

Caracterização de aquíferos na Baixada Santista

Oleg Bokhonok
Otávio Coaracy Brasil Gandolfo

Palestra apresentada no SEMANA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 13.; JORNADA DE ENGENHARIA GEOFÍSICA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS, 7., 2023, Santos. 97 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



Caracterização de aquíferos na Baixada Santista



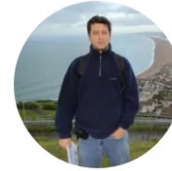
Serão apresentados os resultados de dois projetos FEHIDRO em andamento na região da Baixada Santista, utilizando métodos geofísicos:

- I) Avaliação e monitoramento de disponibilidade hídrica subterrânea na Baixada Santista usando métodos geofísicos.

- II) Prospecção geofísica de recursos hídricos subterrâneos em comunidades isoladas na região de Baixada Santista.

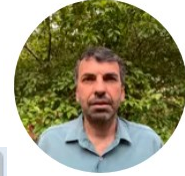
Pesquisador coordenador:

Prof. Dr. Oleg Bokhonok - Geólogo e Geofísico



Pesquisadores participantes:

Prof. Dr. Otávio Coaracy Brasil Gandolfo - Físico e Geofísico



Prof. Me. Jhonnas Alberto Vaz - Engenheiro Cartógrafo



Prof. Dr. Hirochi Yamamura - Químico

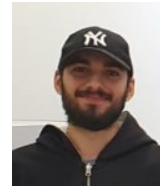


Estagiários:

Matheus Cardoso Pavon



Lucas Pereira Fontanetti



Axel de Oliveira Palmeira



O acesso à **água potável** é um direito humano essencial, fundamental e universal, indispensável à vida com dignidade.

Este tema é particularmente importante para as comunidades isoladas, sem rede de abastecimento público.

Agenda 2030
(Declaração, 17 ODS e 169 metas)
Assinada por 193 países na ONU, em 2015
“sem deixar ninguém para trás”



UGRHI sede	Município	Concessão (esgoto)	População urbana	Esgoto (%)	Água (%)
				Coleta	Abastecimento
7	Bertioga	SABESP	65.074	33,7	88,30
	Cubatão		132.521	51,3	84,45
	Guarujá		324.914	70,4	82,40
	Itanhaém		103.374	49,3	96,80
	Mongaguá		58.311	82,9	91,77
	Peruíbe		68.918	81,2	96,55
	Praia Grande		336.454	79,5	91,40
	Santos		433.666	96,6	100,00
	São Vicente		370.138	96,6	90,90
11	<u>Itariri</u>		11.337	39,0	40,27
	<u>Biritiba Mirim</u>		28.550	53,9	56,31
6	Mogi das Cruzes	SEMAE	419.794	94,3	96,41
	Santo André	SABESP/SEMASA	723.889	99,5	100,00
	São Bernardo do Campo	SABESP	835.657	92,1	100,00
	São Paulo		12.284.940	89,5	100,00

- Projeto: "Prospecção geofísica de recursos hídricos subterrâneos em comunidades isoladas na região da Baixada Santista";
- Parceria entre Unisantos e FEHIDRO;
- Atividades desenvolvidas
- Ambientes de trabalho: Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas (IPECI) , Laboratório de Engenharia Geofísica (LEG) e UNESPETRO.



UNESP - Rio Claro, Centro de Geociências aplicadas ao
Petróleo - UNESPetro



UNESP - Rio Claro, Centro de Geociências aplicadas ao
Petróleo - UNESPetro



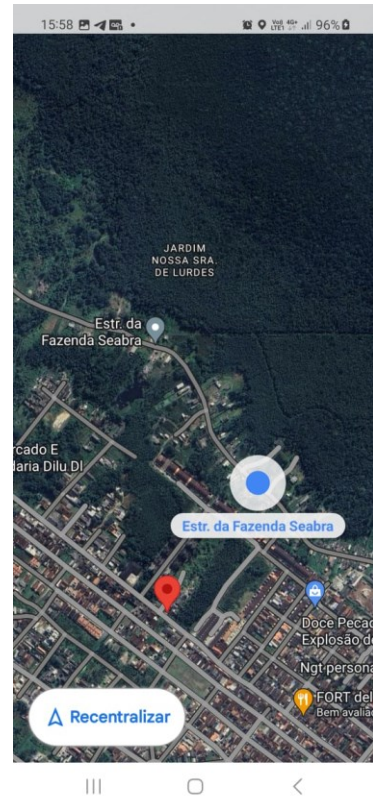
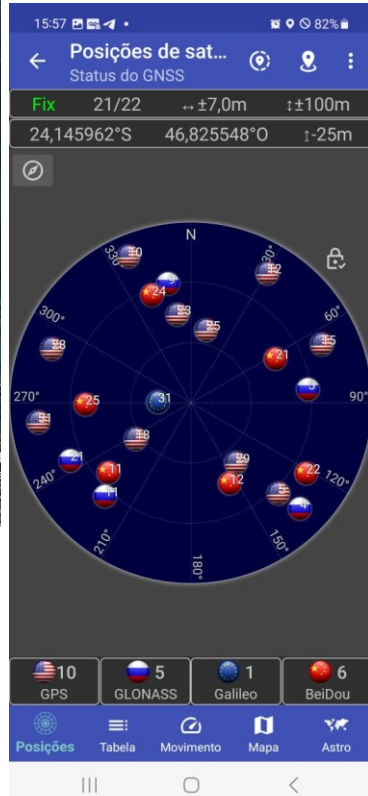
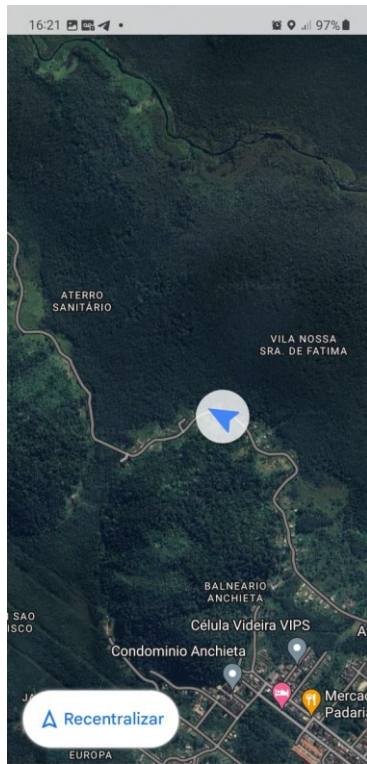
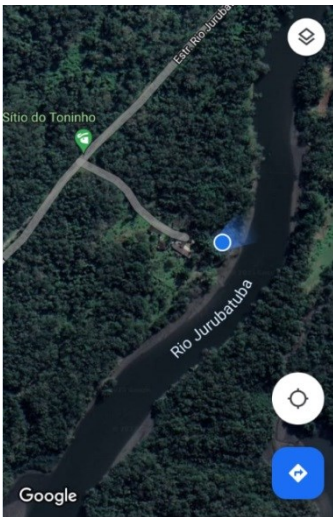
2019



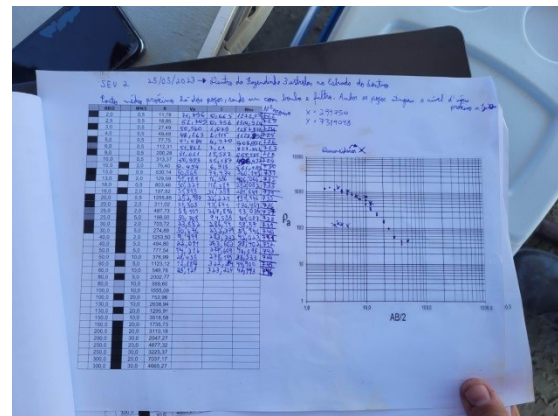


2023



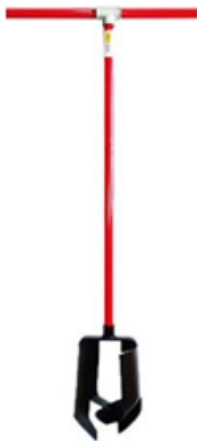
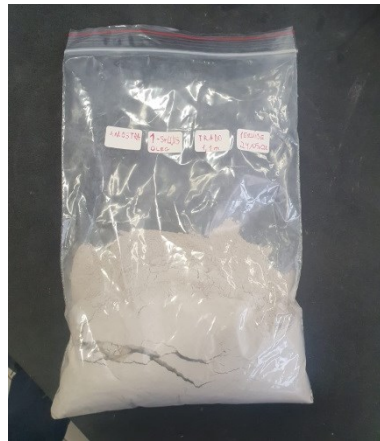






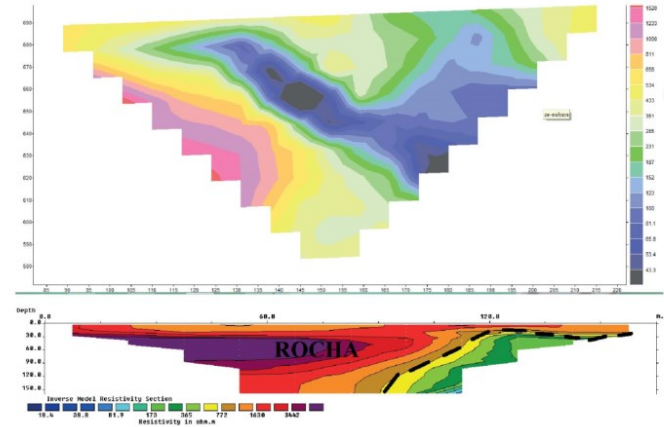
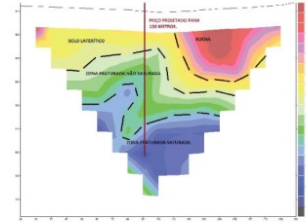
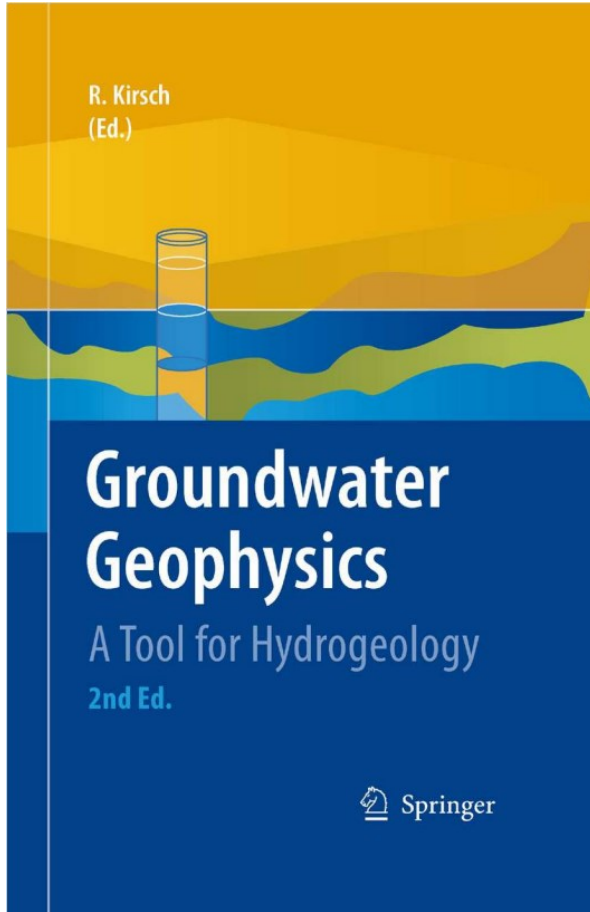










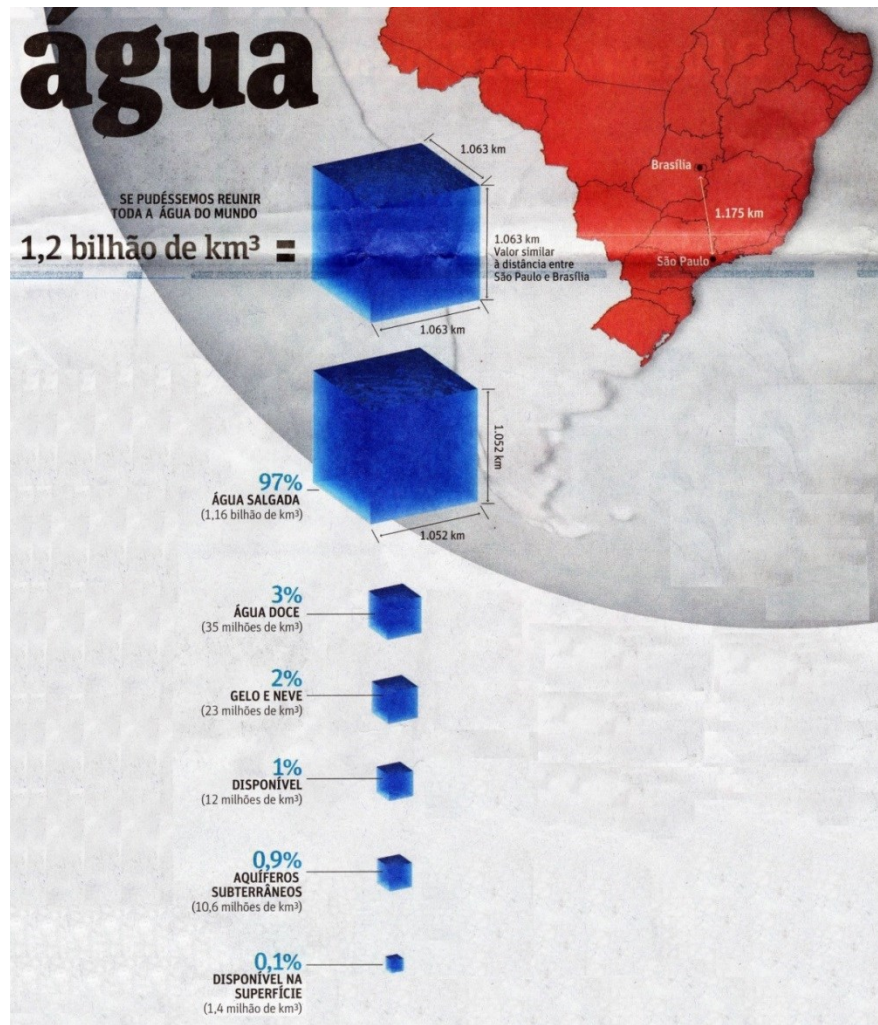
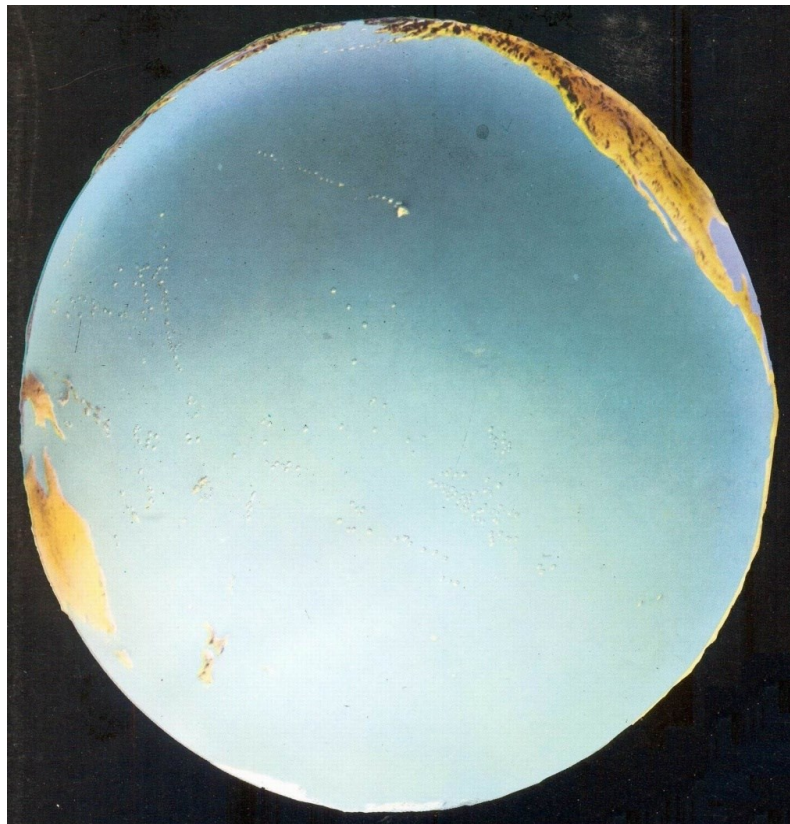


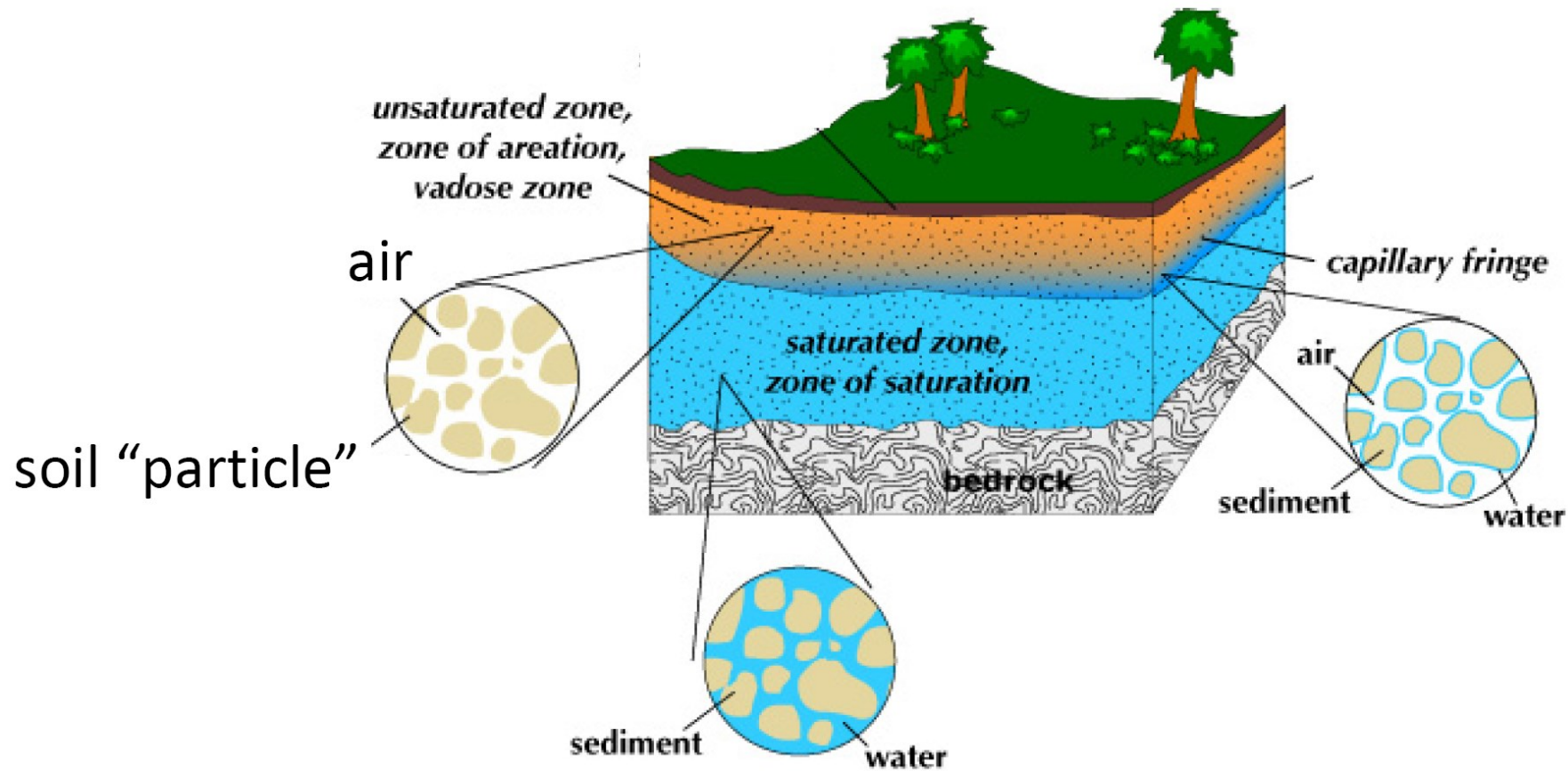
Hidrogeofísica

É recomendável aplicar as técnicas da Geofísica em águas subterrâneas.

