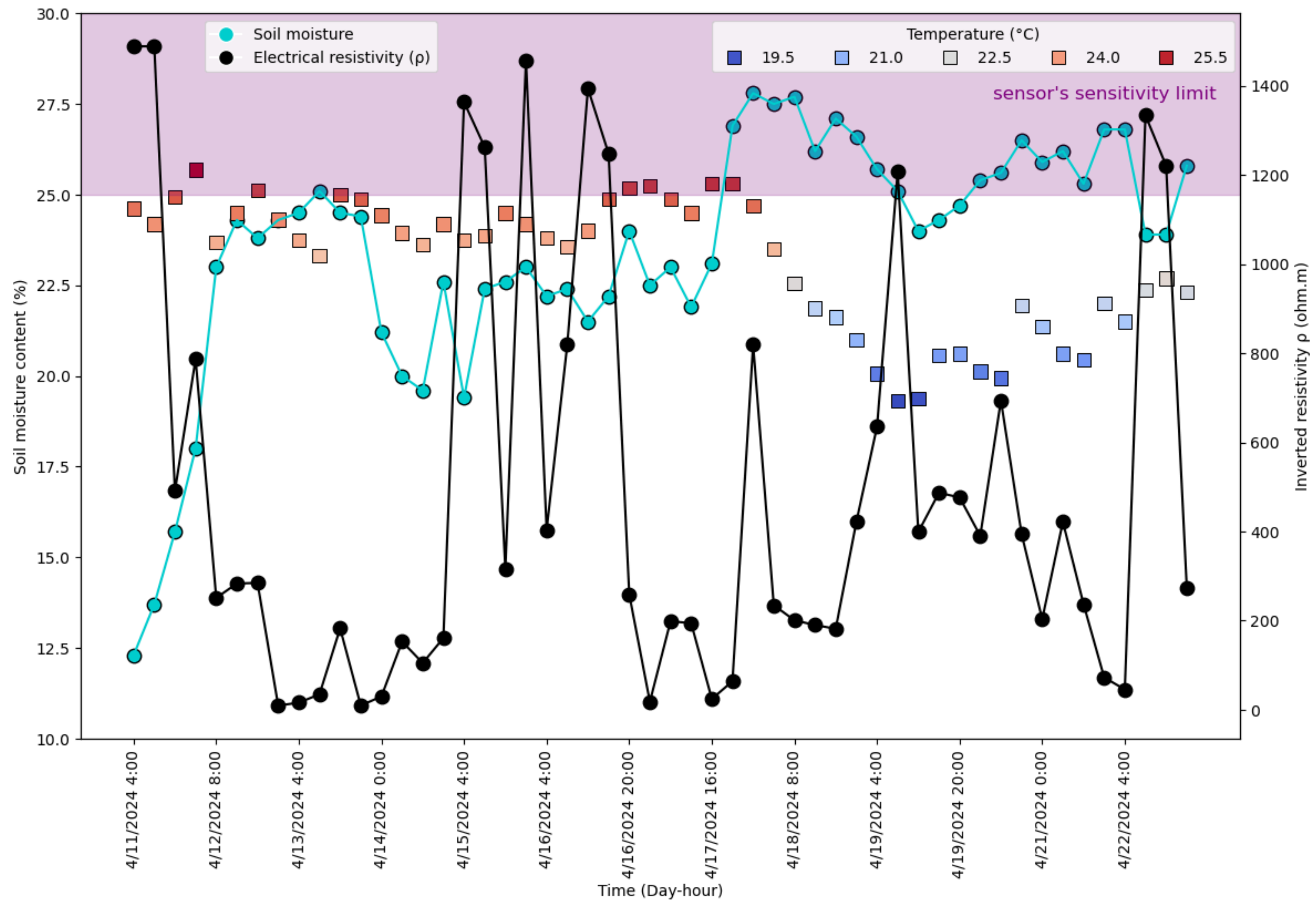


04/21 08:00

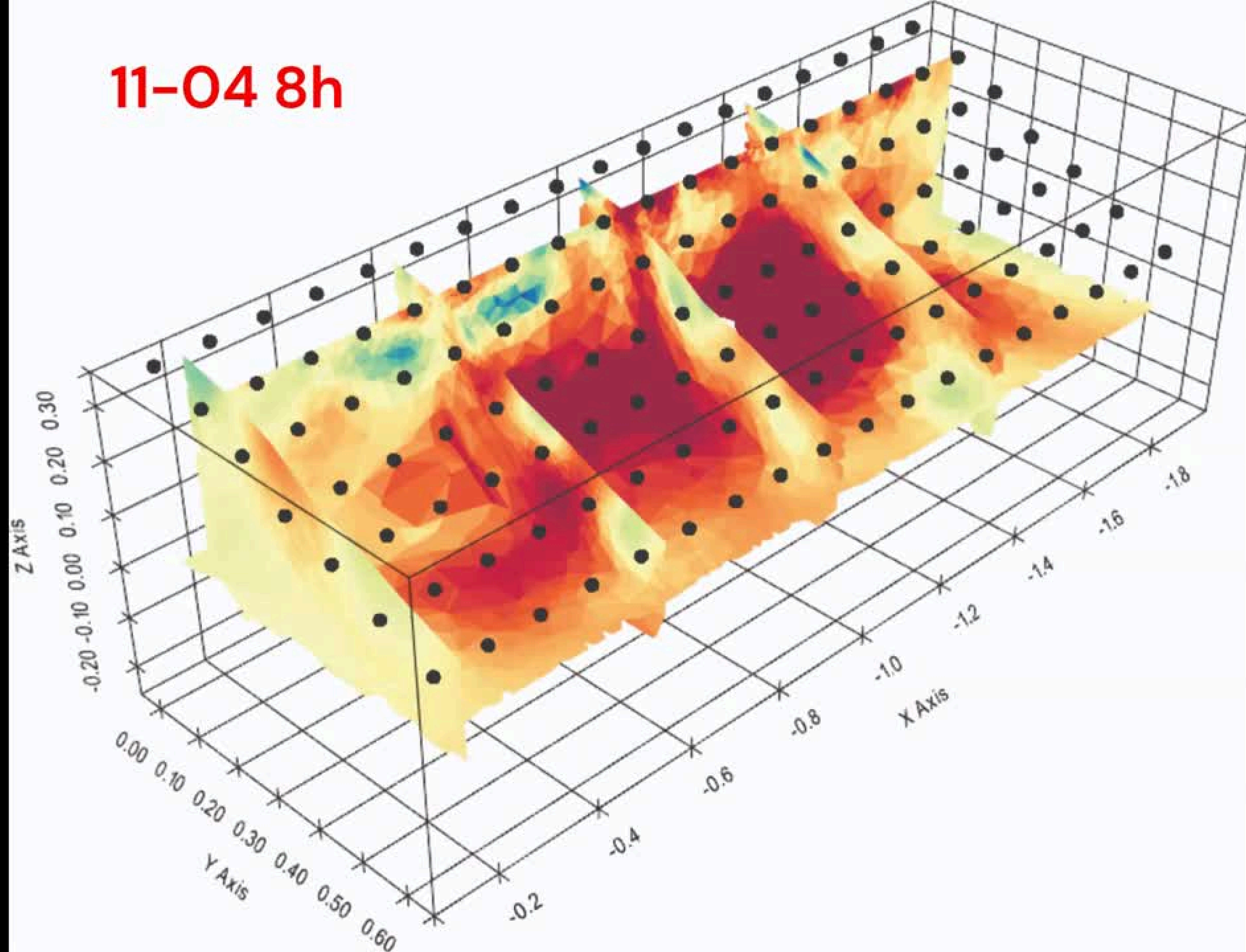


04/23 00:00





11-04 8h



Estudos de casos em campo e laboratório

Guireli Netto, L., Orlando, P.D.G., Serafim, R., de Oliveira, M.P., Pereira, J.P.S., Heleno, A.F., Spinelli, T.M. & Arbieto, C.C. (2025). [Monitoring water percolation in a laboratory compacted soil dam using time-lapse electrical resistivity tomography](https://doi.org/10.1038/s41598-025-99325-w). Scientific Reports. 15, 14356. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-99325-w>

Guireli Netto, L., Moreira, C.A., Albarelli, D.S.N.A., Gandolfo, O.C.B. & Ilha, L.M. (2025). [Correlation Between Seismic Wave Velocities and Rock Quality in the Foundation of a Radionuclide Storage Dam](https://doi.org/10.1007/s00024-025-03775-2). Pure and Applied Geophysics. <https://doi.org/10.1007/s00024-025-03775-2>

Guireli Netto, L., Moreira, C.A., Bianchi, H.M., Gandolfo, O.C.B. & Ilha, L.M. (2024). [Characterization of Excavated Radionuclide Retention Ponds in a Uranium Mine in the Process of Decommissioning Using Geophysical Methods](https://doi.org/10.1007/s00024-024-03602-0). Pure and Applied Geophysics. 181, 3313–3330. <https://doi.org/10.1007/s00024-024-03602-0>

Guireli Netto, L., Singha, K., Moreira, C.A., Gandolfo, O.C.B. & Albarelli, D.S.N.A. (2023). [Investigation of fractured rock beneath a uranium-tailing storage dam through UAV digital photogrammetry and seismic refraction tomography](https://doi.org/10.3389/feart.2023.1281076). Frontiers in Earth Science. 11:1281076. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1281076>

Agradecimentos



Obrigado pela atenção.