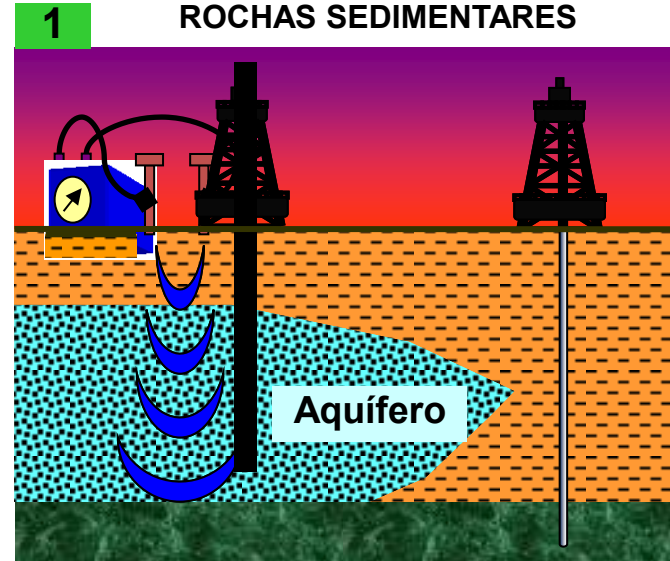
Veja o que dizem os especialistas. Pág.20

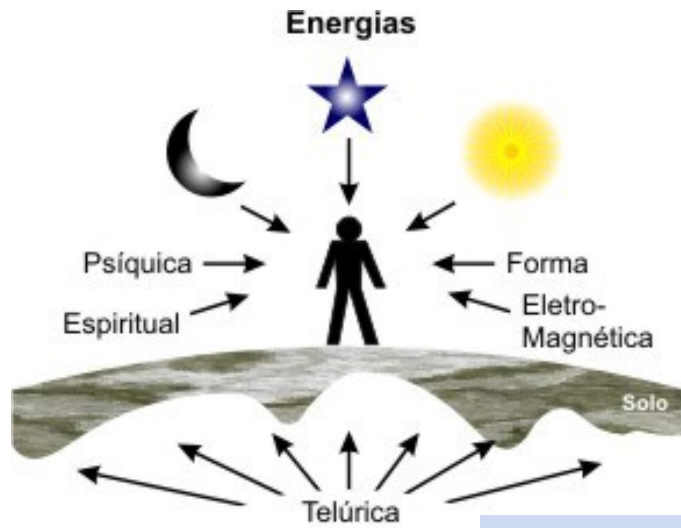
Terra, planeta água





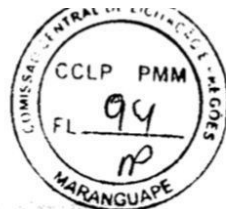
Antes da perfuração de um poço de água é altamente recomendável uma prospecção geofísica para a definição do local mais favorável para a locação deste poço







MARANGUAPE
PREFEITURA



EDITAL DO PREGÃO PRESENCIAL Nº 06.006/2022-PPRP

ANEXO I - TERMO DE REFERÊNCIA DO OBJETO

1. OBJETIVO:

Registro de Preços para contratação de empresa visando à perfuração de poços profundos, de interesse da Secretaria de Infraestrutura do Município de Maranguape-CE, tudo conforme especificações e condições contidas deste termo de referência e demais exigências do edital.

2. ESPECIFICAÇÃO DO OBJETO E JUSTIFICATIVA:

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE
1	Serviço perfuração de poço profundo com diâmetro de 150mm, com encamisamento e tampa inclusos, revestimento em tubo para poço artesiano em PVC, perfurado em rochas sedimentares (terreno arenoso), em rochas cristalinas (sólido) ou solo misto.	M	1.500
2	Serviço de Marcação com Geólogo	Unidade	10
3	Radiestesia (Marcação com Varinha) empregada para tentar encontrar objetos, seres vivos ou elementos da natureza, como água, minérios, pedras preciosas e outros, sem o uso de equipamentos científicos. Geralmente envolve o uso de bastões, galhos em Y ou pêndulos.	Unidade	20



JIM WILSON/THE NEW YORK TIMES

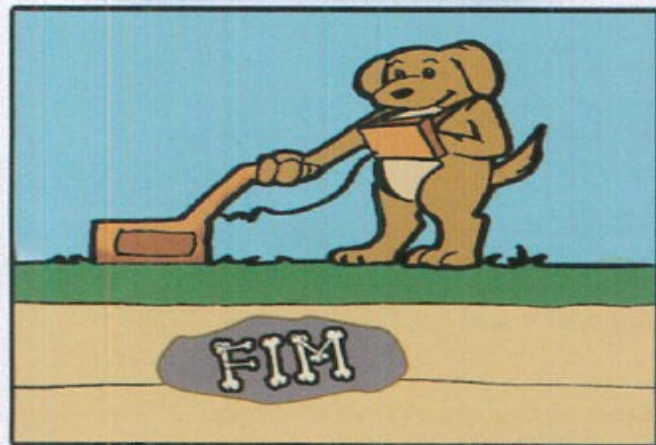
MUDANÇAS CLIMÁTICAS



A busca por água na seca californiana

Em plena seca extrema na Califórnia, a duas horas de automóvel da capital da tecnologia dos Estados Unidos, o Vale do Silício, os serviços de um homem que busca água utilizando duas varetas e a própria intuição estão sendo intensamente solicitados. Sua agenda lotada é um sinal do desespero

de fazendeiros e administradores de propriedades, enquanto a Califórnia sofre com uma seca devastadora que esgotou os aquíferos, reduziu as safras e obrigou alguns fazendeiros a vender os seus direitos à água.

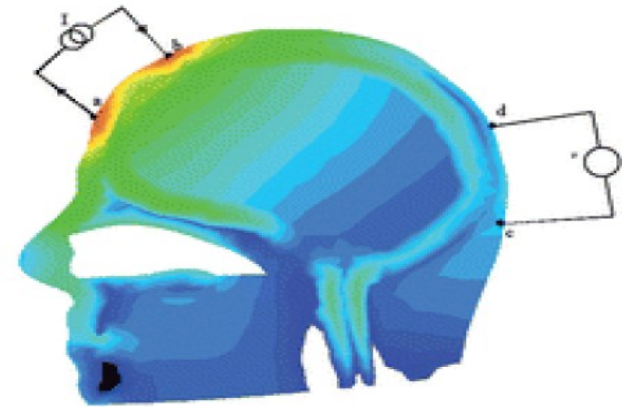
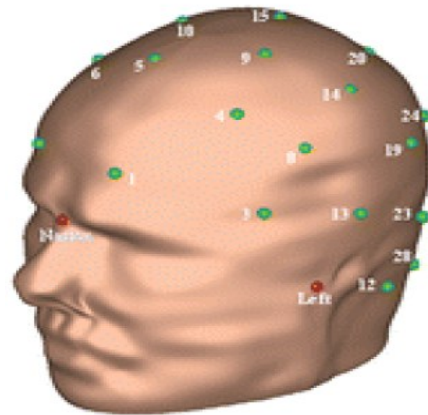
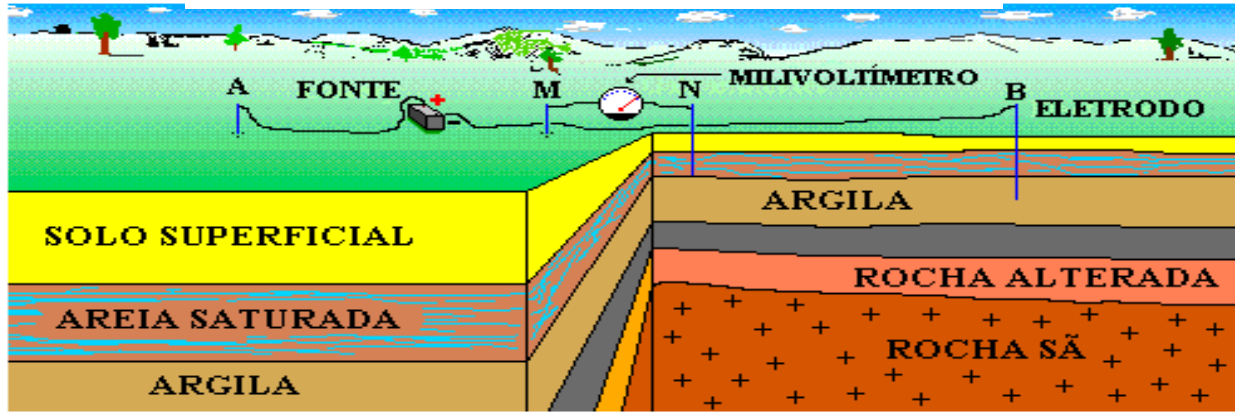


Objetivo: investigar o subsolo por meio de ensaios indiretos realizados na superfície do terreno sem a execução de sondagens

Geofísica e medicina: muito mais parecidos do que você possa imaginar!



ELETRORRESISTIVIDADE SEV - SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL

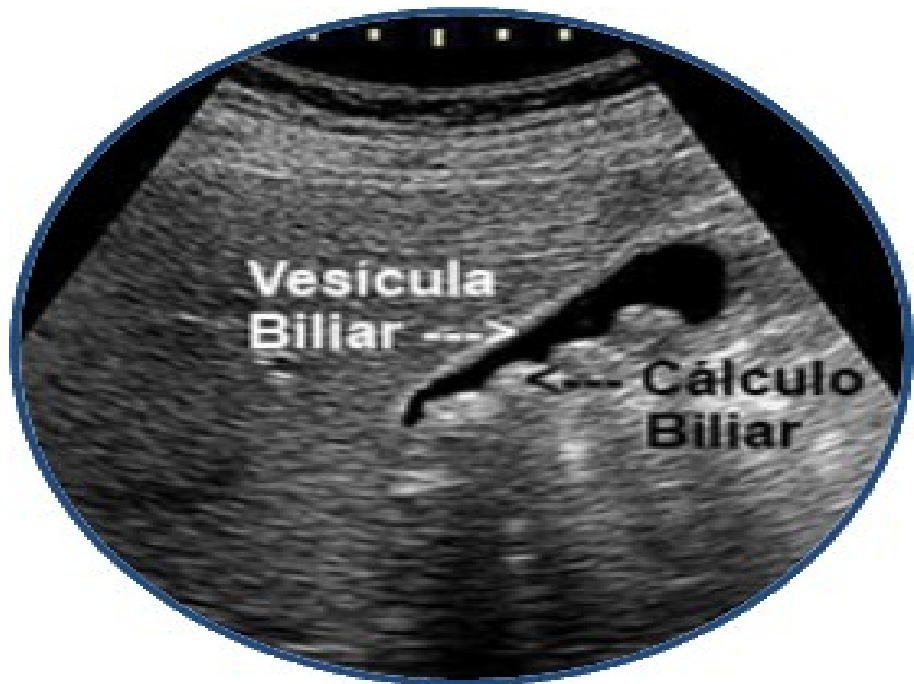


Medical imaging



GPR

Técnicas de imageamento



ULTRASSOM



RX → distingue a parte dura (ossos) da parte mole (tecidos) do corpo

RM → permite visualizar melhor o contraste entre as partes moles do corpo

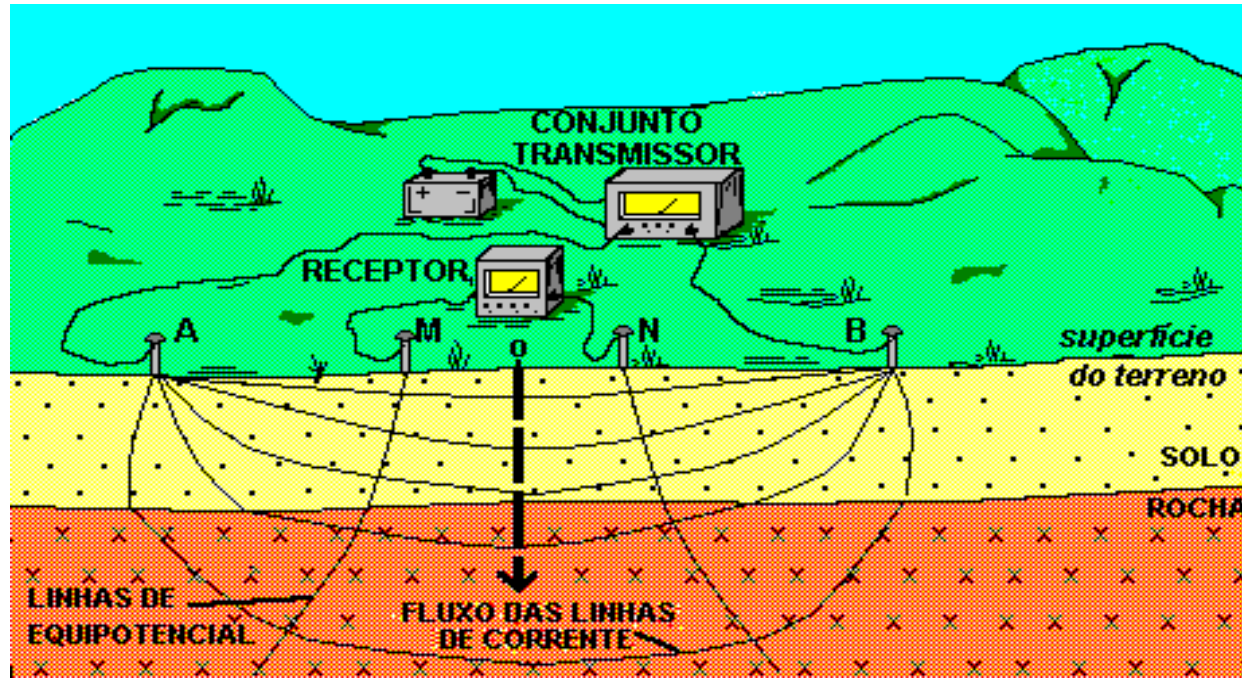
Os métodos geofísicos utilizados neste projeto:

- Eletrorresistividade**
 - Sondagem Elétrica Vertical (SEV)**
 - Caminhamento Elétrico (CE)**

- GPR**

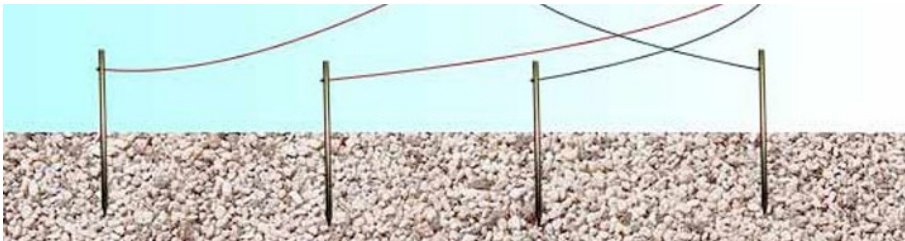
- Métodos Sísmicos**

ELETORRESISTIVIDADE



$$\rho = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

Parâmetro medido
→ ρ (resistividade elétrica)



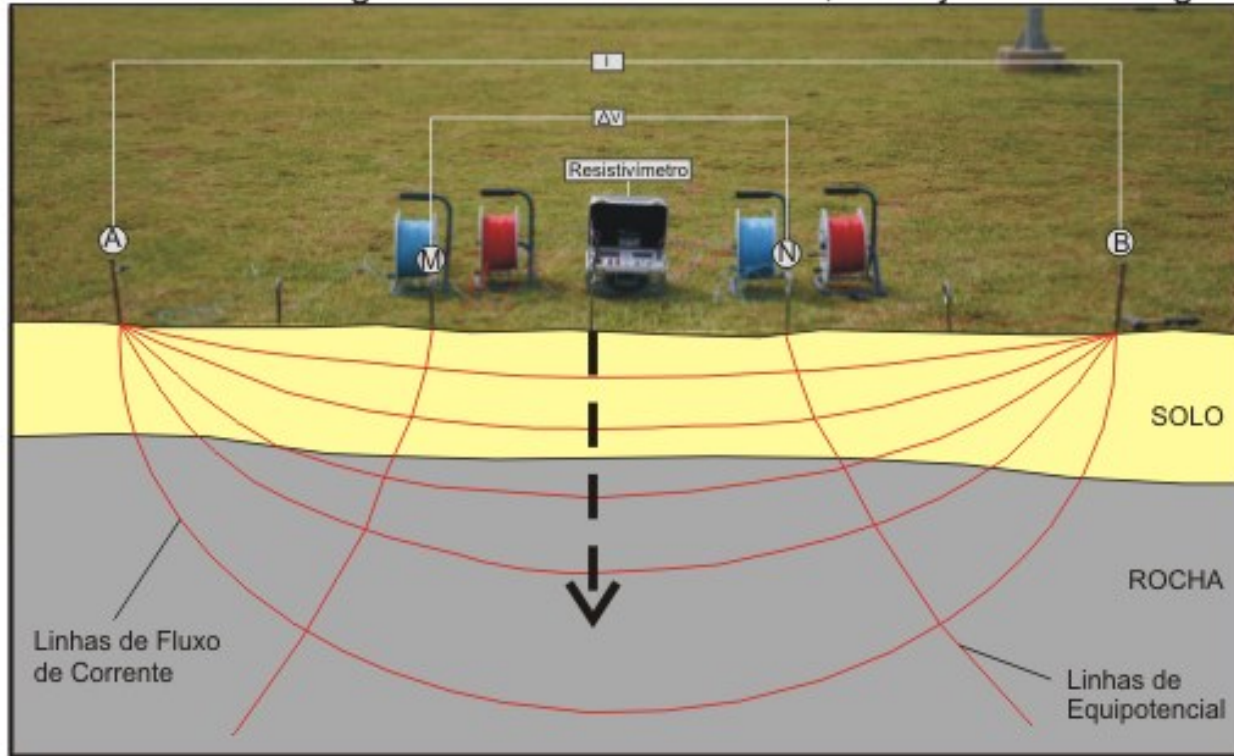
**ELETRODO DE
CORRENTE**



“choque em minhoca”

SEV (SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL)

Técnica de Sondagem Elétrica Vertical - SEV, Arranjo Schlumberger



- ✓ Estuda a distribuição vertical do parâmetro ρ , abaixo de um ponto de interesse na superfície, tal qual uma sondagem convencional

SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL

unesp
Braga, A.C.O.

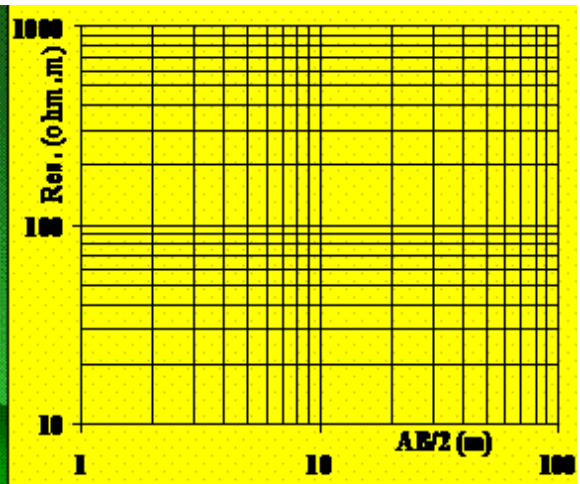
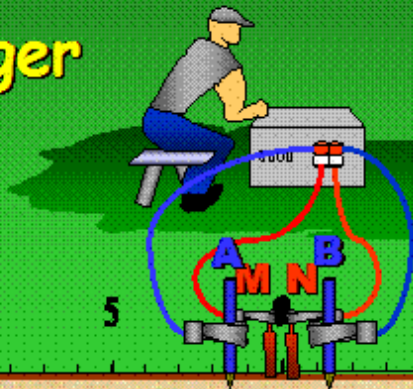
$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$



Sondagem Elétrica Vertical - SEV

Arranjo Schlumberger

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$



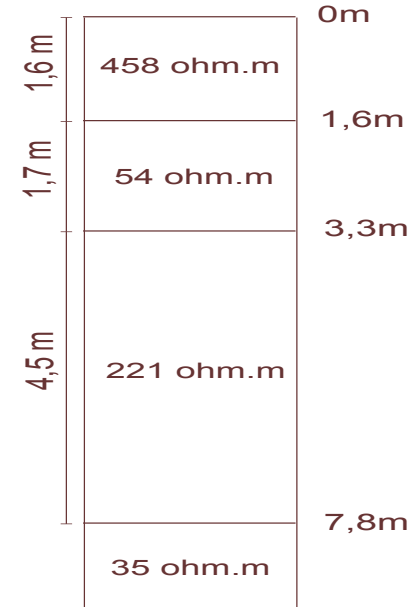
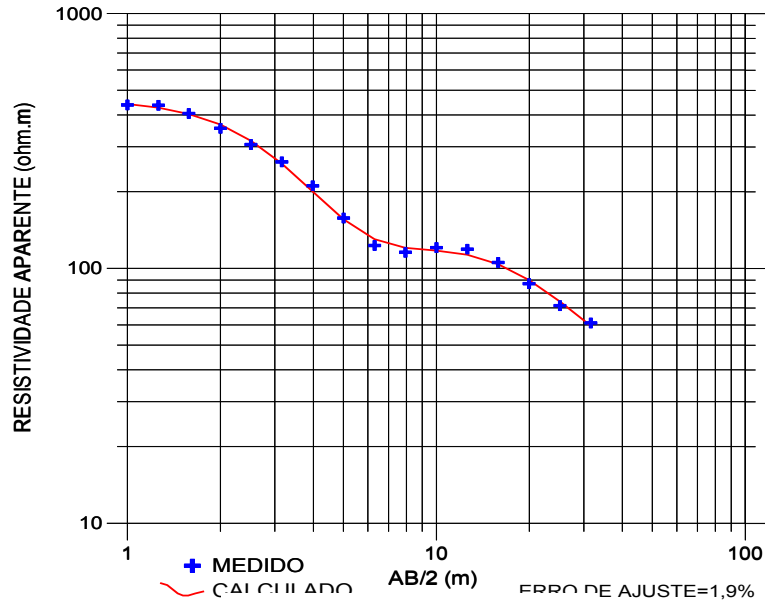
ZONA NÃO SATURADA

N.A.

ZONA SATURADA

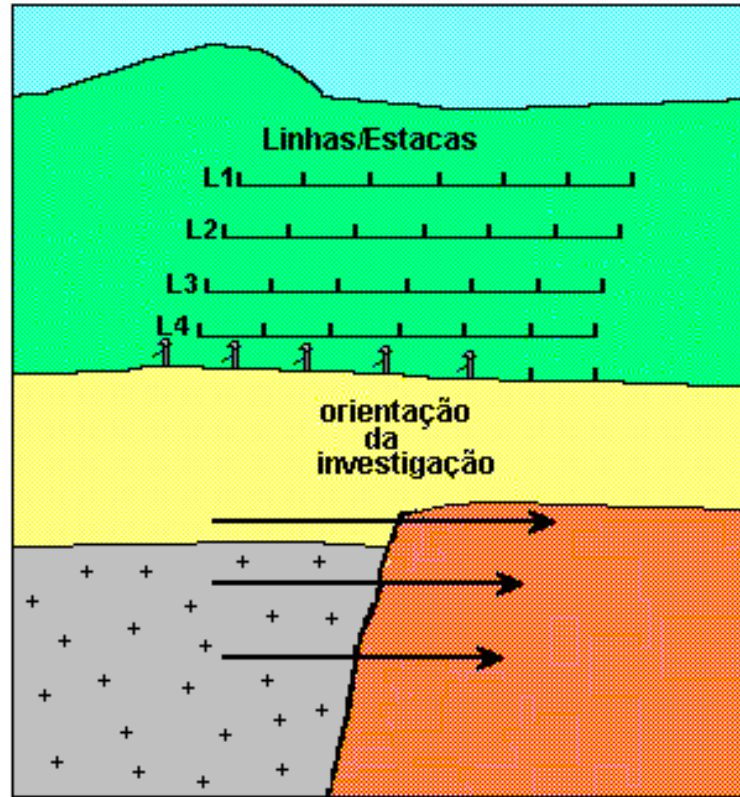
ROCHA SÃ

PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA SEV



Camada	ρ (Ω m)	Espessura (m)	Prof. topo (m)
1	458	1,6	0
2	54	1,7	1,6
3	221	4,5	3,3
4	35	indefinida	7,8

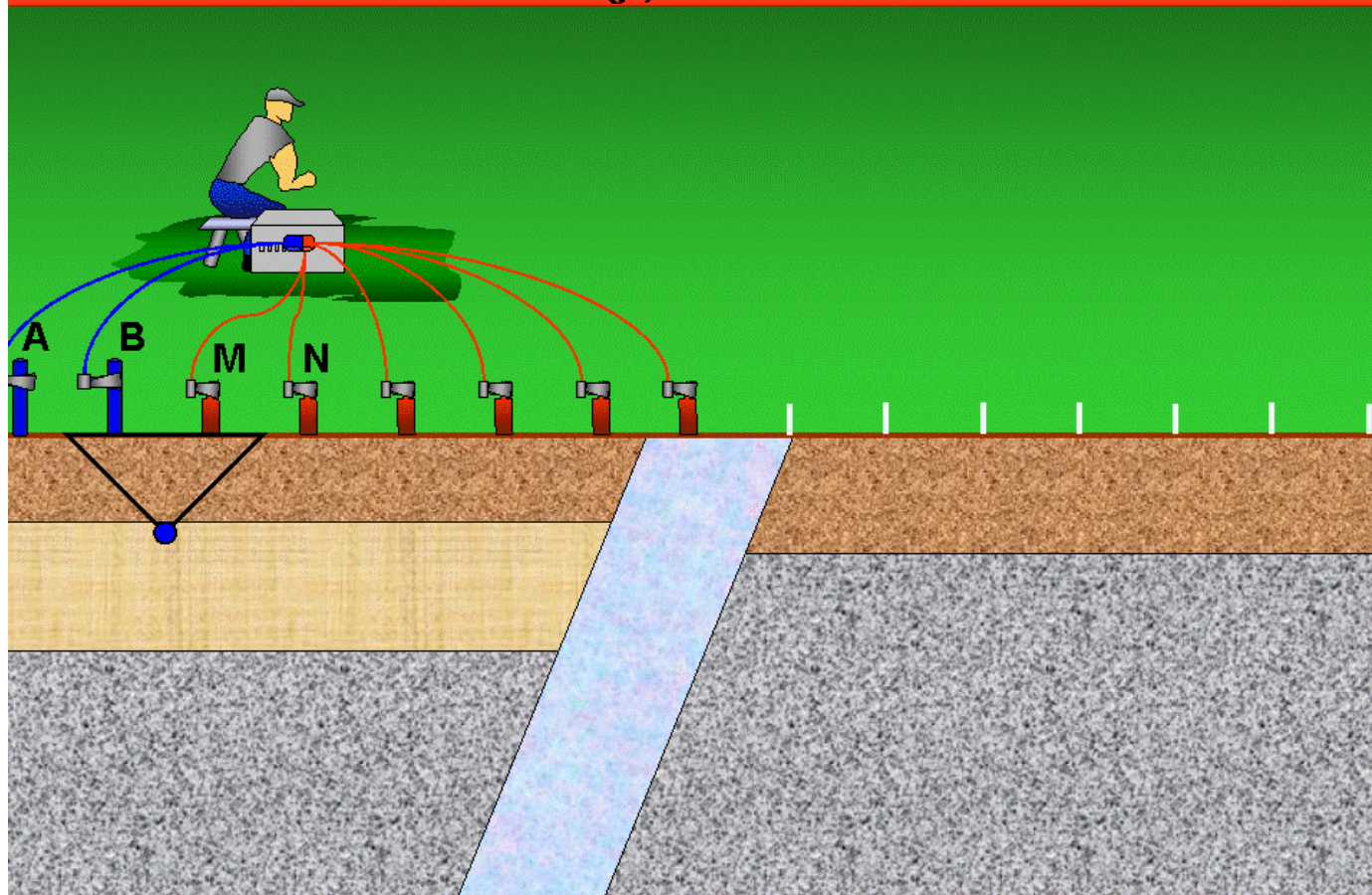
CAMINHAMENTO ELÉTRICO (CE)



O **CE** investiga as variações laterais de ρ do subsolo

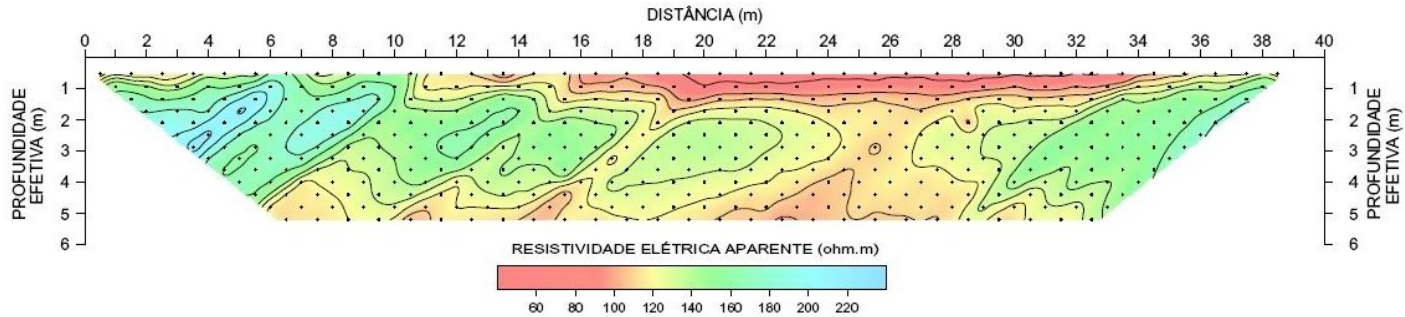
Caminhamento Elétrico - Arranjo Dipolo-Dipolo

unesp
Braga, A.C.O.



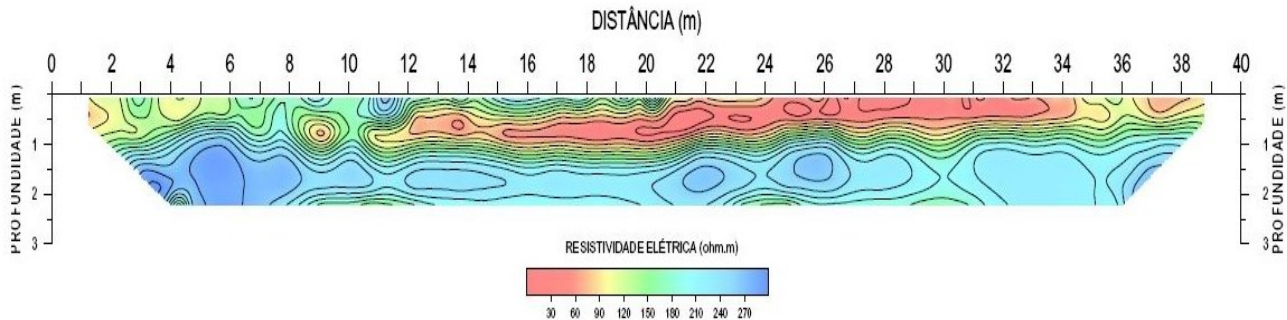
PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO CE

PSEUDO SEÇÃO DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE



PROCESSAMENTO

SEÇÃO MODELADA DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA

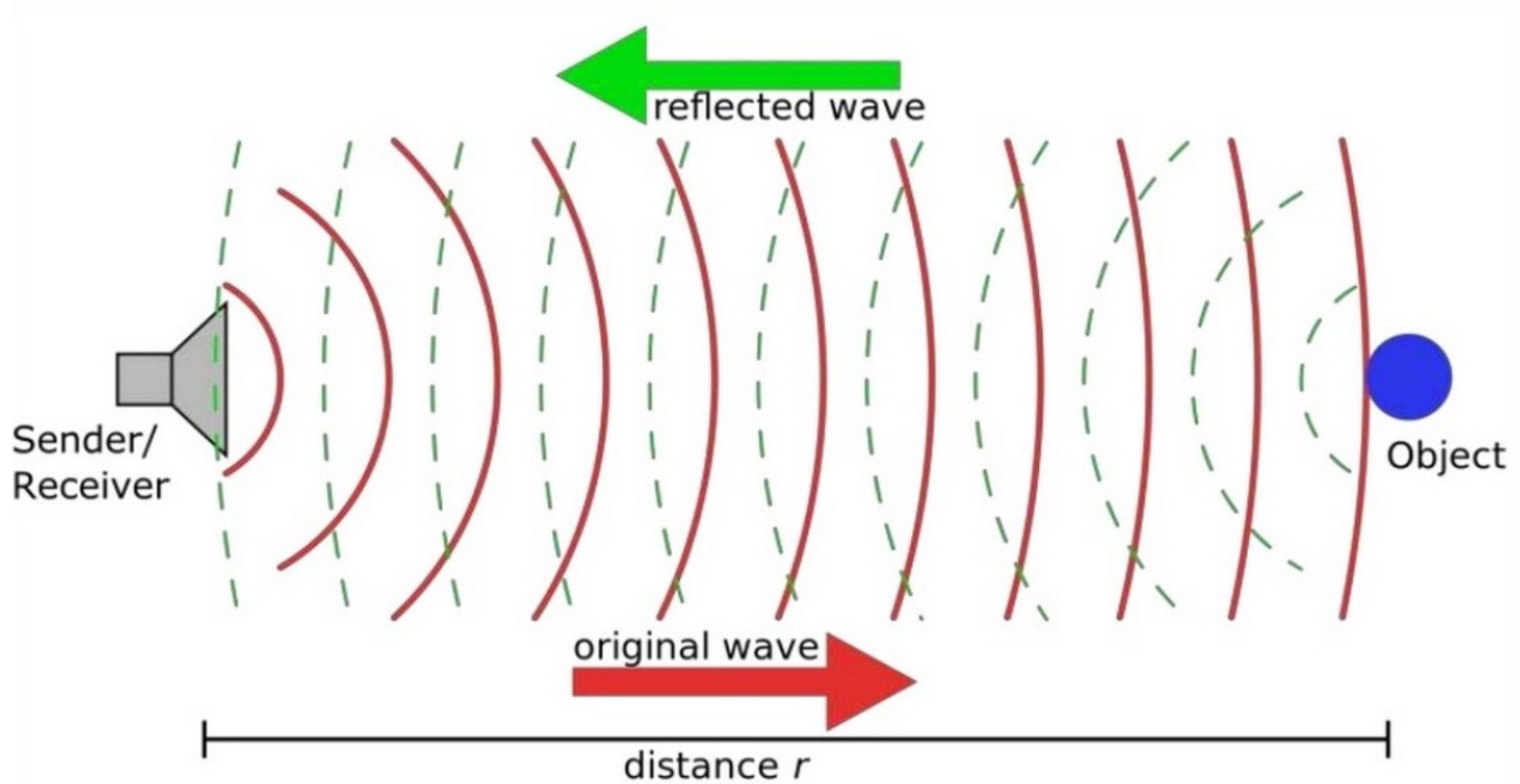


Equipamento: resistivímetro

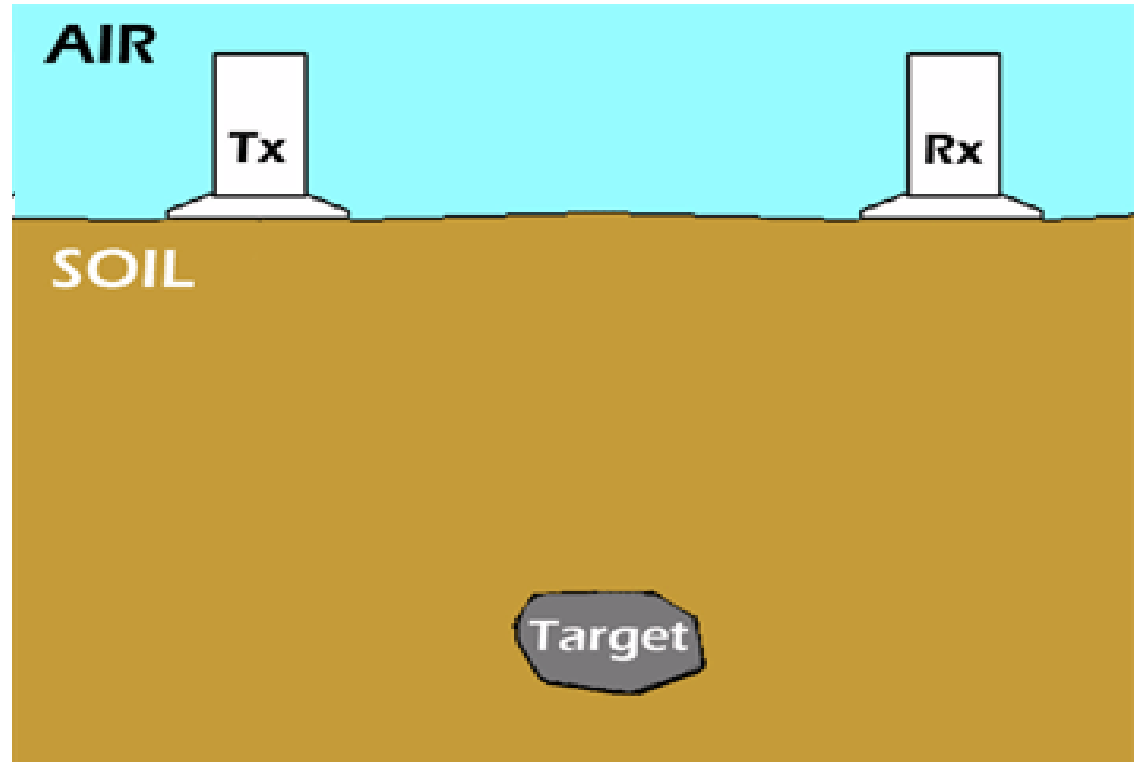
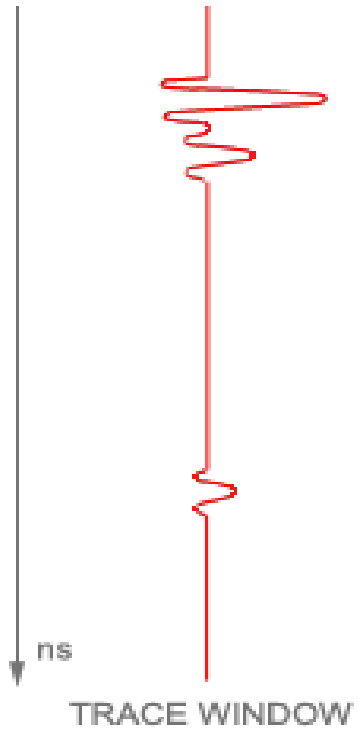


SYSCAL Pro

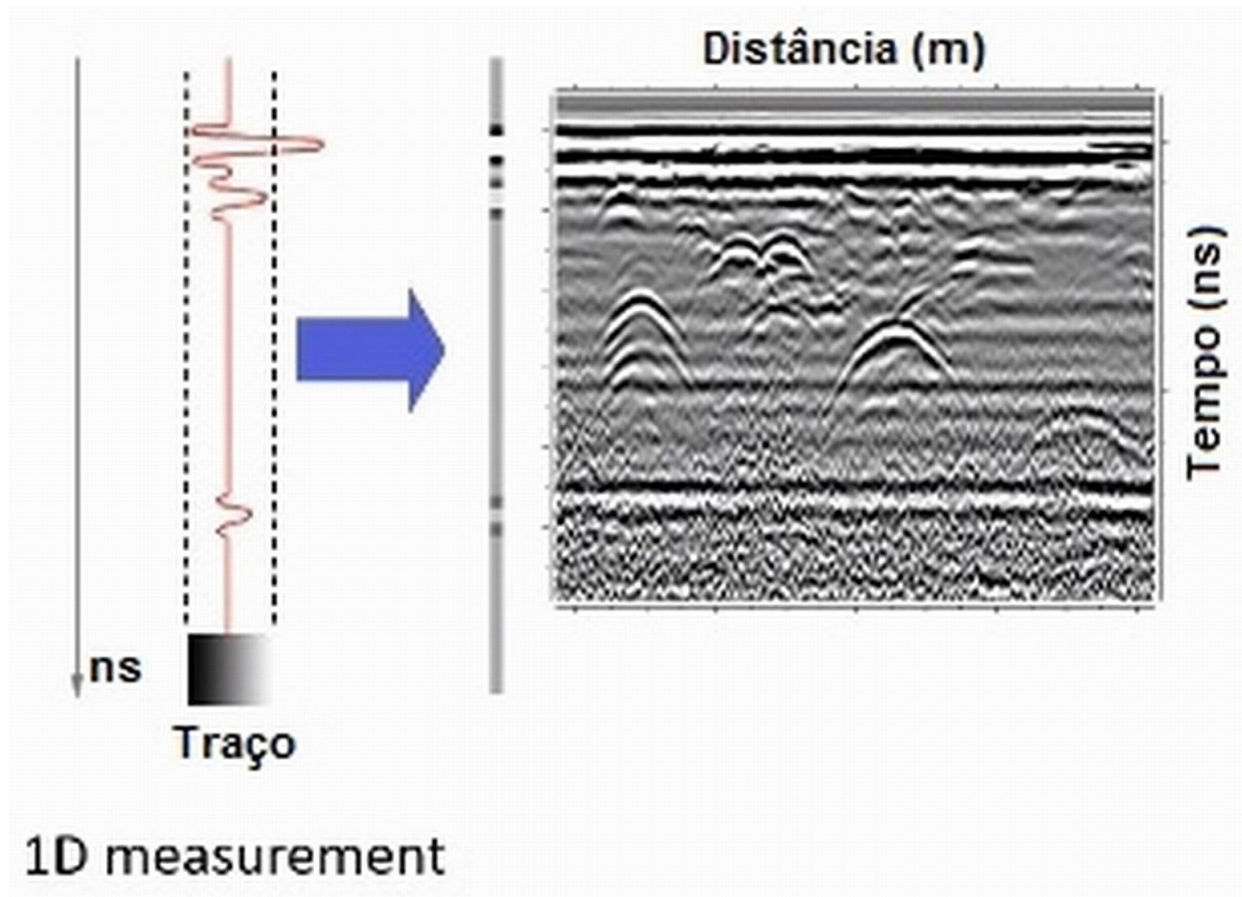
GPR

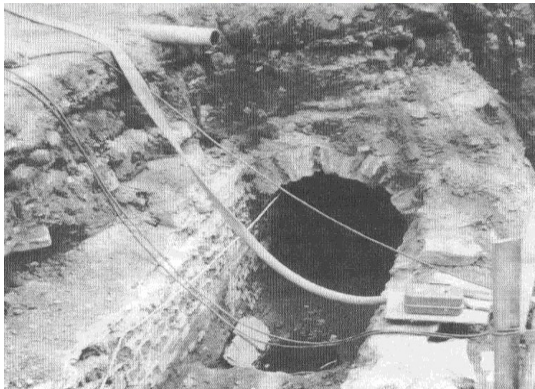


GPR

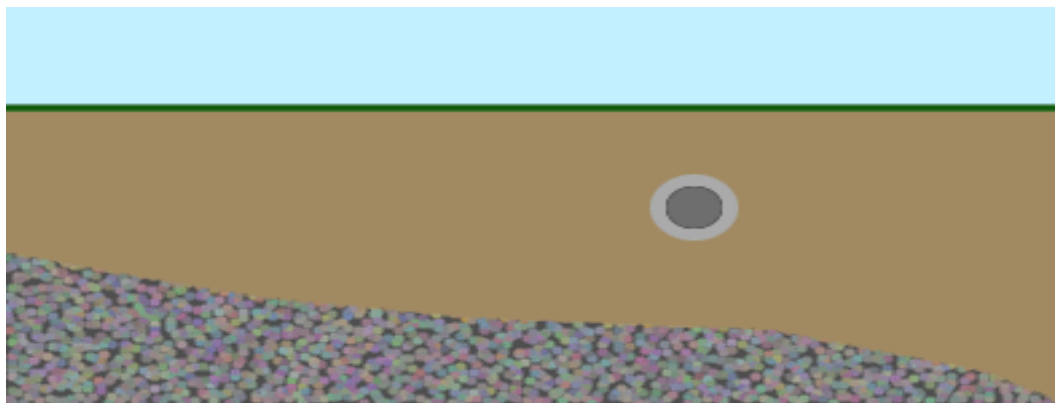


GPR

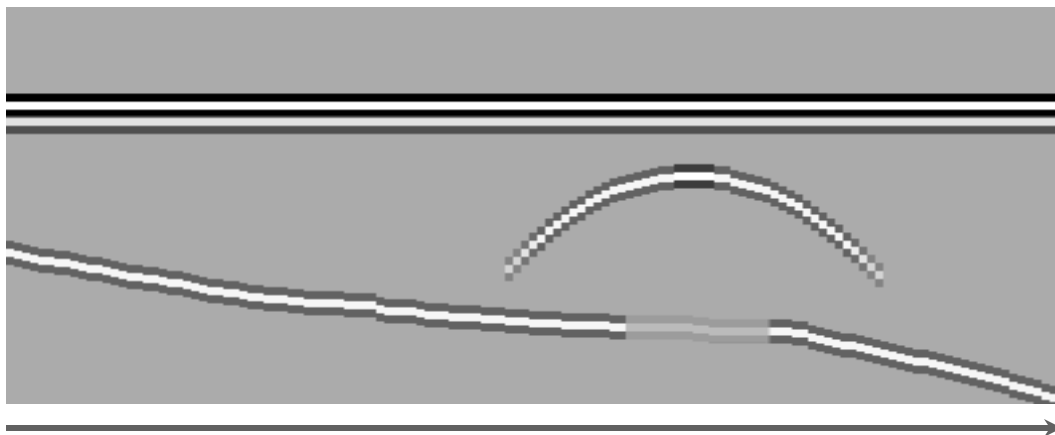




GPR



Tempo [ns]



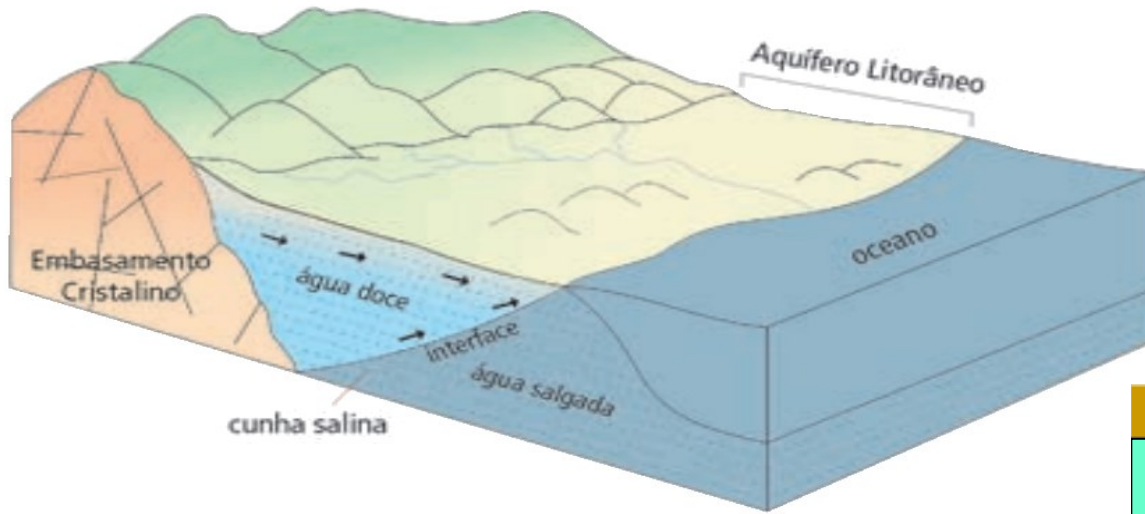
Profundidade [m]



DISTÂNCIA [m]

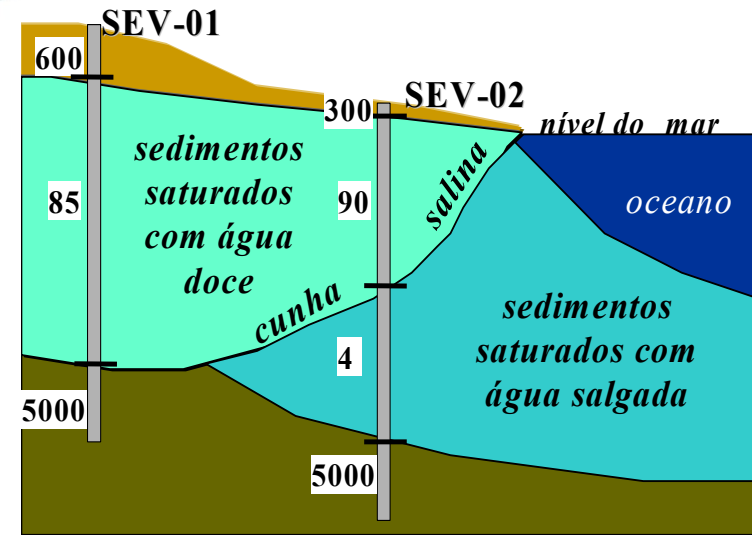


IDENTIFICAÇÃO DE CUNHA SALINA EM ÁREAS COSTEIRAS

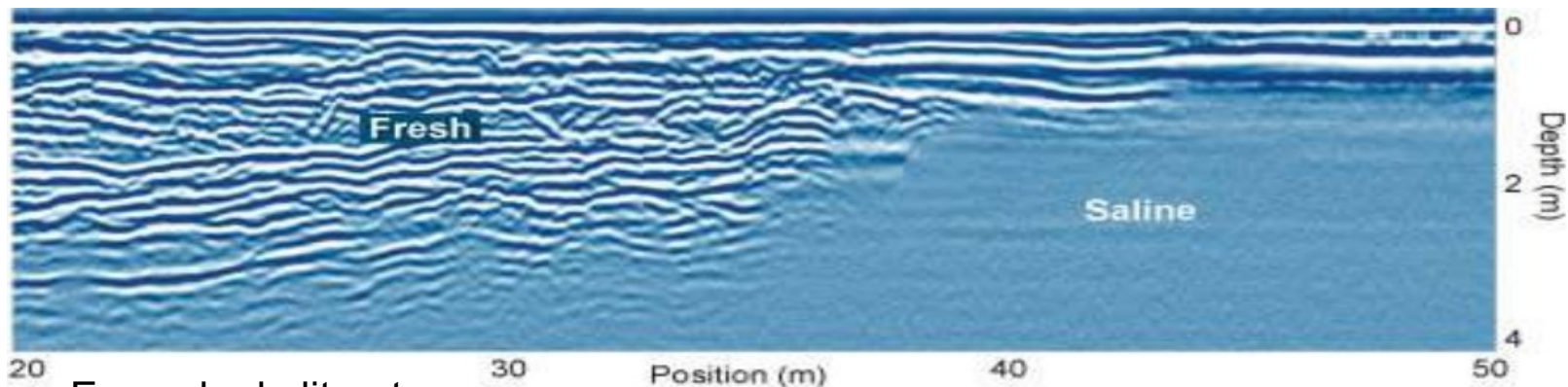


Iritani, M.A.; Ezaki, S. (2012)

$$\rho \text{ água salgada} \lll \rho \text{ água doce}$$

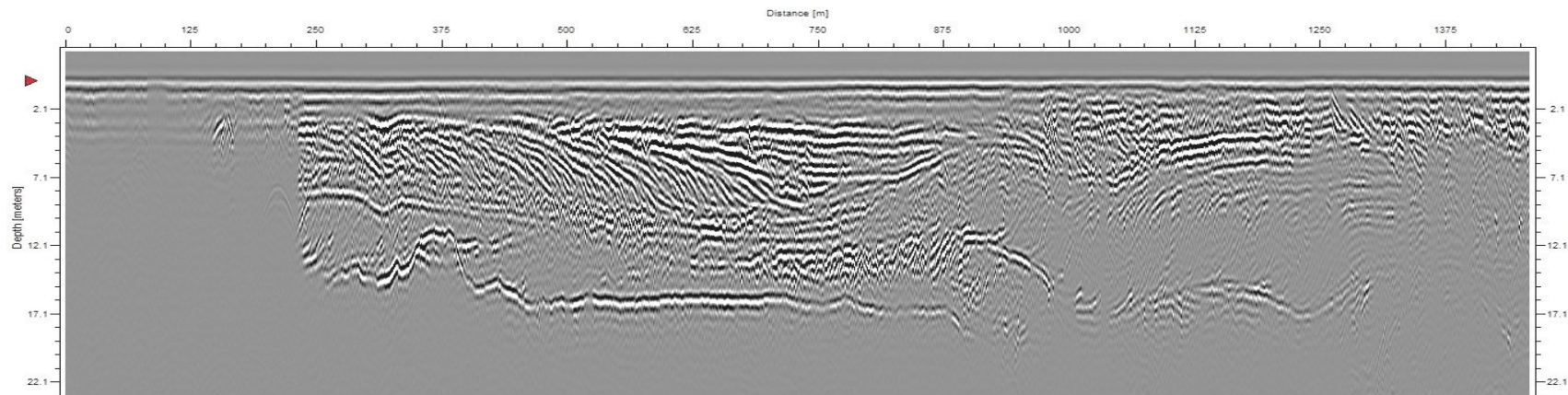


IDENTIFICAÇÃO DE CUNHA SALINA EM ÁREAS COSTEIRAS COM GPR



Exemplo da literatura

ILHA COMPRIDA - SP

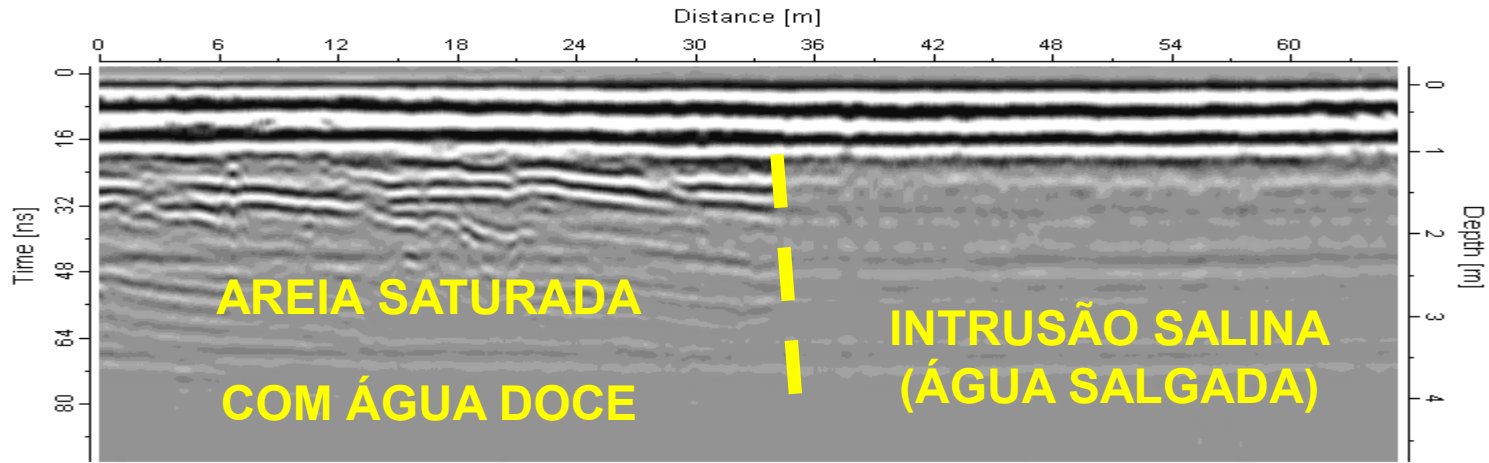


Santos-SP, 2017

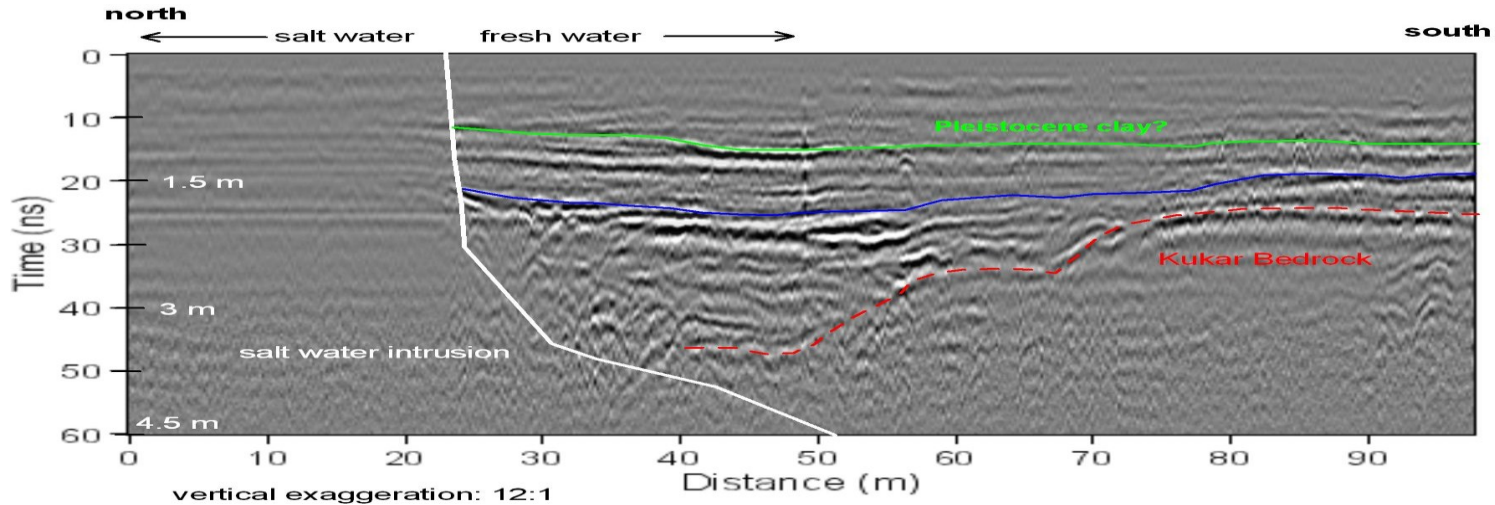


Santos-SP(entre Canal 1 e Canal 2)





**Seção GPR
obtida em
Santos-SP**



**Seção GPR
obtida da
literatura**

Serão apresentados os resultados obtidos por meio do método geoeletrico em três localidades do Município de Itanhaém (Boca da Barra, Jardim Aguapeu e Jardim Suarão) e uma localidade no Município de Cubatão (Parque Ecológico Cotia-Pará)

Boca da Barra, Itanhaém - SP (02/2021)



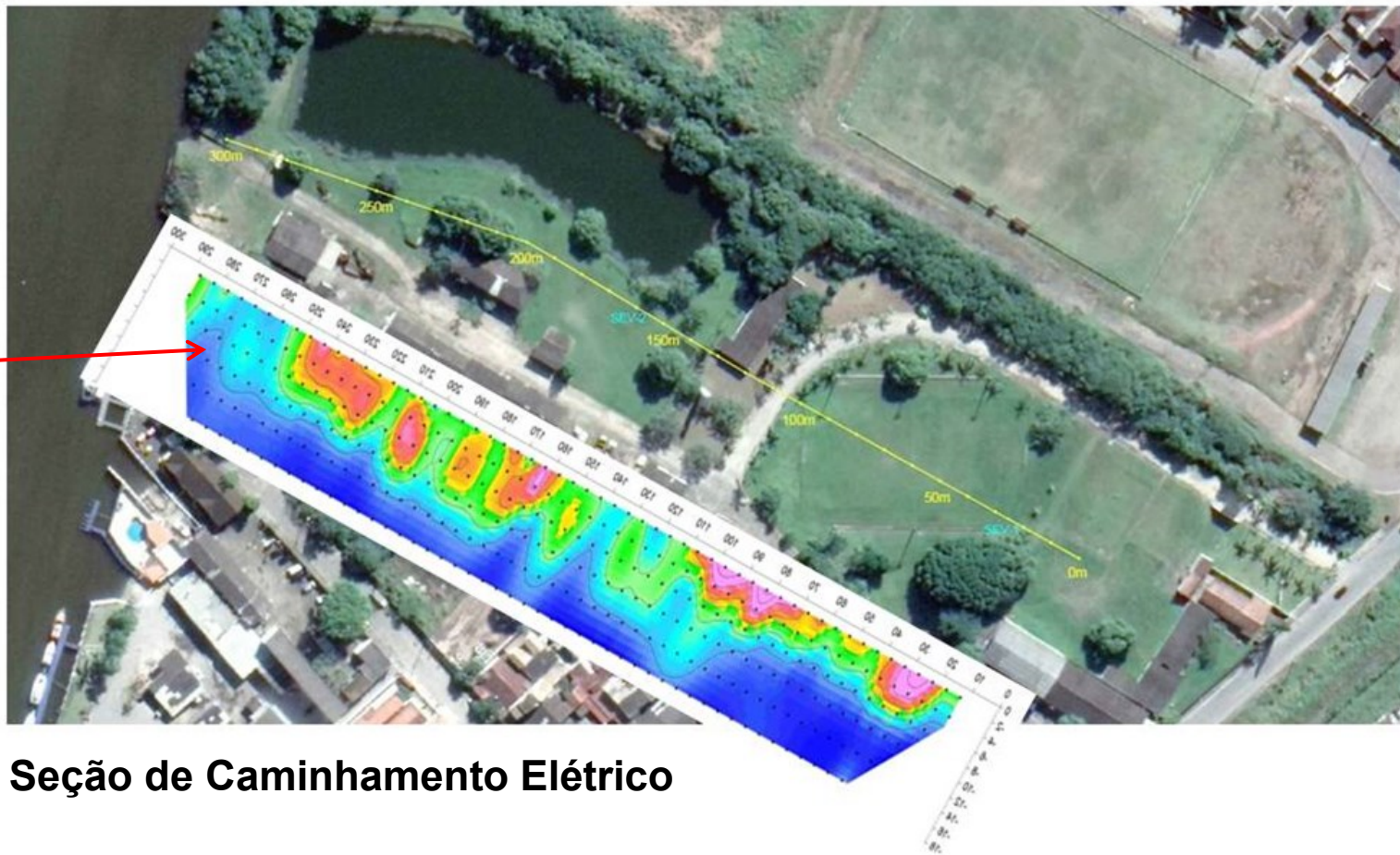
Boca da Barra, Itanhaém - SP (02/2021)



Boca da Barra, Itanhaém - SP (02/2021)



CE - Boca da Barra, Itanhaém-SP

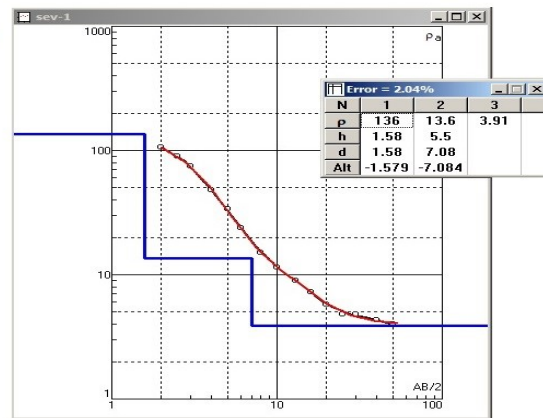
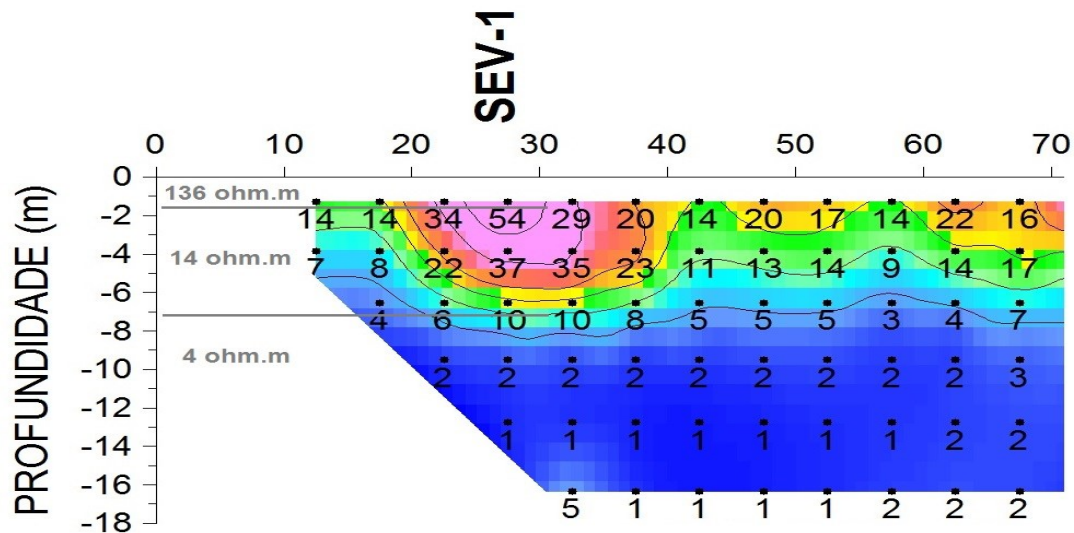
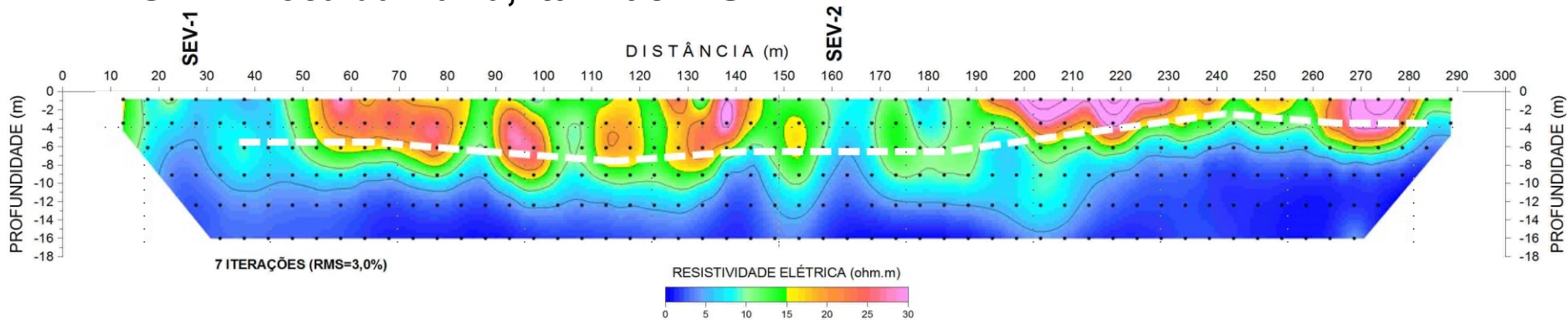


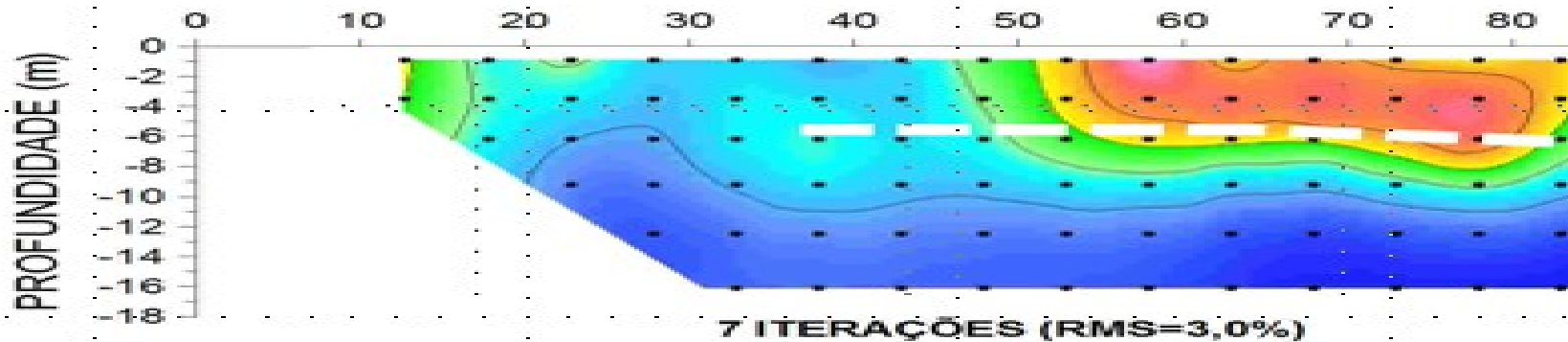
Intrusão Salina
no aquífero raso

Influencia da possível
salinidade de
Rio Itanhaém

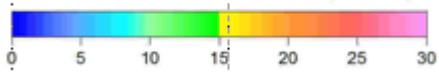
Seção de Caminhamento Elétrico

CE + SEV - Boca da Barra, Itanhaém-SP

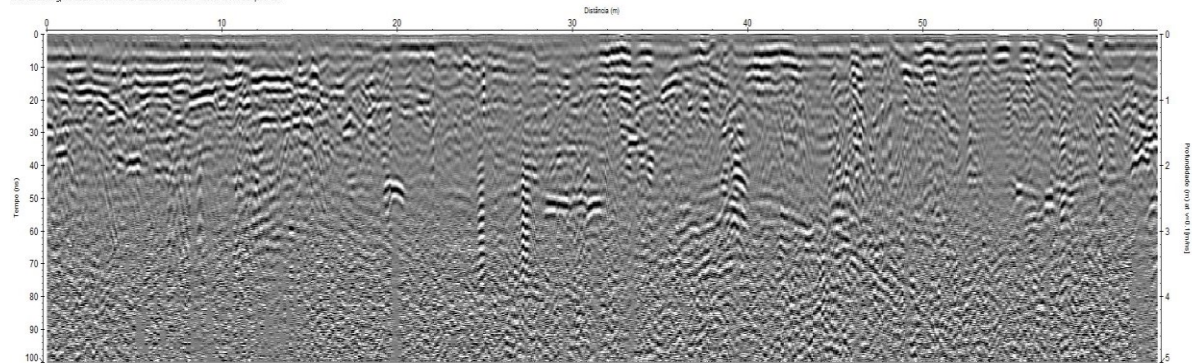




RESISTIVIDADE ELÉTRICA (ohm.m)



1: C:\ar\ar\m\gr\DAEE\PROCDATA\DAEELI010001.DBT / traces: 1047 / samples: 321



Jardim Aguapeu & São Camilo - Itanhaém, SP (09/2021)



Jardim Aguapeu - Itanhaém, SP (09/2021)



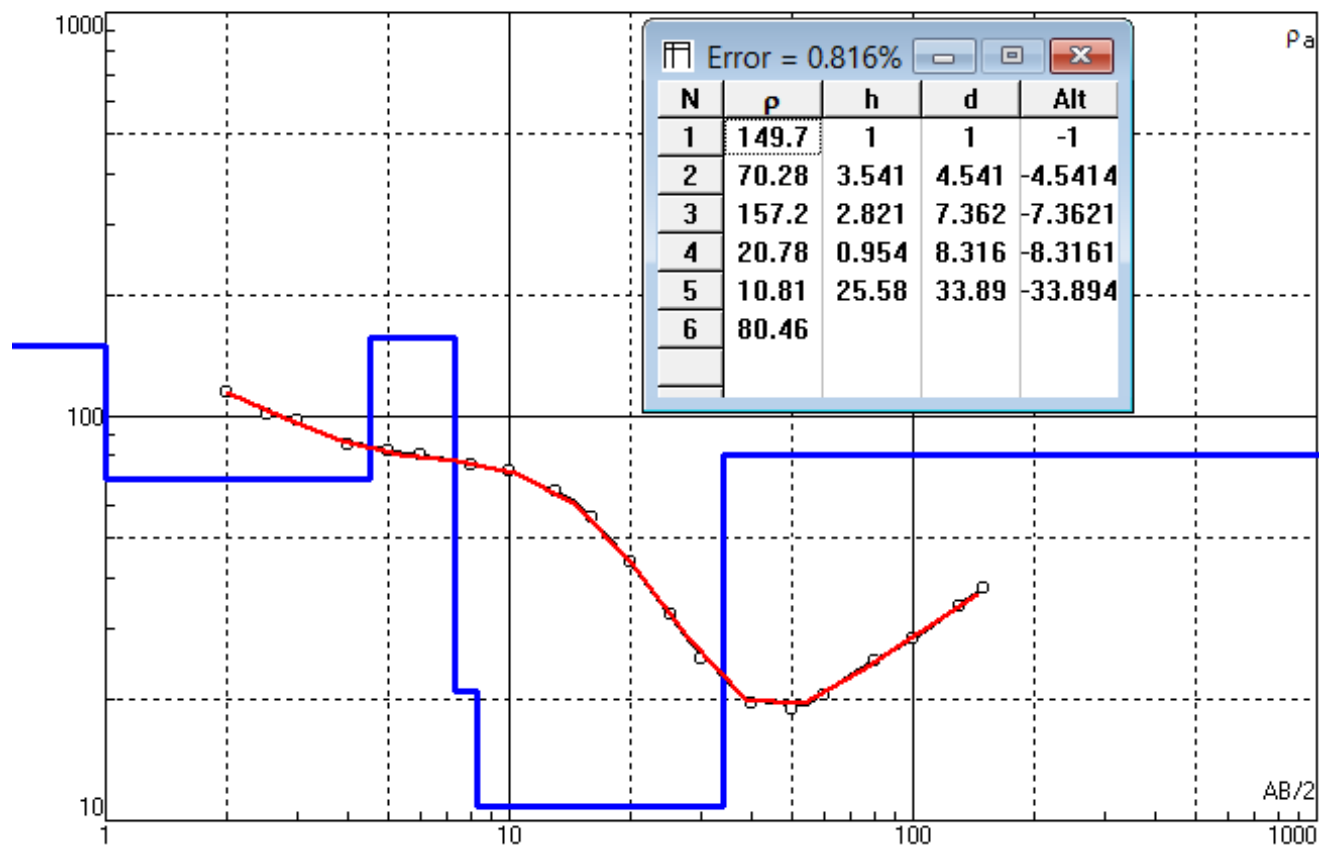
Jardim Aguapeu - Itanhaém, SP (09/2021)



Jardim Aguapeu - Itanhaém, SP (09/2021)



Sondagem Elétrica Vertical – SEV 1

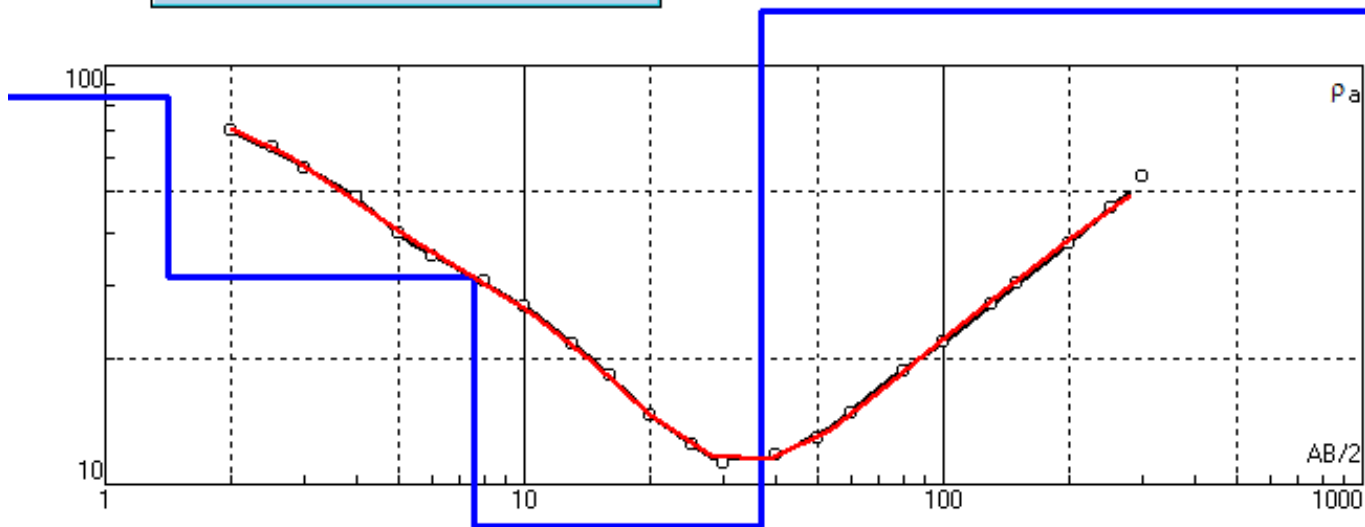


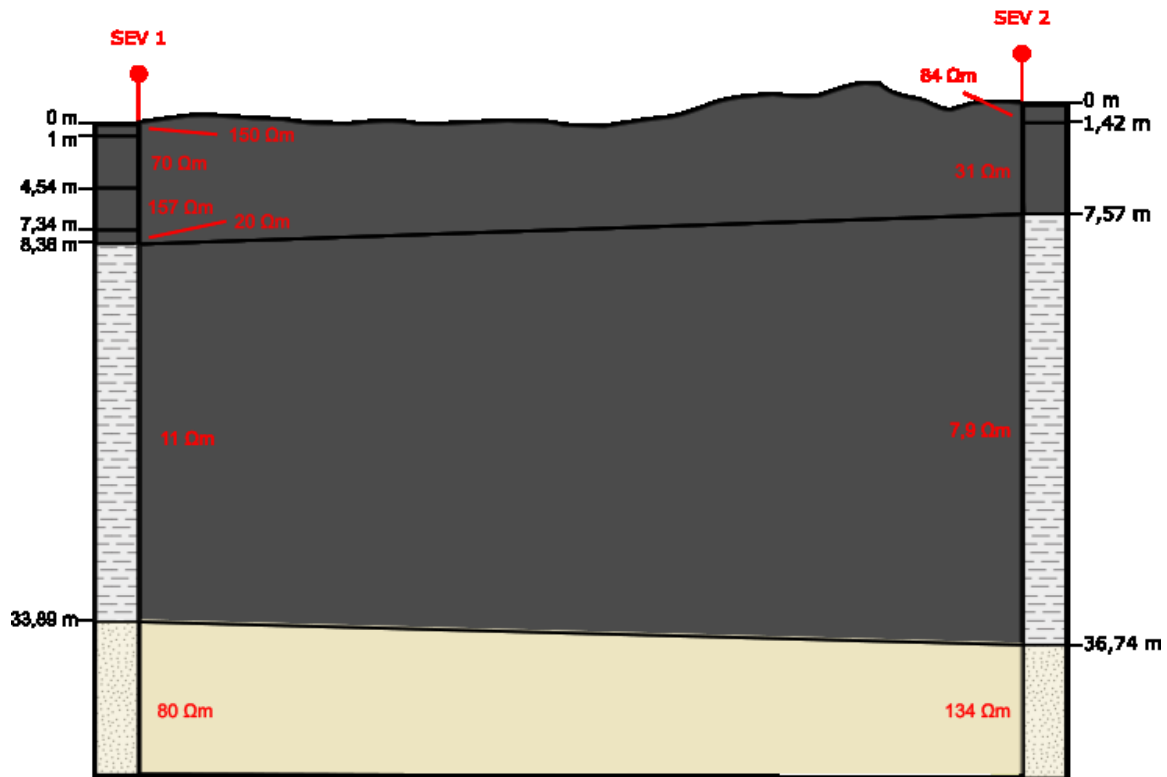
Jardim Aguapeu – Itanhaém, SP

Sondagem Elétrica Vertical – SEV 2

Error = 1.66%

N	ρ	h	d	Alt
1	84.29	1.419	1.419	-1.4193
2	31.15	6.156	7.575	-7.5755
3	7.949	29.17	36.74	-36.743
4	134.1			



ENE**WSW**

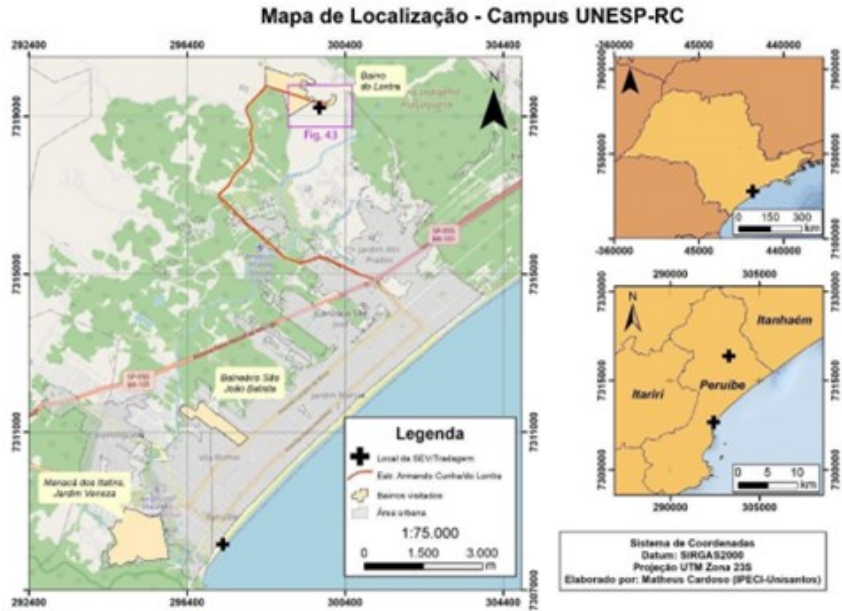
CAMPO DE RECONHECIMENTO NO MUNICÍPIO DE SANTOS/SP (04/05/2023)



CAMPO DE RECONHECIMENTO NO MUNICÍPIO DE SANTOS/SP (04/05/2023)



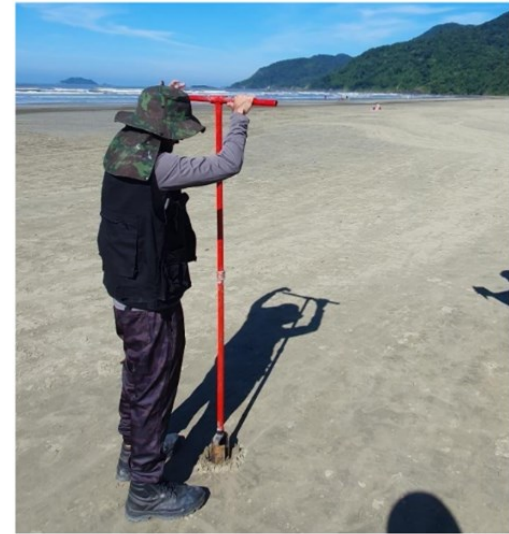
TRABALHO DE CAMPO NO MUNICÍPIO DE PERUÍBE/SP (23-26/05/2023)



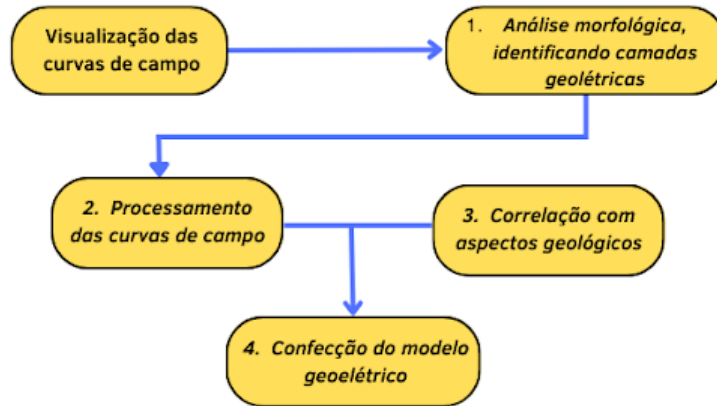
TRABALHO DE CAMPO NO MUNICÍPIO DE PERUÍBE/SP (23-26/05/2023)



TRABALHO DE CAMPO NO MUNICÍPIO DE PERUÍBE/SP (23-26/05/2023)

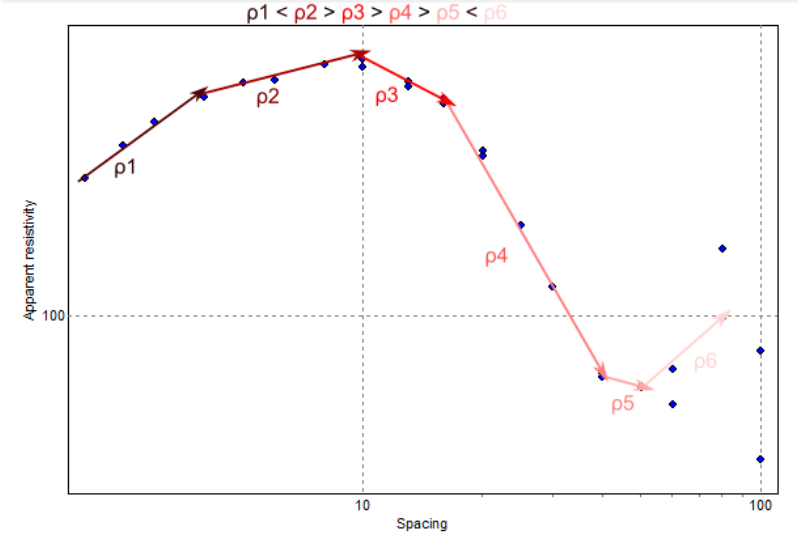
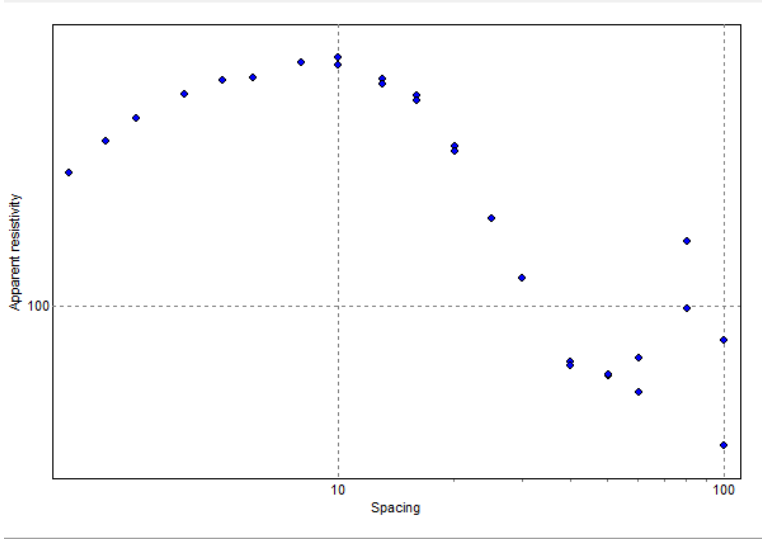


RESULTADOS SEV 1 PERUÍBE/SP (23-26/05/2023)

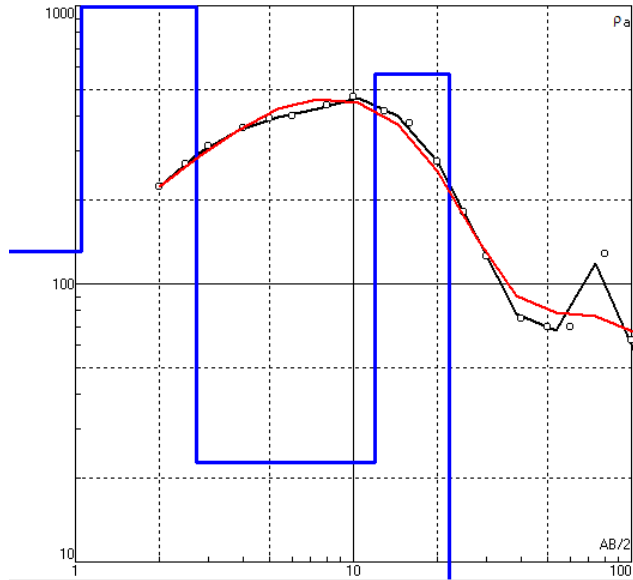


N	AB/2	MN	SP	V	I	K	Ro_a
1	2	2	-	-	-	-	223.23
2	2.5	2	-	-	-	-	270.7
3	3	2	-	-	-	-	312.66
4	4	2	-	-	-	-	362.38
5	5	2	-	-	-	-	392.57
6	6	2	-	-	-	-	400.25
7	8	2	-	-	-	-	438.24
8	10	2	-	-	-	-	450.12
9	10	3	-	-	-	-	431.37
10	13	2	-	-	-	-	397.61
11	13	3	-	-	-	-	383.06
12	16	2	-	-	-	-	359.35
13	16	3	-	-	-	-	347.61
14	20	2	-	-	-	-	262.55
15	20	3	-	-	-	-	254.4
16	25	2	-	-	-	-	169.65
17	25	3	-	-	-	-	170.12
18	30	2	-	-	-	-	118.2
19	30	3	-	-	-	-	118.3
20	40	2	-	-	-	-	70.9
21	40	3	-	-	-	-	69.31
22	50	2	-	-	-	-	65.03
23	50	3	-	-	-	-	65.93
24	60	2	-	-	-	-	72.8

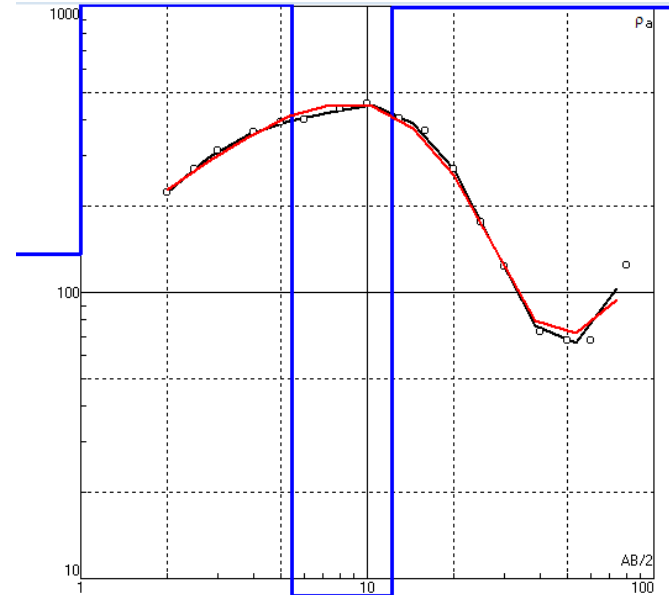
RESULTADOS SEV 1 PERUÍBE/SP (23-26/05/2023)



RESULTADOS SEV 1 PERUÍBE/SP (23-26/05/2023)

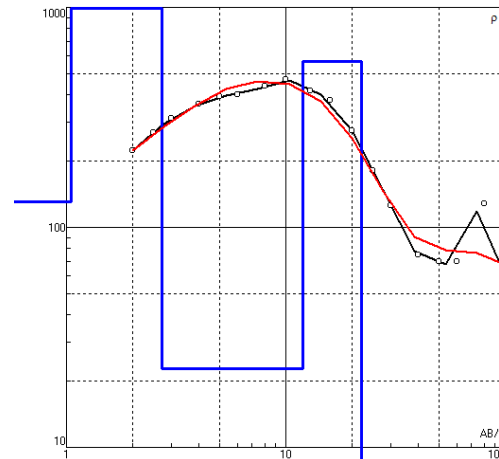
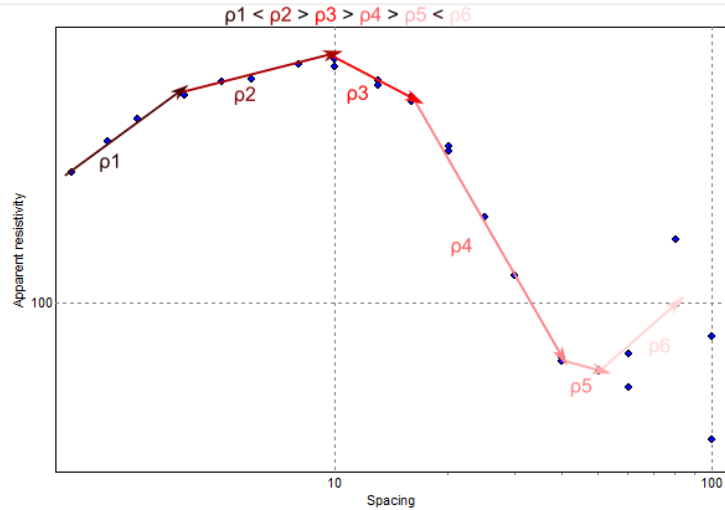


N	p	h	d	Alt
1	130	1.06	1.06	-1.056
2	2555	1.66	2.72	-2.719
3	22.9	9.3	12	-12.02
4	567	10.1	22.1	-22.09
5	1.1			



N	p	h	d	Alt
1	136	1	1	-1
2	1013	4.44	5.44	-5.438
3	8.68	6.74	12.2	-12.18
4	9555			

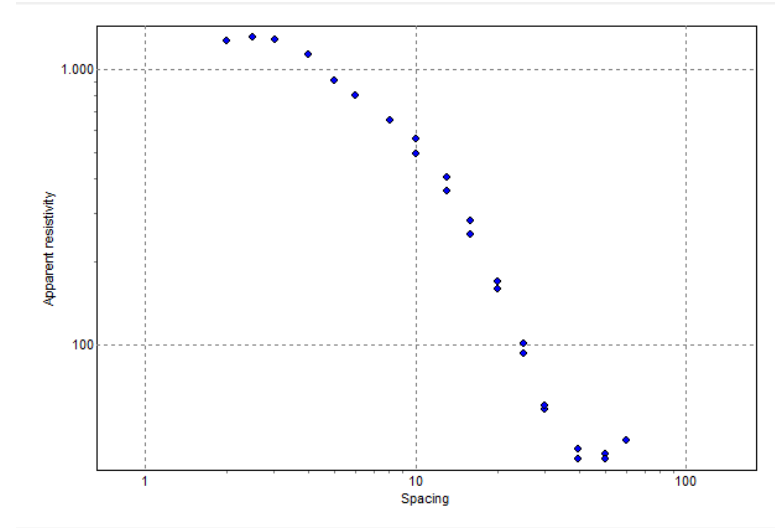
RESULTADOS SEV 1 PERUÍBE/SP (23-26/05/2023)



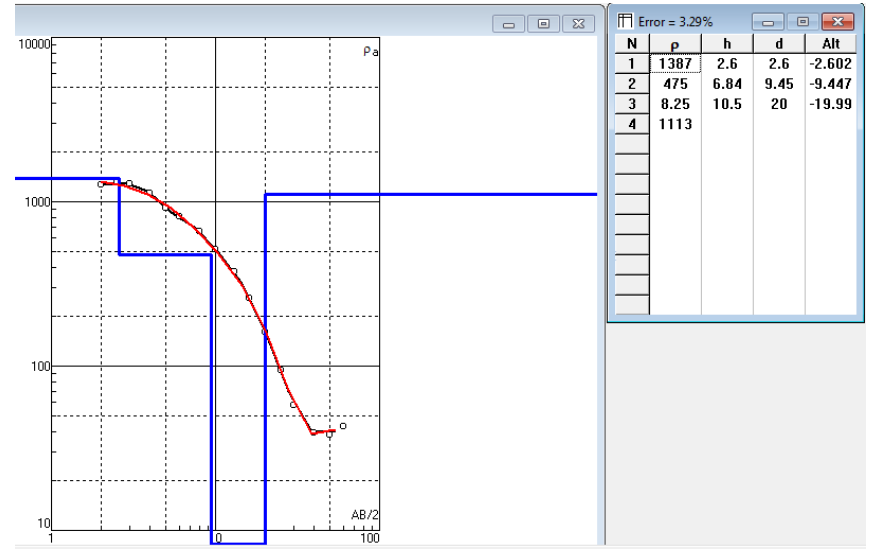
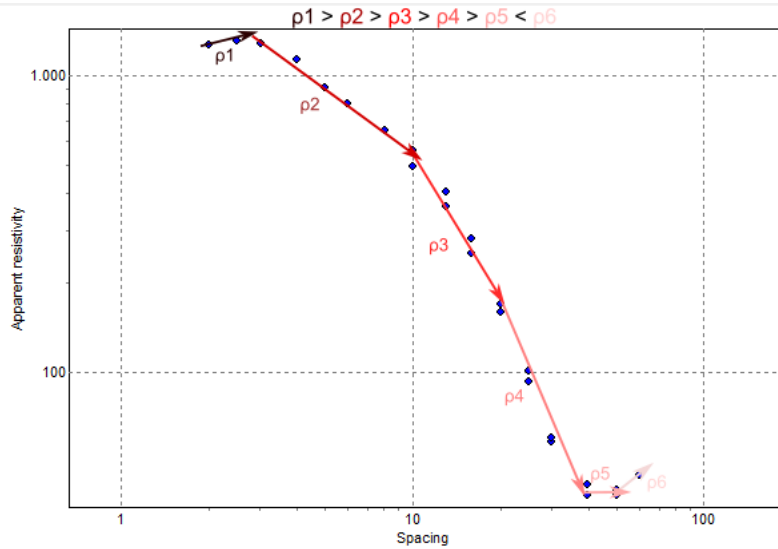
N	ρ	h	d	Alt
1	130	1.06	1.06	-1.056
2	2555	1.66	2.72	-2.719
3	22.9	9.3	12	-12.02
4	567	10.1	22.1	-22.09
5	1.1			

RESULTADOS SEV 2 PERUÍBE/SP (23-26/05/2023)

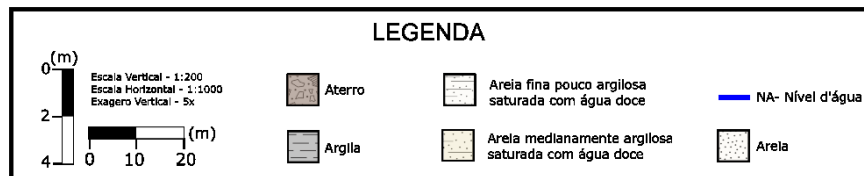
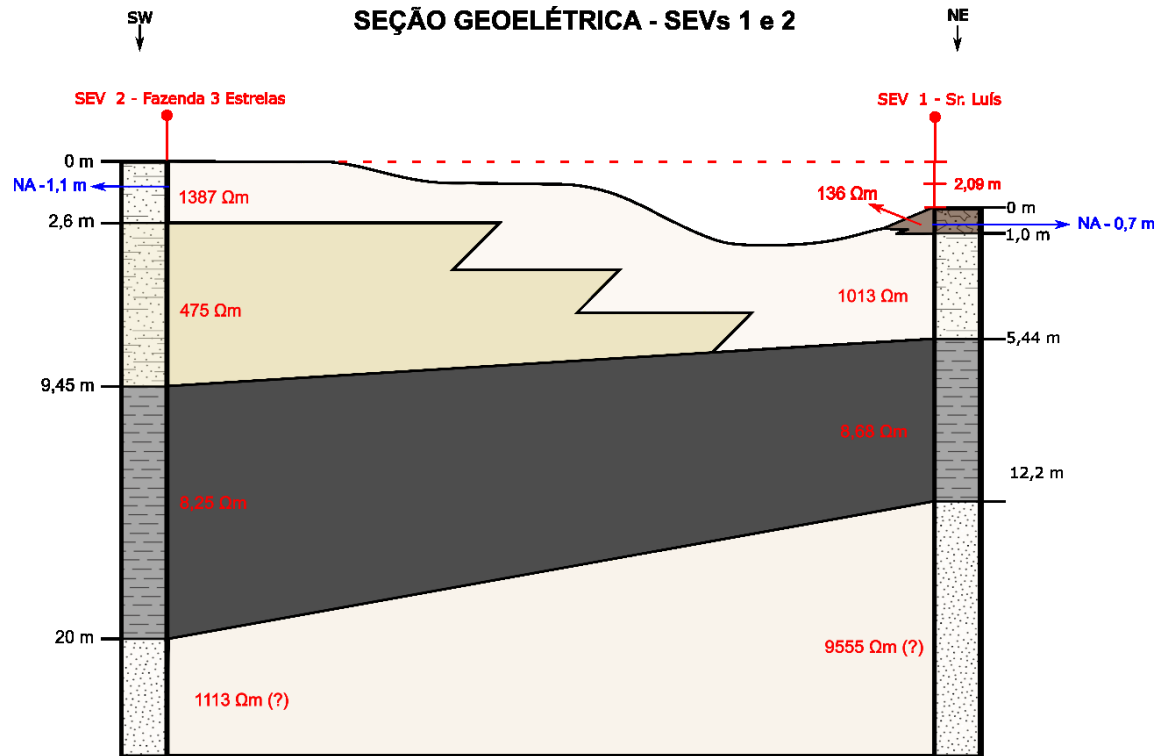
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	V_p (V)	I (mA)	ρ_a (Ωm)
2	0,5	11,78	71,736	0,665	1272,052
2,5	0,5	18,85	52,709	0,756	1314,924
3	0,5	27,49	50,56	1,079	1287,877
4	0,5	49,48	48,263	2,115	1128,892
5	0,5	77,75	51,084	4,37	908,991
6	0,5	112,31	51,862	7,21	807,843
8	0,5	200,28	51,021	15,587	655,585
10	0,5	313,37	50,993	32,189	496,437
10	2	75,4	51,454	6,913	561,189
13	0,5	530,14	50,565	74,434	360,143
13	2	129,59	51,189	16,336	406,066
16	0,5	803,46	50,321	116,389	252,082
16	2	197,92	51,595	36,258	281,644
20	0,5	1255,85	252,987	32,221	159,946
20	2	311,02	51,305	93,641	170,404
25	2	487,73	51,101	267,896	93,035
25	5	188,5	50,708	94,555	101,087
30	2	703,72	23,882	286,94	58,57
30	5	274,89	50,676	232,379	59,946
40	2	1253,5	9,499	283,332	42,023
40	5	494,8	22,011	283,602	38,402
50	5	777,54	14,316	277,609	40,098
50	10	376,99	28,435	278,195	38,533
60	5	1123,12	12,884	322,284	44,9
60	10	549,78	25,129	323,224	42,743



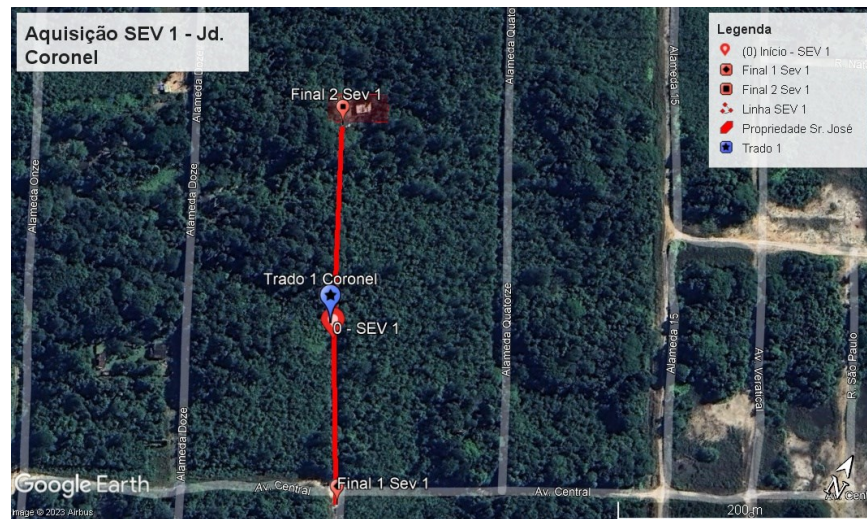
RESULTADOS SEV 2 PERUÍBE/SP (23-26/05/2023)



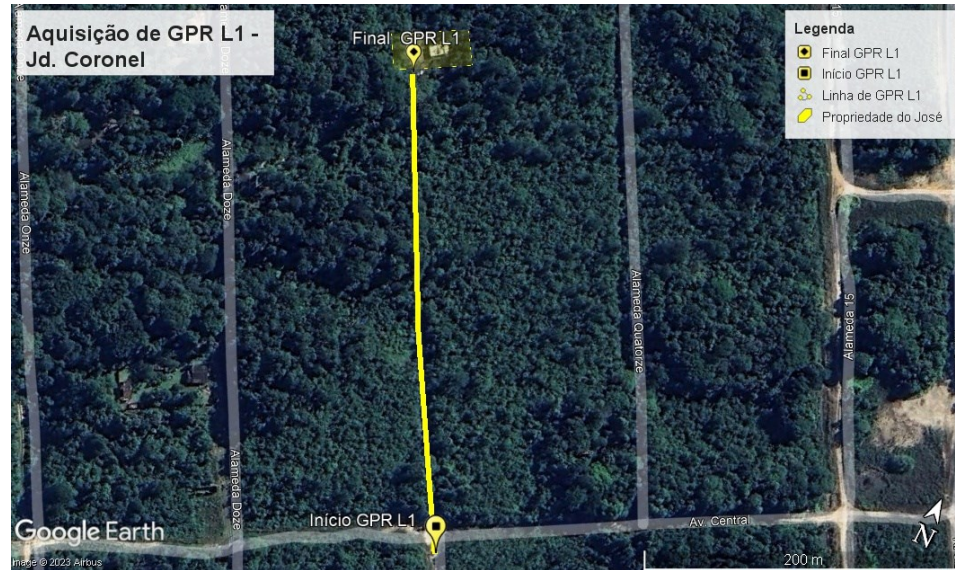
SEÇÃO GEOELÉTRICA - SEVs 1 e 2



TRABALHO DE CAMPO NO MUNICÍPIO DE ITANHAÉM (20-22/06/2023)



TRABALHO DE CAMPO NO MUNICÍPIO DE ITANHAÉM (20-22/06/2023)



TRABALHO DE CAMPO NO MUNICÍPIO DE ITANHAÉM (20-22/06/2023)



TRABALHO DE CAMPO NO MUNICÍPIO DE ITANHAÉM (29/09/2023)

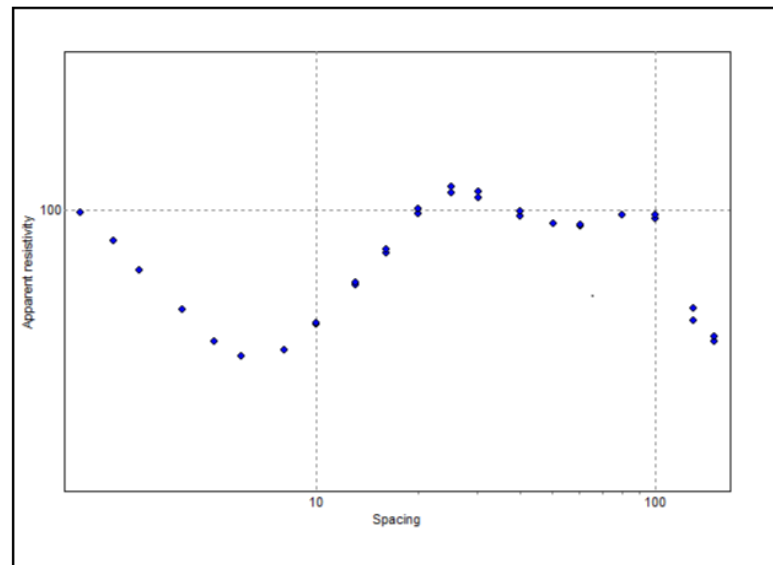


TRABALHO DE CAMPO NO MUNICÍPIO DE ITANHAÉM (20-22/06/2023)

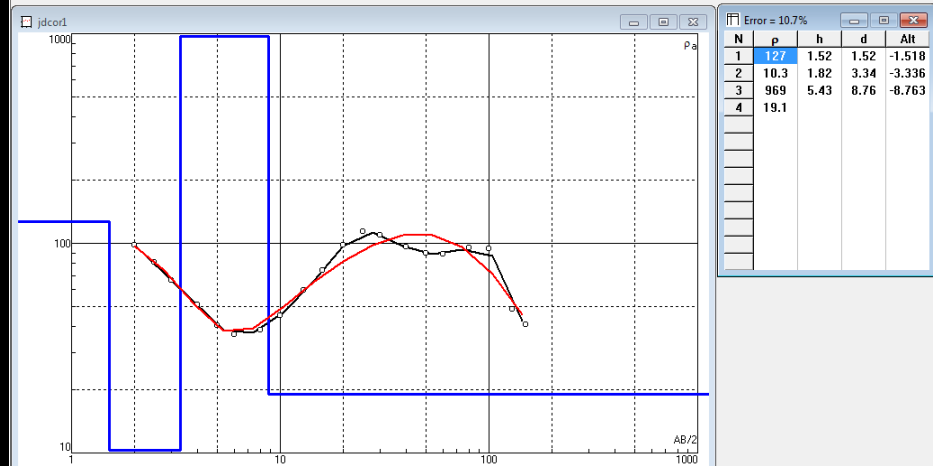
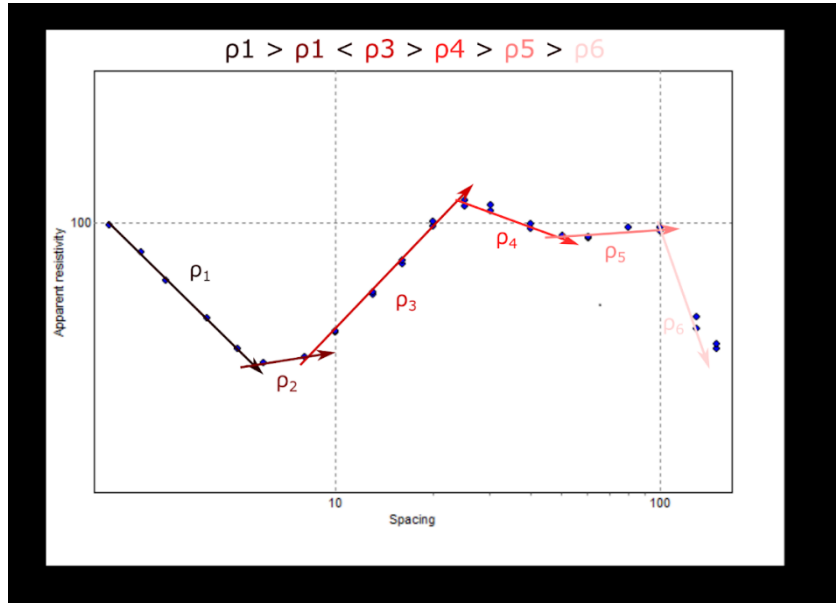


RESULTADOS DAS CAMPANHAS DE CAMPO EM ITANHAÉM – SEV 3

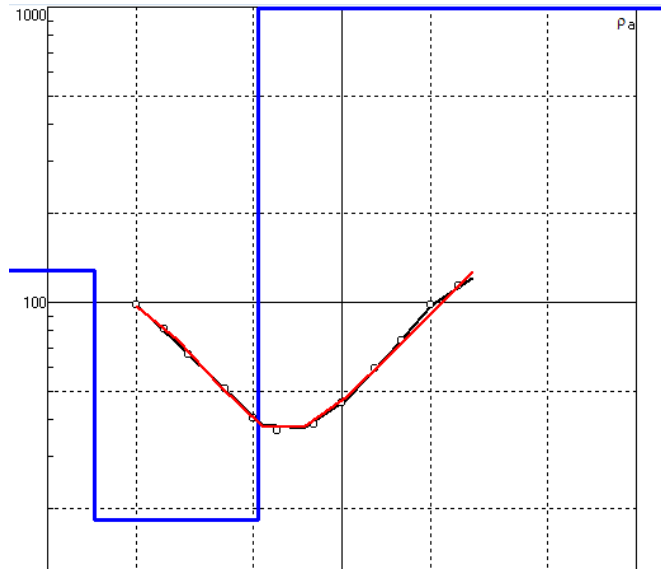
AB/2 (m)	MN/2 (m)	V_s (mΩ)	I (mA)	ρ (Ωm)
2	0,5	100,055	1,18	996,037
2,5	0,5	61,69	1,05	1006,91
3	0,5	53,61	1,33	1106,31
4	0,5	51,05	2,33	1084,38
5	0,5	52,01	3,7	1099
6	0,5	52,24	5,26	1114,94
8	0,5	52,24	10,01	1045,14
10	0,5	51,61	15,21	1063,65
10	2	49,51	3,61	1033,89
13	0,5	52,4	27,1	1024,07
13	2	50,7	6,6	995,02
16	0,5	52,07	43,96	951,56
16	2	51,65	11,05	925,31
20	0,5	51,87	80,33	810,92
20	2	52,05	20,58	786,6
25	2	52,29	43,5	586,23
25	5	51,71	17,08	570,62
30	2	52,02	101,83	539,45
30	5	52,45	41,32	248,944
40	2	52,87	354,76	186,81
40	5	52,2	142,45	181,31
50	5	52,8	262,5	156,03
50	10	51,9	123,8	158,3
60	5	52,3	374,1	157,03
60	10	52,4	181,4	158,83



RESULTADOS DAS CAMPANHAS DE CAMPO EM ITANHAÉM – SEV 3

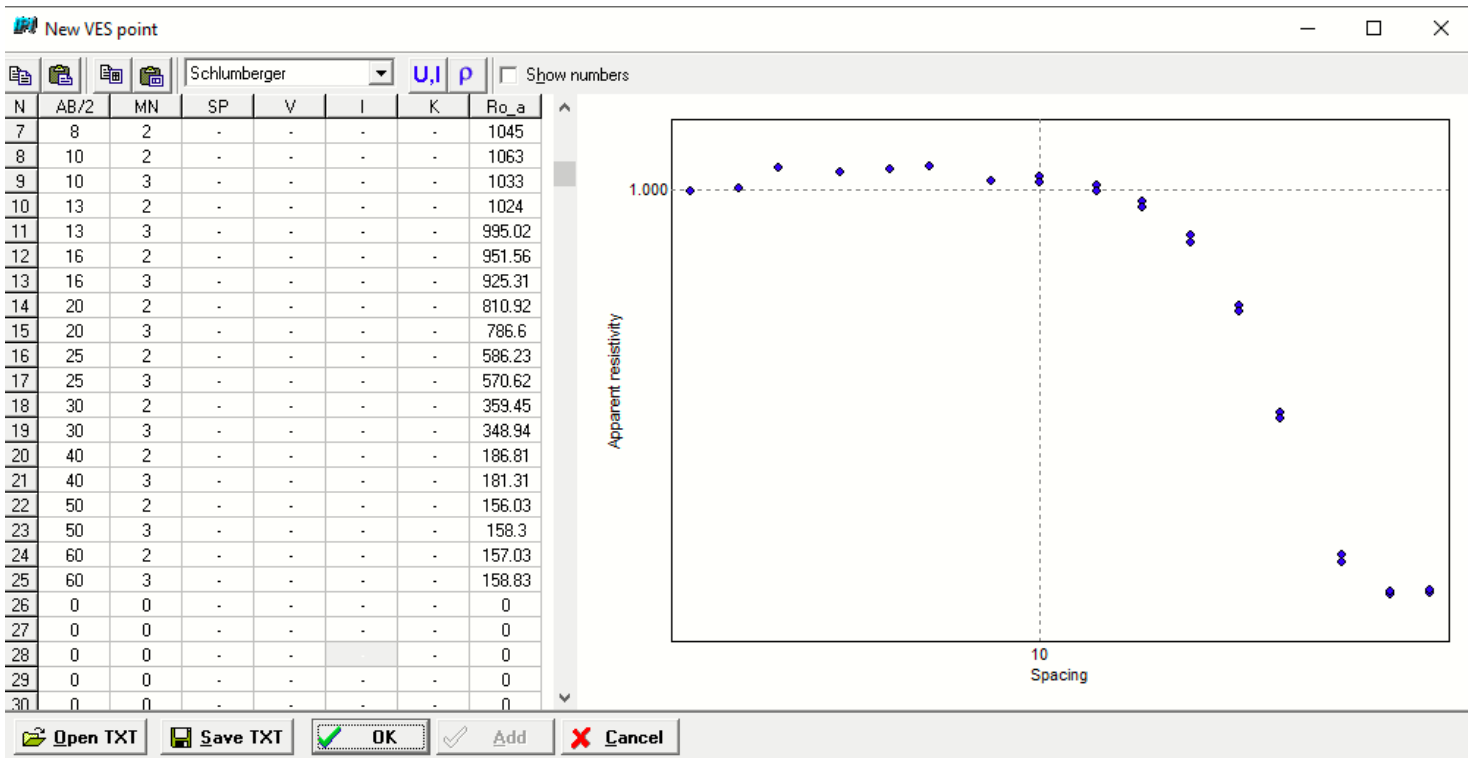


RESULTADOS DAS CAMPANHAS DE CAMPO EM ITANHAÉM - SEV 3

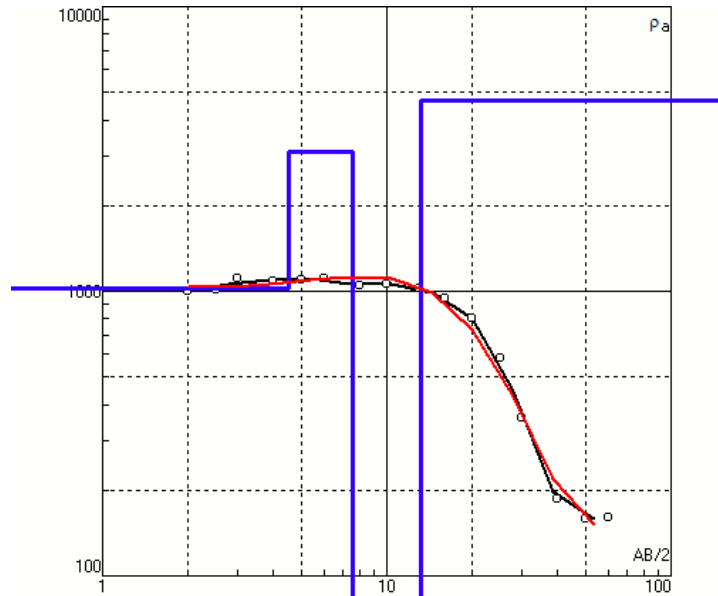


N	p	h	d	Alt
1	128	1.44	1.44	-1.442
2	18.4	3.77	5.21	-5.214
3	8258			

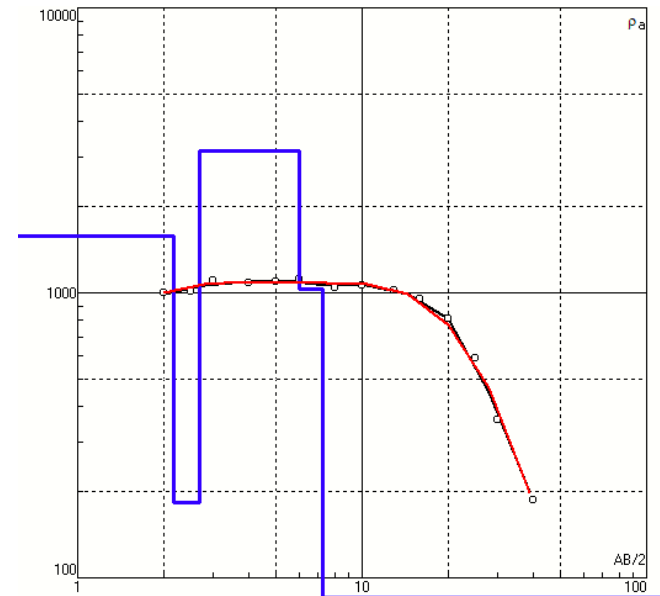
RESULTADOS DAS CAMPANHAS DE CAMPO EM ITANHAÉM - SEV 4



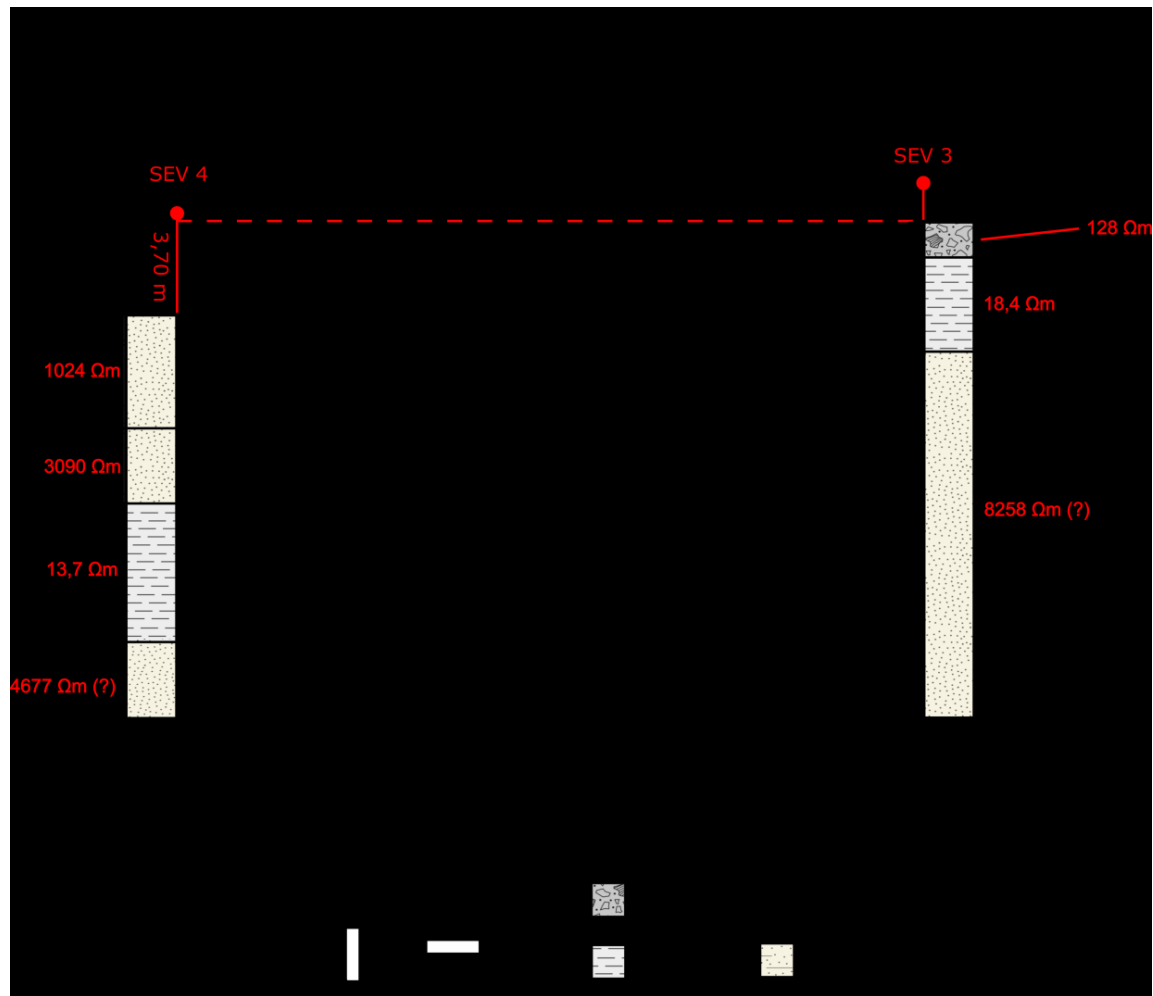
RESULTADOS DAS CAMPANHAS DE CAMPO EM ITANHAÉM - SEV 4



N	ρ	h	d	Alt
1	1024	4.54	4.54	-4.541
2	3090	3.01	7.55	-7.55
3	13.7	5.57	13.1	-13.12
4	4677			



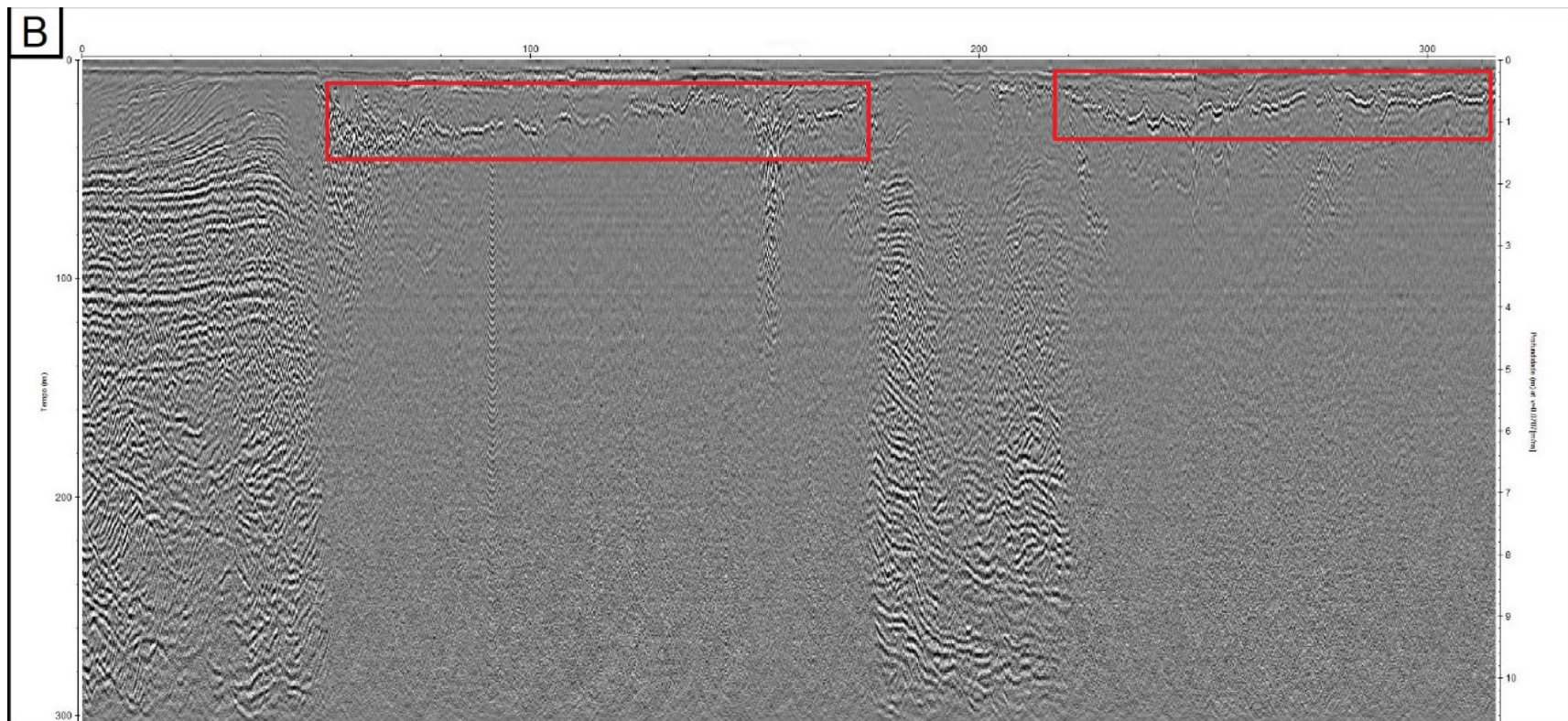
N	ρ	h	d	Alt
1	617	0.579	0.579	-0.5787
2	1581	1.59	2.17	-2.165
3	183	0.519	2.68	-2.685
4	3151	3.33	6.02	-6.016
5	1029	1.25	7.27	-7.269
6	13.9			



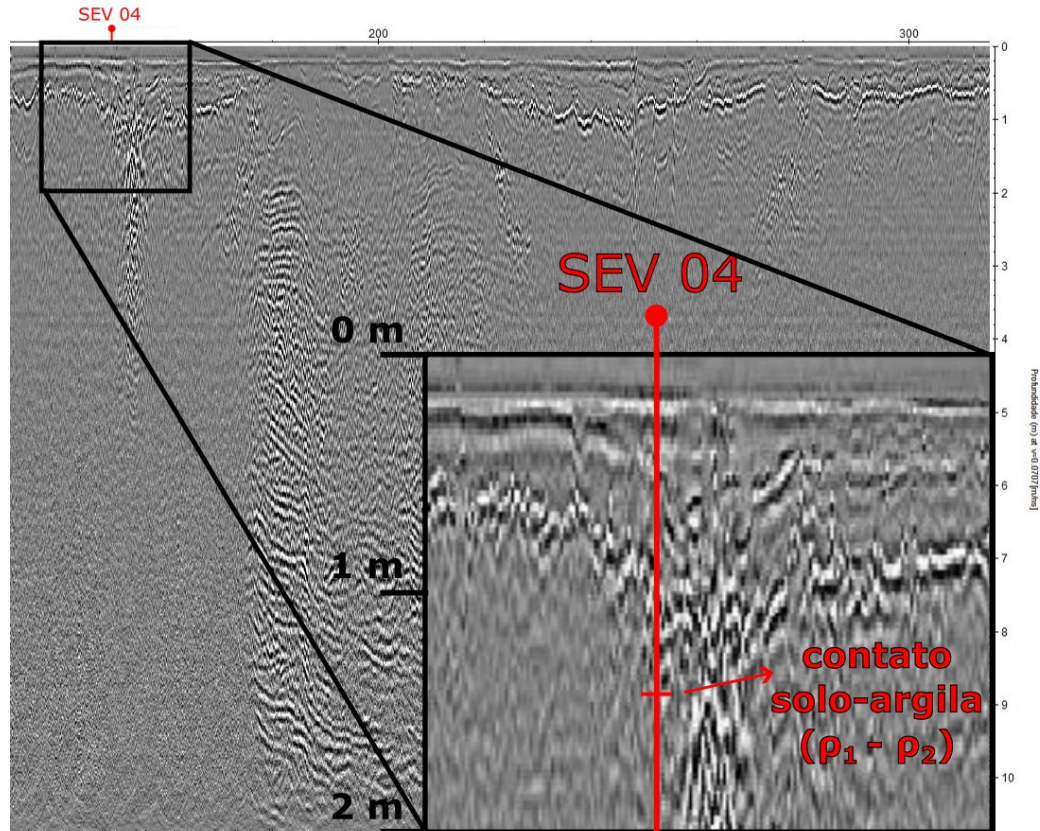
RESULTADOS DAS CAMPANHAS DE CAMPO EM ITANHAÉM – GPR

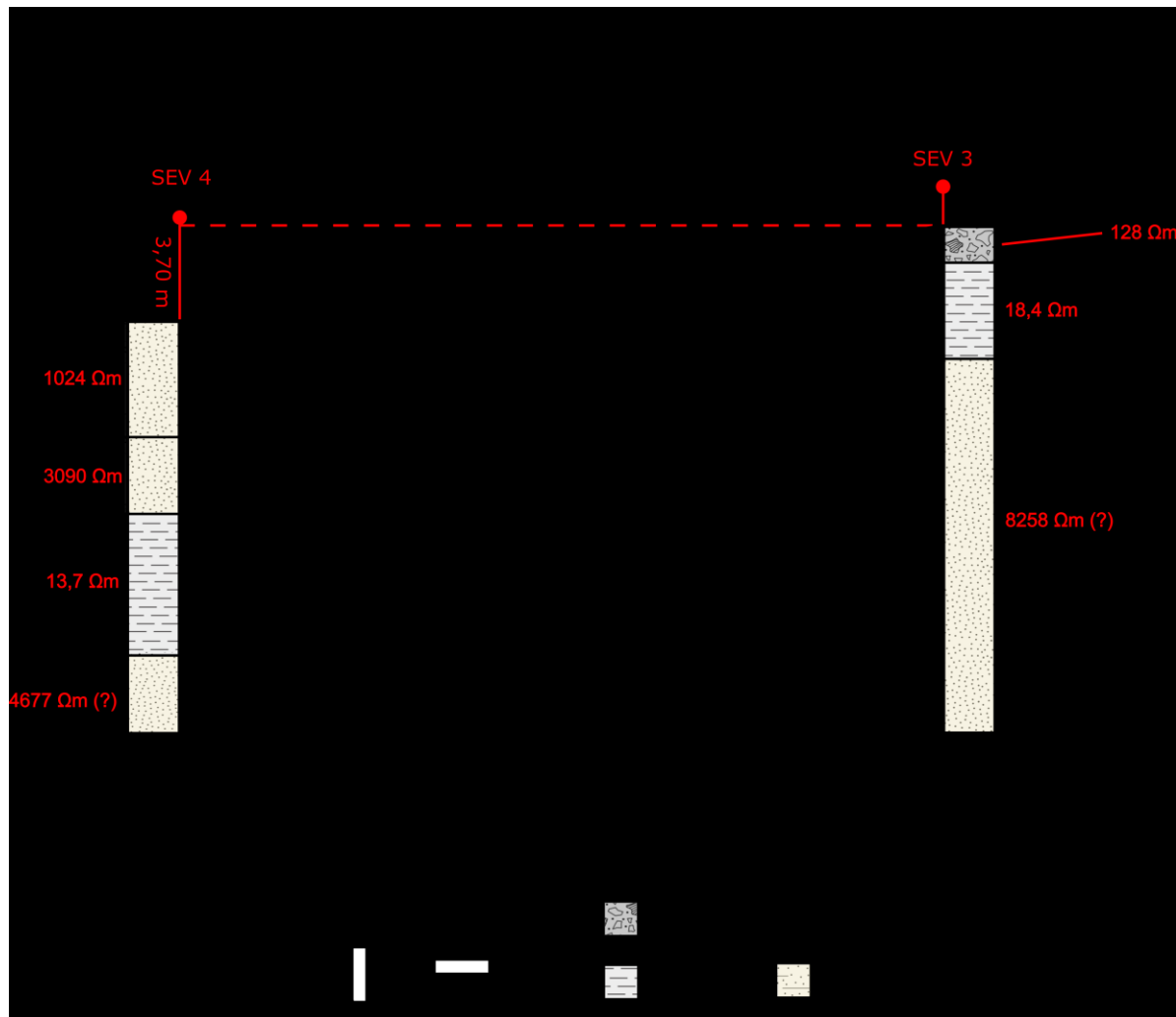


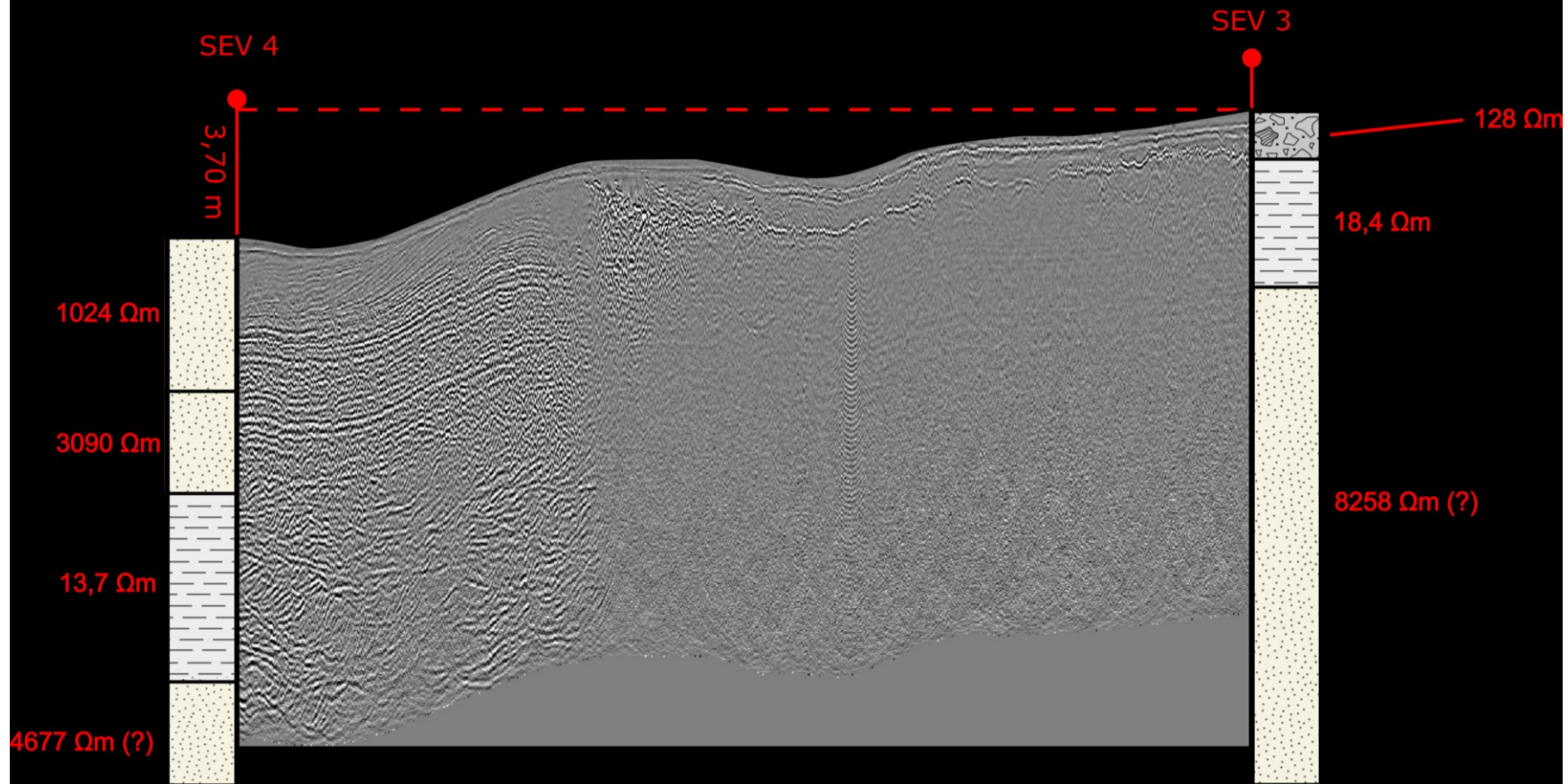
RESULTADOS DAS CAMPANHAS DE CAMPO EM ITANHAÉM – GPR



RESULTADOS DAS CAMPANHAS DE CAMPO EM ITANHAÉM – GPR







TRABALHO DE CAMPO NO MUNICÍPIO DE MONGAGUÁ/SP (28/09/2023)



TRABALHO DE CAMPO NO MUNICÍPIO DE MONGAGUÁ/SP (28/09/2023)



PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS AMOSTRAS

Figura 14: Vidrarias e papel filtro utilizados para a filtração das amostras de água coletadas.



Fonte: Autor.

Figura 17: Medição de uma amostra diluída.



Fonte: Autor.

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS AMOSTRAS

Quadro 9: Valores dos pesos das cápsulas de porcelanas.

Município (identificação)	STD _{vaz}	STD _{am}	ST _{vaz}	ST _{am}
Peruíbe, (Poço, Sr. Luís)	100,58	100,59	103,82	103,84
Peruíbe (Trado, Fazenda 3 Estrelas)	104,96	104,97	88,75	93,49
Peruíbe (Trado, Trado Sr. Luís)	88,63	88,63	96,41	100,93

Fonte: Autor.

Quadro 11: Valores de condutividade elétrica da amostra diluída e calculada para amostra pura.

Município (identificação)	Condutividade, diluída (μS/cm)	Condutividade, amostra pura (μS/cm)
Peruíbe, (Poço, Sr. Luís)	29,10	1.484
Peruíbe (Trado, Fazenda 3 Estrelas)	3,827	195,2
Peruíbe (Trado, Trado Sr. Luís)	3,169	161,2

Fonte: Autor.

Quadro 10: Valores de STD e STs em mg/L.

Município (identificação)	STD (mg/L)	ST (mg/L)
Peruíbe, (Poço, Sr. Luís)	100,0	200,0
Peruíbe (Trado, Fazenda 3 Estrelas)	100,0	47.400
Peruíbe (Trado, Trado Sr. Luís)	0,000	45.200

Fonte: Autor.

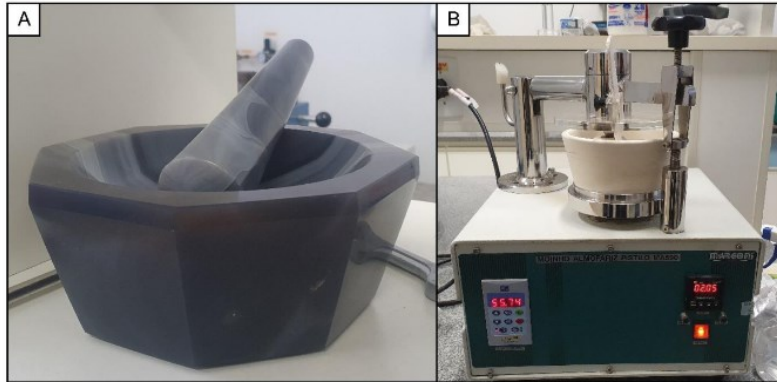
Quadro 12: Dados finais de STs, STDs e condutividade elétrica das amostras de água coletadas.

Município (identificação)	ST (mg/L)	STD (mg/L)	Condutividade elétrica (μS/cm)
Peruíbe, (Poço, Sr. Luís)	100,0	200,0	1.484
Peruíbe (Trado, Fazenda 3 Estrelas)	100,0	47400	195,2
Peruíbe (Trado, Trado Sr. Luís)	0,000	45200	161,2

Fonte: Autor.

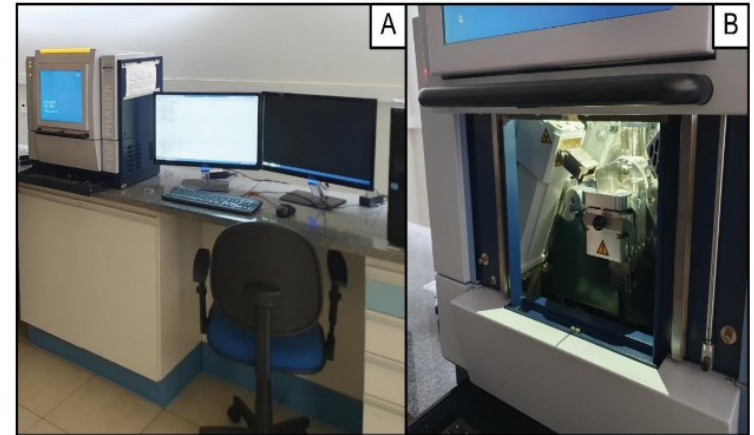
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DAS AMOSTRAS

Figura 20: Equipamentos utilizados para fragmentação das amostras. (A) almofariz e pistilo de ágata, (B) moinho almofariz-pistilo mecanizado MA590.



Fonte: Autor.

Figura 25: (A) Visão geral do equipamento D2 Phaser/Brooker, (B) compartimento de inserção da amostra.



Fonte: Autor.



OBRIGADO